

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

REJANE SIQUEIRA JULIO

JOGOS DE LINGUAGEM [MATEMÁTICOS] NA PROFISSÃO E NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

CAMPINAS
2015

REJANE SIQUEIRA JULIO

“JOGOS DE LINGUAGEM [MATEMÁTICOS] NA PROFISSÃO E NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS”

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutora em Educação, na área de concentração de Ensino e Práticas Culturais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Miguel.

O ARQUIVO DIGITAL CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA REJANE SIQUEIRA JULIO, E ORIENTADA PELO PROF. DR. ANTONIO MIGUEL.

CAMPINAS
2015

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Educação
Rosemary Passos - CRB 8/5751

J945j

Julio, Rejane Siqueira, 1982-
Jogos de linguagem [matemáticos] na profissão e na formação de engenheiros / Rejane Siqueira Julio. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Antonio Miguel.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação.

1. Wittgenstein, Ludwig, 1889-1951. 2. Educação matemática. 3. Engenharia - Estudo e ensino. 4. Educação Superior. 5. Petrobras. I. Miguel, Antonio,1953-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: [Mathematical] language games in the profession and formation of engineers
Palavras-chave em inglês:
Wittgenstein, Ludwig, 1889-1951
Mathematics Education
Engineering - Study and teaching
Higher Education
Petrobras
Área de concentração: Ensino e Práticas Culturais
Titulação: Doutora em Educação
Banca examinadora:
Antonio Miguel [Orientador]
Alexandrina Monteiro
Carlos Roberto Vianna
Cristiane Maria Cornélia Gottschalk
Romulo Campos Lins
Data de defesa: 15-12-2015
Programa de Pós-Graduação: Educação

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TESE DE DOUTORADO

JOGOS DE LINGUAGEM [MATEMÁTICOS] NA PROFISSÃO E NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Autor: Rejane Siqueira Julio

COMISSÃO JULGADORA:

Antonio Miguel (orientador)

Alexandrina Monteiro

Carlos Roberto Vianna

Cristiane Maria Cornélia Gottschalk

Romulo Campos Lins

A Ata da Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo de vida acadêmica do aluno.

2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Antonio Miguel por me orientar, pela grande paciência e disposição em ficar conversando comigo por horas e por ser meu modelo de empolgação em tudo o que faz!

Agradeço às pessoas que - por me receberem e dedicarem seu precioso tempo concedendo-me entrevistas, com muita atenção e paciência – acabaram participando comigo no processo de produção desta tese. Sem elas, acho que nada teria sido possível! Em particular, agradeço ao Juliano Mesquita Loureiro, por me permitir adentrar o universo Petrobras e ao Filipe Leandro de Figueiredo Barbosa, por ter viabilizado as entrevistas com alguns engenheiros eletrônicos da Petrobras.

Agradeço à banca de qualificação e defesa: Alexandrina Monteiro, Carlos Roberto Vianna, Cristiane M. C. Gottschalk e Romulo Campos Lins pelas contribuições, pelo carinho, pela atenção e pelas discussões.

Agradeço à Universidade Federal de Alfenas por permitir me afastar das minhas atividades de trabalho para realizar o doutorado. Em especial, agradeço aos professores do Núcleo de Matemática que foram decisivos no meu processo de afastamento e se responsabilizaram pela minha carga docente.

Agradeço aos colegas dos grupos de pesquisa PHALA, FILICON e Sigma-t pelo companheirismo e pelas discussões. Em particular, meu amigo Júlio que teve que me aturar bastante!

Agradeço a minha família por ser minha família e, mesmo não entendendo o que faço e falo, desejarem que tudo saísse bem!

Agradeço ao Sussumu pelo incentivo para eu fazer o doutorado e pela presença em diversos momentos dele!

Agradeço aos meus suportes psicológicos: Hélio, Élida, Centro Municipal de Música Professora Walda Tiso Veiga, Centro Espírita o Semeador e Grupo Tricotando no Semeador!

Há muitas pessoas que contribuíram para esta pesquisa e há muitos outros amigos que me ajudaram a encontrar pessoas para entrevistar. Listar todas essas pessoas me deixaria preocupada, não pela lista em si mesma, mas pelas pessoas que, por algum lapso de memória, eu poderia esquecer de nela incluir. Então, eu quero deixar meu agradecimento geral às pessoas que passaram pela minha vida e me ajudaram nessa trajetória, de alguma forma!

O que seria de mim sem o meu amigo computador velho e novo e aos meus preferidos: vinhos, bananas, mamões e pães na chapa com muita manteiga que me alimentaram deliciosamente!

Por fim, agradeço ao meu marido Claudinei pelo grande companheirismo, por discutir horas e horas comigo educação matemática, por me aguentar quase pacientemente, por acreditar em mim e pelo carinho e amor com que me acolhe todo dia!

RESUMO

Jogos de Linguagem [matemáticos] na profissão e na formação de engenheiros é um trabalho no qual eu busquei exibir práticas – vistas como jogos de linguagem – de alguns engenheiros eletrônicos da Petrobras e de profissionais ligados à formação de engenheiros e o papel que a matemática assume nelas. Para isso, fiz entrevistas com esses profissionais. Em relação aos engenheiros eletrônicos da Petrobras, solicitei descrições de suas práticas profissionais e de formação, tanto na graduação em engenharia quanto na Universidade Petrobras, e o estabelecimento de relações entre essas práticas e a matemática. Em relação aos engenheiros ligados à formação de engenheiros de controle e automação na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), também solicitei descrições de suas práticas e o estabelecimento de relações delas com a matemática. Nessas entrevistas ouvi enunciados que me chamaram a atenção, tais como: matemática é base para a engenharia; matemática desenvolve a intuição ou o *feeling* ou o raciocínio; matemática é uma ou *a* linguagem que modela o mundo físico; a universidade fornece a teoria e o mundo do trabalho a prática; o desenvolvedor de tecnologias usa mais matemática do que o usuário delas. Esses enunciados foram problematizados ou simplesmente abordados por mim, em maior ou menor grau, com o apoio principal dos escritos do segundo Wittgenstein e de mais três educadores matemáticos entrevistados que lecionam disciplinas de matemática para cursos de serviço, dentre eles, engenharias. Na tese, essas problematizações dos enunciados que me chamaram a atenção foram feitas em seções separadas. Para uma exibição mais direta de práticas, inseri, na tese, cinco textos confeccionados em forma de depoimentos com base em cinco entrevistas selecionadas. Essa estratégia de construção textual é orientada pelo propósito de fazer com que os leitores participem desses jogos de linguagem de forma indireta, isto é, por meio da leitura das narrativas que faço de jogos de linguagem, dos quais os seus corpos não participaram diretamente. Nesta tese, na qual levanto discussões e exibo algumas práticas - ou que, talvez, consista em nada mais do que a narrativa de uma trajetória de se adentrar em territórios estrangeiros -, espero poder, de certa forma, contribuir para discussões relativas à participação da matemática em práticas de formação de docentes ou de docência em cursos de serviço - em especial em cursos de engenharia -, bem como para a discussão relativa aos papéis da matemática em tomadas de decisões curriculares.

Palavras-chave: Educação Matemática, Educação em Engenharia, Educação Superior, Wittgenstein, Petrobras.

ABSTRACT

[Mathematical] language games in the profession and formation of engineers is a work in which I sought to display practices – seen as language games – of some Petrobras electronic engineers and professionals linked to the undergraduate engineering education and the role of mathematics in these practices. With this purpose, I interviewed these professionals. Regarding Petrobras electronic engineers, I requested descriptions of their working and training practices, both in undergraduate engineering and in Petrobras University, and the establishment of relations between these practices and mathematics. Regarding the engineers linked to the formation of Control and Automation engineers at the State University of Campinas (Unicamp), I also requested descriptions of their practices and the relation of these practices with math. In these interviews, I have heard statements that called my attention such as: “mathematics is the basis for engineering”; “mathematics develops intuition, feeling or reasoning”; “mathematics is one or the language that shapes the physical world”; “the university provides the theory and the working world the practice”; and “the developer of technologies uses more math than people who use these technologies”. I problematized or simply covered these statements, in greater or lesser degree, with major support from the writings of the second Wittgenstein and three other interviews with mathematics educators, who teach math subjects to service courses, among them engineering. In this doctoral thesis, these problematizations or approaches of statements are in separate sections. To show practices in a more direct way, I inserted into this thesis five texts. They are made in form of narratives based on five selected interviews in which the goal was to make readers participate of these language games in an indirect way, through reading. In other words, to make them take part of games that they do not play in a direct way with their bodies. In this thesis, in which I raise discussions and show some practices – or, perhaps, consists of nothing more than a narrative of entering foreign territories – I hope I can somehow contribute to discussions related to the participation of mathematics practices of teachers or teaching in-service courses – particularly in engineering courses – as well as the discussion on the mathematics roles in curriculum decisions involved.

Keywords: Mathematics Education, Engineering Education, Higher Education, Wittgenstein, Petrobras.

SUMÁRIO

Uma prática de vivências das palavras 09

Adentrando Território Estrangeiro 26

Conhecendo Práticas Desconhecidas 39

Práticas de manutenção: LÓGICA, orçamentação 52

Uma outra Universidade... O Curso de Formação em Automação Industrial da Universidade Petrobras 66

Aqui não se entra se não tem formação em engenharia e dela não sai se não passar pela matemática: “formaação" de engenheiros 82

Um dia a ficha cai, o que era um problema hoje é uma ferramenta, se inventaram alguma coisa que seja melhor que a matemática para expressar nossos problemas eu não sei 113

“Formaação” de engenheiros: Modelagem 128

Matemática, modelagem, verdade, realidade, ferramenta, usos 146

“Formaação” de engenheiros: teoria e prática 163

Matemática em 29 anos de Petrobras 186

“Formaação” Matemática: abstração, intuição, raciocínio lógico 205

O mediador entre o cérebro e a mão deve ser o coração 227

Referências 237

Apêndice A 245

Apêndice B 246

Apêndice C 248

Apêndice D 249

Anexo 1 251

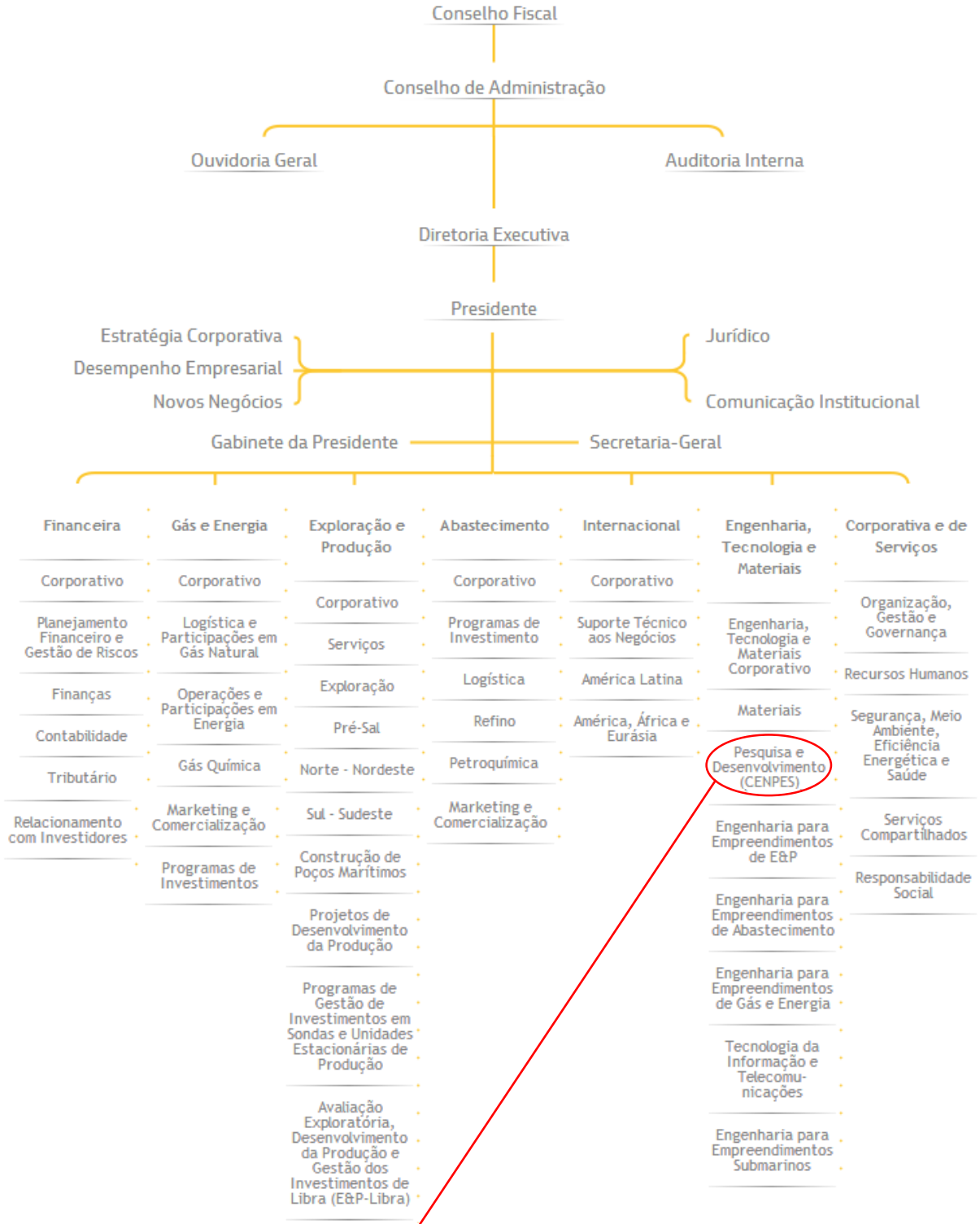


Figura 1. Adaptação do Organograma da Petrobras[1]

Uma prática de vivências das palavras[2]

[1] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/organograma/. Acesso em: 16 de setembro de 2015.

[2] Este texto é baseado em entrevista concedida por Leonardo Aquino Costa no dia 06 de fevereiro de 2014. Os três pontos correspondem a pequenas pausas. O que estiver entre os símbolos [ ] são falas minhas. As notas de rodapé são inserções minhas.

Eu fiz curso técnico em Eletrônica no CEFET-MG[3]. Depois disso, cursei Engenharia Elétrica na UFMG[4]. Na sequência, fiz mestrado em Engenharia Elétrica, também na UFMG, na área de Antenas, que tem muita Matemática; Teoria Eletromagnética tem muita Matemática. Antes de terminar o mestrado eu já tinha decidido fazer o doutorado, mas faltando um mês para eu ir, a Petrobras me chamou, devido minha aprovação no Processo Seletivo Público. Vim conhecer e resolvi ficar. Entrei na Petrobras em 10 de abril de 2006 e defendi o mestrado em junho de 2006. Nesse mesmo ano eu comecei a fazer o curso de formação da Universidade Petrobras e terminei em março de 2007. Desde o início de abril de 2007 estou no CENPES[5], envolvido com projeto básico.

Aqui no CENPES eu estou na Engenharia Básica, a minha gerência é Automação, Equipamentos Dinâmicos e Confiabilidade[6] e eu sou da área Automação. A minha gerência cuida dos projetos de engenharia básica na área de Automação e de Instrumentação do Abastecimento e Gás e Energia. Trabalhamos juntos com as gerências de processo fornecendo os nossos conhecimentos em automação e instrumentação de maneira matricial, ou seja, quando você inicia um projeto de uma especialidade, de um tipo específico de processo, é formada uma equipe agregando outras gerências que trabalham também de forma matricial, como, por exemplo, o pessoal de Equipamentos Estáticos e o pessoal da minha gerência de Equipamentos Dinâmicos e de Confiabilidade, e toca-se esse projeto. Nossa gerência trabalha em vários projetos ao mesmo tempo enquanto que as outras gerências de processo, como, por exemplo, a de Coque e Separação e a de Hidrorrefino, trabalham em projetos de acordo com as suas especialidades. Quem está envolvido em um projeto fica só naquele projeto. Se eu estou fazendo uma unidade de HDT[7], eu vou ficar, especificamente, nesse projeto durante o tempo que ele durar.

No projeto básico de uma unidade de processo existem partes bem definidas que o engenheiro de automação e instrumentação tem que fazer. O processo sabe o que quer controlar. O que a gente faz é definir as estratégias de controle junto com o processo.

Eu posso ter um tipo de controle que a gente chama de servo, que é servo porque ele serve, no qual você dá um *setpoint* novo para ele e a variável de processo vai, da melhor maneira, para aquele valor. E posso ter outro tipo, que é um controle regulatório onde, normalmente, você está com *setpoint* parado, *setpoint* fixo, e você tem que rejeitar as

[3] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
[4] Universidade Federal de Minas Gerais.
[5] Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello.
[6] Gerência AEDC (Automação, Equipamentos Dinâmicos e Confiabilidade).
[7] Hidrotratamento.

perturbações que chegam. Por exemplo, eu estou controlando essa vazão aqui, mas lá na frente eu tenho alguém que está me perturbando essa vazão, eu posso ter mais elementos consumidores tentando absorver essa vazão e isso vai me gerar uma diferença de comportamento, uma diferença de processo, ou seja, diferenças de pressões que vão levar a vazão a aumentar ou a cair. Isso são perturbações para a minha variável que está sendo controlada, que é a vazão. Então, meu controle tem que, em função dessas perturbações, medir o que está acontecendo e abrir ou fechar a válvula para retornar para aquele ponto, isso é um controle regulatório. Ele fica preocupado com as perturbações. Você vê que a gente tem que entender de processo também, não pode só ficar na teoria de controle, na teoria de instrumentação, não pode só receber aquela tarefa e executar sem ter uma crítica em cima de como é que aquilo vai funcionar, se aquilo vai ter como funcionar ou não, porque precisa ser mais multidisciplinar para fazer nosso trabalho aqui. Mas com o tempo você vai pegando.

Você tem desde estratégias de controle mais simples, que vão de simplesmente medir uma variável e atuar no elemento final, atuar em uma válvula, atuar em uma bomba, variar a rotação de uma bomba, abrir e fechar uma válvula, até estratégias mais complexas, como controle em cascata e controle com limites cruzados. Estou falando nomes...

[Nossa, já estou perdida!]

O que seria o controle em cascata? Controle em cascata, não... Eu não vou ficar falando muito termo específico para não te complicar!

Voltando a falar sobre projeto básico, a nossa tarefa é definir como vai funcionar, quem vai controlar com quem, você vai medir aquela variável onde, vai atuar em qual ponto para conseguir aquele objetivo final. Meço, por exemplo, a temperatura em uma linha e aí defino a vazão de gás combustível que vai para um queimador, dentro de um forno, que aquece a carga. Essa carga depois vai ser destinada para um reator, para uma torre de separação. Lá naquela torre eu preciso controlar a pressão e a temperatura, para que ela separe os produtos que foram gerados, no momento anterior, de modo adequado. Tenho agora um produto de topo, um produto de fundo. Isso tudo a gente define aqui no projeto básico e depois tem que ajeitar no campo, no início da operação.

Assim que a gente termina o projeto básico, ele passa para a próxima etapa, que é uma etapa de detalhamento. Nela, tudo isso que a gente definiu no projeto básico, de uma maneira mais geral, é detalhada de fato, nós não entramos em detalhes do “parafuso”, vamos dizer assim. Não defino o fabricante do controlador, mas eu defino a função de controle. O

fabricante do computador, que vai executar aquilo, tem que ter aquela lógica implementada, que são lógicas clássicas, não tem nada de inventar e se tiver que inventar alguma coisa, o computador de lá também permite você programar aquela lógica, tudo é customizável, mas tem coisas padrão.

Paralelamente a isso, a gente também faz assistências técnicas. Vamos nas refinarias, nas unidades operacionais da Petrobras, fornecer suporte técnico a algum problema que alguém estiver tendo. A gente fornece suporte a alguma partida de unidade, por exemplo.

[*O que seria uma partida de unidade?*]

Toda unidade, quando ela fica pronta, depois de construída, ela precisa iniciar a operação. Esse momento de início de operação é a partida da unidade. Ela está toda "desregulada", vamos dizer assim, todo sistema de automação ainda está precisando de ajustes, de sintonias para poder funcionar adequadamente. As malhas de controle estão com sintonias padrão, sem as informações devidas para elas se comportarem da maneira ideal. O que gente faz nessas partidas, principalmente, é o que a gente chama de sintonia de malhas de controle. É onde se observa o comportamento da malha de controle e propõem-se ajustes para que ela trabalhe de uma maneira mais rápida, suave e acertando no valor que você determinou como desejado para aquela variável, ou seja, o ponto de ajuste, o *setpoint*. Se você quer que uma vazão fique em determinado ponto, então você acerta a malha de controle que mede a vazão, processa aquela vazão e retorna a informação para a válvula. Em outras palavras, você ajusta certos parâmetros para que ela trabalhe com determinado comportamento dinâmico e garantindo a estabilidade. Isso é uma sintonia.

O trabalho de sintonia é um trabalho interessante, mas é um trabalho que exige agilidade, paciência, conhecimento, calma, relações interpessoais. Isso ocorre porque você chega em um lugar que não é o seu ambiente normal de trabalho: você não está no seu escritório, está no ambiente do outro, na planta que pode não ser sua. Então, você tem toda uma questão interpessoal que tem que saber lidar bem quando está lá, pois os operadores que estão lá têm uma pressão muito grande em cima deles durante esse momento e você está ali para ajudar. Tem que tentar o máximo possível não atrapalhar. Muitas vezes, uma sintonia dessa é mais estar preparado psicologicamente do que tecnicamente, ou tanto quanto, porque é estressante, é um momento de grande pressão: se você fizer uma besteira, se não fornecer a solução no tempo que é necessário, estará atrasando um determinado procedimento.

É na partida que você descobre os problemas. Você está com os instrumentos de medição com algum problema específico que não foi detectado antes: você tem sujeira, você tem válvulas travadas, válvulas empenadas que começam a apresentar defeito ali, naquela hora, porque nunca rodaram, é tudo novo. Então para, arruma, mas não pode parar porque você já atingiu um certo estágio naquela seção da sua unidade, então resolve-se aqui, resolve-se ali, atrasa aqui atrasa ali e você não quer ser mais um entrave para aquela partida. É... mas é muito bom também, você aprende muita coisa!

Estou acabando de chegar de uma partida semana passada. Eu estava na REGAP[8], numa partida onde isso tudo aconteceu, mas não teve muita intercorrência grave, estava até indo bem, a contento. A gente tinha alguns problemas aqui e ali, problema de instrumento, problema de equipamento, alguns problemas de processo, mas foi até bem tranquilo em relação a outras partidas. Foi uma unidade novinha de geração de hidrogênio, é uma unidade muito interessante. Ela tem um grau de complexidade médio, é uma unidade muito perigosa, lida com temperaturas muito elevadas, 800 graus, 900 graus dentro do forno.

O forno de uma unidade de geração de hidrogênio é algo que você não imagina que exista. Se o inferno chegar a um décimo daquilo ali você não vai querer ir para o inferno nunca, porque é muito, é muito, é... extrema mesmo a coisa lá dentro desse forno! No forno da REGAP são 65 queimadores. O forno em si é do tamanho de um prédio, todos esses queimadores ficam no topo, apontando para baixo, e a chama sai lá de cima e vai até lá embaixo. Imagine uma série de tubos passando dentro desse forno, onde a carga está passando. A carga é composta por gás natural e vapor. Esses tubos estão preenchidos com material catalisador, de modo que quando o vapor entra em contato com o gás natural na presença daquele catalisador e de alta temperatura ocorre uma reação química onde os átomos de hidrogênio do gás natural, metano, são liberados, formando moléculas de hidrogênio e de monóxido e dióxido de carbono. Essa é a maneira que a gente tem de produzir hidrogênio, um insumo básico numa refinaria. Você precisa muito de hidrogênio nos processos de tratamento. Praticamente todo combustível precisa ser hidrotratado e quem faz isso são as unidades de Hidrorrefino.

Temos aqui no CENPES uma gerência especializada em Hidrorrefino, unidades deste tipo têm como principal ação extrair o enxofre e outros contaminantes que vêm no petróleo, molécula do hidrocarboneto, substituindo esses contaminantes por um átomo de hidrogênio. O enxofre é problema, porque polui o meio ambiente. A partir de janeiro desse ano entrou em vigor uma regulamentação nova em que o teor de enxofre na gasolina, que era cerca

[8] Refinaria Gabriel Passos em Minas Gerais.

de 800 partes por milhão, mudou para 50 partes por milhão. O investimento que a Petrobras tem feito em unidades de hidrotratamento para tratar o produto final, a gasolina e o diesel, por exemplo, e produzir combustíveis mais puros, mais limpos, é monstruoso.

[*Qual a relação desse trabalho de sintonia de malha de controle com a matemática?*]

O que é sintonizar? É mudar certas características do controlador. O que é o controlador? Fisicamente é um computador, mas, em termos de *software*, é um algoritmo que está executando uma certa função matemática em cima de um erro. Então, ele mede a variável, ele está recebendo como entrada a variável que se quer controlar e o ponto de ajuste, o *setpoint*, que você precisa que aquela variável fique. Ele mede esses dois, faz a subtração dos dois e gera um erro. Com isso, você sabe o quanto você está longe do ponto que você deseja e aí, em função deste erro, ele executa um determinado algoritmo de controle para gerar um sinal que vai lá para a válvula e mande ela para uma certa posição.

O nome do algoritmo mais clássico, que a gente usa nas nossas malhas de controle, é o PID (Proporcional, Integral e Derivativo), ou seja, ele gera uma ação proporcional ao erro, somada a uma ação que é a integral do erro e mais uma ação que é a derivada do erro. Com esses três tipos de ações você consegue, todas elas em função do erro que está chegando, gerar uma ação mais adequada na sua variável manipulada, que é a abertura da válvula, por exemplo. Então, o que a gente faz é alterar os ganhos das parcelas: dessa soma que está sendo proporcional ao erro, qual é o fator multiplicativo? Qual é a constante de proporcionalidade, ou seja, você pega o erro e multiplica por quanto para gerar a primeira parcela? Você pega o erro e integra no tempo, e multiplica por quanto para gerar a parte integral disso, ou seja, o ganho integral? E você pega o erro, deriva e multiplica por um número, tudo linear: esse é o ganho derivativo. Você tem três ganhos, três pontos de ajuste nesse algoritmo PID e para isso existe, classicamente, na literatura formas distintas de gerar esses números. Há artigos e mais artigos, livros e mais livros propondo valores para estes ganhos em função do que você identificou[9]. O bom é a gente ter papel! Então eu tenho um medidor de vazão numa linha, que manda para um controlador, e esse controlador manda para a válvula [Figura 2].

[9] Identificação é um termo técnico que está relacionado com a obtenção da dinâmica de um processo. Ela é importante para a construção de projeto e de ajuste de um sistema de controle.

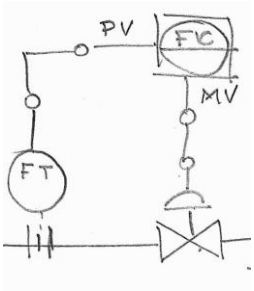


Figura 2. Lado esquerdo do desenho representa um medidor, lado direito parte superior representa um controlador e parte inferior uma válvula.

Se a vazão sobe, ou seja, se esse medidor diz que a vazão está acima do ponto que eu desejo, o que eu tenho que fazer com a válvula? Fechar. O controlador enxerga essa mudança no erro, vem, manda fechar a válvula. Qual a velocidade em que ele vai fazer isso? Qual é a característica em relação ao erro de estado estacionário que a gente precisa? Ou seja, no final eu quero zerar esse erro, tender a zerar esse erro, para que a vazão, que eu de fato estou medindo, fique mais próxima possível da vazão que eu desejo. Então, você pode fazer isso através desse algoritmo PID que, na verdade... O que é a saída? A saída aqui, vamos dizer que aqui é MV e aqui está chegando a PV [Figura 2], variável de processo, *process variable*, não tem jeito, tudo é em inglês. Vamos supor que a MV no tempo é igual ganho proporcional vezes um erro mais um ganho integral vezes a integral do erro mais um ganho derivativo vezes a derivada do erro, $MV(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t)dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$. Eu estou falando de uma maneira simples, mas na verdade a gente não trabalha especificamente desse jeito, trabalha muito parecido com isso. A gente não trabalha normalmente como um ganho integral, trabalha como um inverso desse ganho $\left(\frac{1}{T_i}\right)$, em que (T_i) é o tempo integral, mas não tem problema isso é só detalhe, e você não chama de ganho derivativo, chama de tempo derivativo (T_d). O algoritmo PID mais clássico poderia ser, então: $MV(t) = k_p\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}\right)$. Estou com uma professora de matemática aqui, tem que ter um pouco de rigor e ver se não errei, está certo![10]

O mais interessante é que a sintonia que eu coloco num determinado momento da partida não é a sintonia final que vai ficar, porque os processos são não lineares, o jeito que ele opera em um determinado ponto é diferente do jeito que ele opera em outro ponto. Em carga baixa tudo funciona de um jeito, em carga média de outro jeito, em carga alta funciona de outro jeito, e por funcionar de outro jeito, você precisa de uma nova sintonia para esses controladores.

[10] Maior aprofundamento desse assunto pode ser visto em Campos e Teixeira (2010).

Durante a partida eu vou sintonizando, quando aquela unidade passa para outro patamar, eu posso ressintonizar uma malha. Está vindo produto diferente, a temperatura é diferente, o comportamento dos sistemas é diferente, aí você faz de novo o teste, vê o que está acontecendo, calcula de novo o k_p, o k_i e o k_d, coloca lá de novo e vai subindo todo mundo junto, centenas de malhas. Mas o legal, muitas vezes, é que a unidade parte por pedaços, porque uma partida é uma coisa muito complexa, no sentido de que não vai tudo de uma vez, tem que ajeitar aqui, você vai abrindo aqui, para aquecer ali, para começar a gerar um nível naquele ponto, para começar a aquecer aquele outro ponto e vai subindo e vai subindo. Tem um caminho para se chegar no ponto final de operação, um procedimento todo complicado e bem escrito que os operadores têm que seguir. Eles ficam com esse procedimento na frente deles, no sistema, e vão seguindo. Isso pode demorar semanas.

[*É com essa fórmula que você me mostrou que vocês mais trabalham aqui?*]

Depende do fabricante. Um fabricante implementa a coisa de um jeito, outro fabricante implementa de outro, mas todo mundo pode voltar para uma forma clássica, uma forma geral. O que você tem, muitas vezes, são fórmulas de conversão de um modelo padrão para um modelo específico de cada fabricante, porque a gente também desenvolve. Eu ainda não tinha falado que a nossa gerência tem três bases: Engenharia Básica, Pesquisa e Desenvolvimento e Assistência Técnica. Eu falei de Assistência Técnica porque a gente está falando de sintonia e eu falei de Engenharia Básica um pouquinho, mas não falei de Pesquisa e Desenvolvimento.

A gente trabalha muito com universidades no desenvolvimento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento para chegar em produtos, primeiramente para ajudar a Petrobras que é o nosso objetivo, mas fomentando a pesquisa do país também. Eu lembrei disso agora porque a gente desenvolveu e desenvolve junto com uma universidade, especificamente a Universidade de Campina Grande, na Paraíba, uma ferramenta de auxílio a sintonia de malhas de controle. Essa ferramenta é um *software* que é instalado na rede de automação da unidade que a gente vai trabalhar. Ela fica capturando as variáveis de processo e você pode, através dela, até fornecer impulsos para as variáveis manipuladas. Aqui a gente está falando de uma malha de controle, mas são centenas de malhas de controle em uma unidade. Você tem protocolos, hoje em dia, padronizados, de trâmite de informação em que facilmente uma ferramenta consegue entrar numa rede de automação onde o protocolo é aberto e não depende especificamente do protocolo de um fabricante ou outro.

Antigamente tudo era muito proprietário, os fabricantes tinham os protocolos deles e isso só dificultava as coisas; você não tinha facilidade para desenvolver novas ferramentas independentemente do fabricante. Aí, optou-se por abrir os protocolos, de ter protocolos padrão, padronizar com normas internacionais e hoje o mais clássico é o protocolo OPC. Trabalhando todo mundo nesse protocolo – porque apesar do sistema de automação ter uma parte proprietária, ele fornece os dados via esse protocolo OPC para fora do sistema dele – você consegue, com outras ferramentas, capturar esses dados, conversar via esse protocolo, trabalhar e devolver informação para o sistema de automação também. Então, eu posso, via minha ferramenta, enviar uma informação para abertura dessa válvula, eu posso mandar essa válvula abrir ou fechar estando num computador fora daquele sistema específico de automação. Essa ferramenta nossa faz isso, ela captura os dados, dá ordens e depois me produz os parâmetros de sintonia para ajustar esse k_p, k_i e k_d, e eu ter um comportamento da variável de processo adequada.

Eu trabalho, também, com projeto de Pesquisa e Desenvolvimento na área de instrumentação sem fio, uma coisa que não se falava na minha época de curso de formação da Petrobras e nem na minha época de graduação, onde eu trabalhava com Eletromagnetismo. Então hoje, eu, junto com o Kaku Saito, engenheiro sênior e consultor da Petrobras, coordenamos um projeto com universidades e também com empresas, onde a gente tenta entender a tecnologia existente de instrumentação sem fio para poder implantar na companhia essa tecnologia de uma maneira segura, consistente. É muito interessante o funcionamento, o comportamento e os benefícios que a instrumentação sem fio traz.

Hoje eu volto a trabalhar com Teoria Eletromagnética, não é o foco todo do projeto, não me perco em Teoria Eletromagnética, mas ter o conhecimento que eu tenho ajuda realmente a entender o que está acontecendo quando você coloca um instrumento num determinado local e tudo diria que a comunicação iria acontecer, ele está com visada para um outro instrumento, mas a comunicação não acontece. Por que não está acontecendo? Visada é ele enxergar, você tem uma antena e ela está enxergando outra antena. Claro que qualquer engenheiro eletrônico tem disciplinas básicas de Teoria Eletromagnética que são obrigatórias, mas se você se especializa você acaba entendendo um pouco mais do que o básico, então ajuda. Aí são as ironias da vida, as coincidências que às vezes a gente não entende muito bem: você volta a mexer com o que você nem esperava. Quando eu entrei aqui na Petrobras eu já tinha dado como encerrada minha parte de Teoria Eletromagnética e aí acabamos voltando para mexer com isso.

[*E sobre seu período na Universidade Petrobras?*]

Durante o curso de formação tem aulas de processo, apesar do curso ser mais focado em automação e instrumentação mesmo, metade do tempo. Mas, a outra metade a gente vê muito processo, todas as áreas de negócio da companhia, você trabalha com a parte de E&P [Exploração e Produção], Abastecimento, Gás e Energia. A gente aprende sobre todas as áreas porque não sabe onde vai trabalhar. Tem turmas que são, de fato, dedicadas a uma área da companhia e aí o pessoal da Universidade Petrobras pode até focar mais o curso para aquela área, porque no final você sabe que 90%, ou todo mundo, vai para E&P, ou vai para Refinarias, ou vai para Abastecimento, mas muitas vezes não; as vagas são variadas, a minha turma era, por exemplo, variada, teve desde Refinaria, CENPES, E&P, e ainda teve um outro detalhe: a minha turma foi junto com uma turma da Transpetro. Meu curso foi de onze meses[11], uns cinco meses de disciplinas mais gerais, depois foram dois meses de vivencial, em que eu fui para a Engenharia, trabalhava com engenharia de dutos terrestres com o pessoal que tocava a obra e outras atividades, como verificação de projeto, comentários de projeto, mais no escritório mesmo. Depois terminei o curso e vim para o CENPES.

[*Você gostaria de fazer uma relação do curso que teve na Graduação com o da Universidade Petrobras?*]

Eu fiz o curso técnico já pensando em engenharia, não queria parar. O CEFET era para a engenharia, eu vi muita coisa lá que eu não vi na engenharia. De matemática eu aprendi integral, derivada, coisas que o pessoal do segundo grau não vê, teoria de controle já tinha no CEFET. A gente não tinha base para aquilo, mas já via muita coisa, alguma coisa de transformada de Laplace[12], mas sem saber de fato o que estava fazendo ali, mas fazia. A

[11] Esse tempo pode variar, dependendo da versão do curso de formação.

[12] Quando se fala em resolução de equações diferenciais, nem sempre as funções são contínuas, pode haver funções contínuas por partes ou periódicas, por exemplo. Nesses casos, a utilização de transformadas de Laplace pode simplificar a resolução de equações que envolvem essas funções porque transformam equações diferenciais em equações algébricas. As transformadas de Laplace são um tipo de transformação integral e possui a seguinte definição: seja *f* uma função definida para $t \geq 0$; a integral $L\{f(t)\} = \int_0^\infty e^{-st} f(t)dt$ será chamada de transformada de Laplace de *f* desde que a integral convirja. Por exemplo, $L\{1\} = \int_0^\infty e^{-st} 1 dt = \lim_{b\to\infty} \int_0^b e^{-st} dt = \lim_{b\to\infty} \frac{e^{-st}}{s}\Big|_0^b = \lim_{b\to\infty} -\frac{e^{-st}}{s} + \frac{1}{s} = \frac{1}{s}$, desde que *s*>0, pois para *s*<0 a integral diverge. Para garantir a existência de $L\{f(t)\}$ é suficiente que: 1) *f* seja contínua por partes em $[0,\infty)$, isto é, em qualquer intervalo $0 \leq t \leq b$ há no máximo um número finito de descontinuidades (de primeira espécie) t_k

diferença quando você chega em um curso de graduação com esse conhecimento do CEFET é muito grande.

Eu estava focando a minha carreira na universidade, não de forma tão planejada, mas era o que eu me sentia confortável, em me tornar professor. O que eu estava fazendo era isso, quando eu fiz o mestrado e ia fazer o doutorado. Eu sempre fui muito de teoria, eu sempre gostei muito de teoria básica, gosto de me aprofundar bem no fundamento porque o fundamento você não perde; eu gosto do que está mais moderno, do que está mais novo, mas eu não gosto de me descolar do fundamento. Você vê muita gente, hoje em dia, só no superficial, só no que é novidade, mas quando você pergunta sobre o fundamento a pessoa não sabe, por isso que eu fui, na minha formação, para a Teoria Eletromagnética.

Você pode entender muito de telecomunicações, você pode entender muito de rede, muito do que está ali, mas você não sabe como que aquela onda eletromagnética saiu de um ponto e chegou no outro. E por quê? O que interferiu naquela onda? O que que aconteceu? Então eu escolhi focar minha graduação em Telecomunicações e, principalmente, em Teoria Eletromagnética, que é a base, isso não vai mudar.

De repente eu passo para a Petrobras e passo a mexer com controle. Se eu tivesse feito uma graduação focada em controle, obviamente seria muito melhor; focada em instrumentação, seria melhor, mas são as maravilhas do concurso público também. É geral, mas é para isso que existe o curso de formação da Petrobras: para reposicionar as pessoas e catequizar todo mundo no que a Petrobras faz e no que a Petrobras precisa. Esse período que a gente passa lá não é brincadeira: é estudar todo dia, é aula das 8h às 17h e prova toda semana. É um curso eliminatório, se você não passar em todas as matérias, você tem penalidade, podendo até ser excluído, demitido, e tem casos de demissão. Na nossa época a gente até achava que não tinha, mas tem sim. A gente, de vez em quando, escuta um caso de alguém que foi demitido, porque não levou a coisa tão a sério.

[*E na Universidade Petrobras, a matemática aparecia também?*]

Tudo na vida do engenheiro tem matemática. Durante o curso de formação, durante a graduação, você trabalha com isso tudo cotidianamente. É claro que num ambiente de trabalho

---

, k=1,2,...,n ($t_{k-1} < t_k$) e f é contínua em cada intervalo aberto $t_{k-1} < t < t_k$; 2) f seja de ordem exponencial para $t<T$; uma função f é de ordem exponencial c se existem constantes c, $M>0$, $T>0$ de tal forma que $|f(t)| \leq Me^{ct}$ para todo $t<T$. (ZILL, 2009).

a coisa muda um pouco, você tem uma série de ferramentas computacionais para resolver aqueles problemas que antes você resolvia na mão. A gente tem programas prontos para fazer muitas coisas, você tem que fazer rápido, não tem que ficar mais fazendo pilhas e pilhas de papel para desenvolver uma teoria, apesar da gente fazer quando precisa, mas quando você vai calcular uma placa de orifício, por exemplo, você já tem tudo pronto.

A gente executa o projeto de Sistemas Instrumentados de Segurança, que é uma das tarefas da Automação. O pessoal de Confiabilidade, durante a etapa de avaliação de risco daquele projeto, determina se precisa de uma certa função de segurança para conduzir o risco de volta para região aceitável.

Risco é um produto entre a frequência de uma causa iniciadora e a consequência, se aquilo se concretizar num dano. Esse produto te dá um risco e toda companhia que trabalha com risco tem um número que é dado como risco aceitável. Por exemplo, você tem um risco de uma pressão elevada em um vaso. Se essa pressão ultrapassar determinado valor você pode ter rompimento do vaso e isso pode levar a determinadas consequências: mortes, incêndios com mortes, incêndios sem morte, danos ao meio ambiente. Então, você tem diversas consequências a qual são associados números, números padronizados. Você tem, também, a quantidade de vezes que a pressão pode chegar a um nível indesejado e aí você faz o produto dessa frequência com essa consequência e chega em um risco. Se esse risco estiver acima do nível que é aceitável, eu tenho que trazer ele de volta. Para isso você tem camadas de proteção.

O engenheiro de segurança, que cuida da parte de avaliação de risco – a parte de Confiabilidade, que é da minha gerência também, a nossa gerência como eu disse é AEDC, o C é de Confiabilidade – me diz o risco e todos, em uma reunião, avaliam quais as possibilidades de mitigação dele e aí dispomos de equipamentos, de instrumentos, de elementos de proteção, de alarmes que vão trazendo esse risco para baixo. Se você ainda não conseguir trazer esse risco para a região aceitável, você entra com uma última camada de proteção, que é chamada Sistema Instrumentado de Segurança.

Sistema Instrumentado de Segurança é um sistema composto de instrumentos que medem aquela variável de processo em função dela estar numa região indesejada e faz determinadas ações: corta determinados fluidos, abre, alivia para algum lugar, para máquinas. Esse Sistema Instrumentado tem um nível de integridade: ele precisa de ter essa função instrumentada de segurança que é essa composição de um iniciador, um computador e mais o elemento de atuação (aquela válvula, aquele relé que desliga uma bomba, aquele elemento atuador). Ele tem que ter um nível de integridade, ou seja, ele não pode falhar, e você aceita que ele falhe quantas vezes por ano, por década ou por milênio? Esse número é caracterizado

pelo nível de integridade que o engenheiro de segurança me entrega, que é um número famoso chamado SIL, Safety Integrity Level, não sei se já ouviu falar disso. É com esse número que eu trabalho. Ele me entrega esse número e fala "você tem que projetar uma função instrumentada de segurança que atenda aos requisitos de SIL 2", ou seja, você tem que ter uma taxa de falha, na verdade uma probabilidade de falha na demanda de 1.10^{-2} a 1.10^{-3}. Na verdade, quando ele está me entregando um SIL, ele me entrega diversas informações, uma delas é a probabilidade de falhar, que eu aceito para aquela função instrumentada de segurança e aí eu preciso projetar uma função instrumentada, uma composição de sensores, computador e válvulas, que no final atenda uma série de características definidas por normas internacionais e da Petrobras.

Com isso, eu entro, por exemplo, em Teoria de Confiabilidade de equipamentos e uso a matemática também. Eu entro com uma função de densidade de probabilidade de um equipamento falhar, de um sensor falhar. Eu tenho catalogado as taxas de falhas, que são números, coeficientes para aquele determinado equipamento, que é a taxa com que esse instrumento falha de modo perigoso, ou seja, ele para, você acha que ele está operando legal e ele não está e a sua variável de processo pode ir para região perigosa. Então, você cataloga essas falhas perigosas e usa essas falhas para compor uma função densidade de probabilidade que vai ser integrada. Essa função densidade de probabilidade, quando integrada, lhe gera uma probabilidade; ao gerar uma probabilidade, você compõe todas essas probabilidades e chega numa probabilidade global daquela função como um todo falhar.

Você tem taxa de falha para os seus sensores, para os seus executores da lógica, que são computadores industriais dedicados, processadores, e você tem taxas de falhas para os seus elementos finais: para as suas válvulas, para os relés, que desligam as bombas. Com essas taxas você monta essa arquitetura toda, que pode ter votações. Eu posso colocar três sensores para medir a pressão em um vaso e se dois deles me indicarem que a pressão está acima de determinado ponto, disparam-se as ações que precisam: eu fiz um esquema de votação do tipo 2 de 3, eu tinha 3 elementos e 2 indicando o problema eu tomo ação. Isso é bom, isso é ruim? Que vantagens tem eu fazer 2 de 3? 1 de 2? 1 de 1? 2 de 2? São diversas votações que classicamente se tem. Por exemplo, 2 de 2, uma votação onde eu ponho 2 e eu preciso que 2 me falem que eu tenho problema, que eu tenho uma situação perigosa, para eu poder começar a atuar. Esse é um esquema de votação que me privilegia a continuidade operacional. Por quê? Porque eu posso ter um instrumento que ele repica, que falseia e me diz erroneamente que eu estou em uma situação perigosa e aí, para prevenir esse tipo de situação, quando eu não tenho como fugir disso, eu coloco 2 e eu preciso que os 2 me digam que eu estou em uma situação perigosa para poder fazer alguma coisa e não parar a minha unidade à toa. Parar uma unidade

à toa é lucro cessante, é dano aos equipamentos, eu esfrio a unidade, eu tenho toda uma problemática também, porque eu não posso ir nem para um lado e nem para o outro. Ela pode explodir, mas se eu parar eu também tenho os riscos.

Então, isso faz parte de nossos projetos. E para isso eu posso... Eu uso a matemática o tempo inteiro. Eu, inclusive, dou aula disso na Universidade Petrobras. Há esse curso no curso de formação, mas eu dou aula nos cursos de formação continuada. Lá eu abro a matemática disso, falo de densidade de probabilidade, de teoria de taxa de falha, de integral, de derivada. Eu quase dou uma aula de matemática, e eles vão usar aquilo? Não. Não porque o interessante é a pessoa saber de onde vem a coisa, mas na hora de usar ele pode fazer porque tem sim simplificações e o cara pode usar as equações simplificadas e chegar nos resultados até bons. Mas se ele quer um resultado mais exato, você tem ferramentas para isso, você tem programas já desenvolvidos. Quando você começa a complicar muito a arquitetura, fica difícil de fazer a matemática daquilo, votações 2 de 3 combinando com não sei o que, combinando mais com outro, na mão você demoraria um dia inteiro ou mais para fazer uma coisa que você clica no programa e ele te solta um número. E a dinâmica do projeto: cada vez os nossos prazos são menores, então a gente precisa ser dinâmico, a gente precisa ser rápido e resolver as coisas rapidamente, mas a matemática está presente o tempo inteiro.

[*Tem alguma matemática que você aprendeu no seu ambiente de trabalho?*]

Essa parte de confiabilidade, eu nunca tinha tratado na engenharia. Não é uma matemática nova, porque a teoria é única, integral, derivada, densidade de probabilidade, mas o uso é que é diferente: esquemas de votação, as funções densidade de probabilidade.

Durante o curso de formação a gente teve aula disso, teve aula de confiabilidade, aí você fala "foi aqui no ambiente de trabalho ou foi no curso de formação?" No curso de formação teve, mas eu não tinha aplicado; mas quando chegou aqui, de fato eu apliquei, tive que estudar, tive que aprender algumas coisas.

Mas matemática que eu aprendesse aqui? Não estou me recordando agora. Não lembro. Mas... O fundamento vem de lá, as aplicações é que são novas e aí você precisa resgatar aquele conhecimento e aumentar para poder seguir naquela aplicação. É... Mas... Não recordo nada novo.

O exemplo mais interessante de surgir teorias novas, para você tomar conhecimento, vem da universidade, mas não do seu momento na universidade, que é o seguinte: em contato com a universidade, um grupo de pesquisa lá acaba usando uma teoria

nova, alguma novidade para resolver o meu problema e eu acabo tendo que aprender alguma coisa daquilo ali, que eu não tinha tido conhecimento na minha época.

A gente tem projetos com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que é com o pessoal da Ciência da Computação, Engenharia da Computação. São conceitos diferentes, conceitos de computação que eu, especificamente, não tratei, mas às vezes a gente tem que aprender um pouquinho para poder conversar, para poder entender o que está sendo proposto, e isso é uma maneira de absorver novos conhecimentos e estar dentro do meu trabalho, porque o meu trabalho não é isso, é aqui, é lá, é tudo. Não é fora, então eu acabo sim aprendendo coisas novas. O CENPES tem essa característica.

[O *que para você é inequívoco naquilo que você faz, assim como 2+2=4*]

O que você espera dessa resposta? [risos] É uma pergunta pessoal? Você está pensando do ponto de vista profissional? Aí é mais pessoal mesmo? Uma coisa de conceito que eu tenho do trabalho, não tem nada a ver com matemática, não é? A pergunta não é de matemática? Se a gente não estivesse falando de matemática aqui e você me fizesse essa pergunta eu ia responder de um jeito, o que eu considero para o meu trabalho sair bem, que é essencial.

Eu considero que você pode até, muitas vezes, não ser tão bom tecnicamente, mas você tem que ter seriedade, você tem que ter comprometimento, boa vontade para fazer bem feito. Fazer bem feito, na maioria das vezes, é melhor porque você quer fazer uma única vez, não quer ficar fazendo várias vezes, eu acho que isso é muito importante, é a base que eu levo. Muitas vezes a gente observa que determinadas pessoas não estão tão comprometidas com as coisas, dentro da companhia, fora da companhia, no Brasil como um todo, mas é isso que falta: falta todo mundo em casa, na rua, estar comprometido com o que faz. Se isso é levado a sério a gente consegue chegar no que a gente quer. Isso é o que eu tento seguir, não só aqui, mas fora daqui também. Muitas vezes a gente bate de frente, mas faz parte, porque tem gente que enxerga de maneira diferente. Isso pensando num aspecto geral. Mas... Essa seria a minha resposta.

[*Quando você vai fazer um projeto básico, o que você tem que fazer ou o que não pode fazer que não pode falhar, o que tem que seguir?*]

Se for olhar de uma maneira bem geral, o que me vem à mente são, realmente, os critérios de qualidade que a gente segue, que são: prazo, custo, e atendimento ao cliente. Não

tanto nessa ordem, mas são basicamente esses critérios que resumem bem o que você tem que fazer. O que o seu cliente está lhe pedindo? É o que você está fazendo? Você não pode fugir muito, não pode fazer muito melhor, porque se você fizer muito melhor, fora do que ele está lhe pedindo, você não atende nem o critério de prazo e nem o de custo. Então, você tem que atender tudo. Isso é o que tem que o reger quando você está fazendo um projeto, o que ele está lhe pedindo, e tudo tem que estar adequado: ele não pode pedir uma coisa muito avançada se ele não lhe deu recurso e não lhe deu prazo. Todo mundo tem que se acertar nisso: o que eu quero, quanto tenho de recurso e quanto eu tenho de prazo para fazer. Se isso tudo for seguido por todos que estão no projeto, o projeto vai chegar ao fim com sucesso. Então é isso que a gente precisa se lembrar sempre, ou seja, o comprometimento tem que ser constante, tem que ser bom tecnicamente, mas não precisa ser perfeito também; não existe projeto perfeito, não existe. Tudo tem pontos fracos, tem pontos de melhoria, mas você também não pode fazer o ótimo, porque muitas vezes você não vai conseguir fazer no tempo que você tem disponível, então... Você tem que fazer o melhor possível dentro das condições que lhe são dadas também, é isso que tem que reger.

[*Tem algo que tenha vindo a sua cabeça que eu às vezes, sobre essa questão da matemática, da formação matemática, da matemática na sua prática... veio e foi, ou eu não perguntei, você pensou sobre e queira falar?*]

Eu acho que a matemática tem que ser a base educacional do país. É muito bonito aprender outras coisas, mas se a gente não focar na matemática a gente não vai chegar na velocidade que a gente quer, onde a gente quer.

É fundamental a matemática ser bem resolvida desde o mais cedo possível na cabeça das crianças. Não precisa saber matemática só quem gosta de matemática; eu acho que todo mundo tem que saber bem matemática, tem que saber... Porque é a base para uma vida você ter esse tipo de conhecimento, para poder não ser enganado numa compra, para você saber calcular minimamente uma taxa de juros, para você saber fazer uma planilha de gastos, para você saber controlar seu orçamento familiar, qualquer coisa.

Então, não é a gente olhar para a engenharia, como é a engenharia. Eu acho que o problema da matemática é lá embaixo, é no fundamento mesmo, fazer as crianças gostarem de matemática. Se a gente está falando de matemática, a gente tem que falar bem profundo mesmo, de voltar lá na base. O professor de matemática, nas escolas, sabe a matemática que ele está ensinando? Ele é valorizado pelo que está fazendo? Não é, e nós estamos vendo que não vai

ser, então está tudo errado! Só quem gosta mesmo é que vai, e isso é que é o problema. Você não vai construir algo consistente só na base de quem gosta; você tem que expandir o conhecimento. Se posso fazer um desabafo e contribuir de alguma maneira nisso também, eu acho isso: tem que parar de perder tempo e seguir para isso. Você vê o que a Coréia fez, o que a China está fazendo. Nós estamos perdendo todas as chances que a gente poderia estar tendo, vai perder: vai passar Copa, vai passar Olimpíadas, vai passar tudo. Isso aí não é nada, se a gente não começar já, já era, já foi.

Adentrando Território Estrangeiro

> "[...] a aproximação do que quer que seja, se faz gradualmente e penosamente – atravessando inclusive o oposto daquilo que se vai aproximar. [...] A mim, por exemplo, [...] foi dando pouco a pouco uma alegria difícil; mas chama-se alegria".[13]

Iniciar uma tese sem uma introdução e com um texto escrito, a partir de uma entrevista, pode causar um estranhamento para você, que se dispôs a lê-la. Mas se chegou até aqui é porque considera que ela tenha algo a oferecer ou que, por raiva ou qualquer outro motivo, busca, pelo menos, uma explicitação do que estou trabalhando nela.

O organograma da Petrobras, apresentado na Figura 1, mostra um universo que, acredito, a maioria da população desconhece, e o texto "Uma prática de vivência das palavras", baseado em uma prática profissional na Petrobras, no qual eu tento explorar alguns aspectos envolvidos nela, principalmente os matemáticos, já traz um recorte bem pequeno desse universo petrolífero.

Não há um dia sequer que não ouçamos notícias sobre a Petrobras. Atualmente, as notícias que vemos com frequência são sobre a variação da Petrobras na bolsa de valores e a Operação Lava Jato[14], por meio de jornais, telejornais, internet.

Fundada em 1953, a Petrobras é uma sociedade anônima de capital aberto que tem como acionista majoritário o governo brasileiro. Ela é uma empresa líder no setor petrolífero brasileiro, estando presente, também, em outros países.

A Petrobras atua como uma empresa de energia nos setores: exploração e produção, refino, comercialização, transporte, petroquímica, distribuição de derivados, gás natural, energia elétrica, gás-química e biocombustíveis[15]. Ela é uma empresa reconhecida mundialmente e possui diversos prêmios pelo desenvolvimento de tecnologias de exploração e produção em águas profundas, dentre outros prêmios, e certificações como, por exemplo, de preservação ambiental e de segurança operacional[16].

---

[13] Trecho de Clarice Lispector falando a possíveis leitores antes de começar a história: Paixão segundo G.H. (LISPECTOR, 2009).
[14] Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/poder/2014/11/1548049-entenda-a-operacao-lava-jato-da-policia-federal.shtml. Acesso em: 24 de abril de 2015.
[15] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/perfil/. Acesso: em 24 de abril de 2015.
[16] PETROBRAS, 2003.

O petróleo, do latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), "no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho claro"[17]. Ele é utilizado para a produção de combustíveis e de outros produtos usados diariamente, como: plásticos, borrachas sintéticas, tintas, corantes, adesivos, solventes, detergentes, explosivos, produtos farmacêuticos, cosméticos, dentre outros[18].

Para que o petróleo se transforme em diversos produtos de uso diário, seu processo de extração não deve ser o de pendurar um tatu pela cauda e colocá-lo de cabeça para baixo – no ponto onde se quer tirar petróleo –, para que ele, na tentativa de fugir, cave, cave e cave até chegar ao petróleo, como sugere a boneca Emília – personagem criada por Monteiro Lobato[19]. Se não é assim, o que podemos dizer sobre seus processos de exploração e produção? Sobre a matemática envolvida nesse processo? E mais, sobre a relação das disciplinas de matemática em cursos de graduação em engenharia com a prática profissional de engenharia na área petrolífera?

Adentrar o território estrangeiro da Petrobras para pesquisar o papel da matemática nas atividades profissionais de engenheiros[20], da empresa, e a relação dela com a formação universitária deles, foi um desejo e um grande desafio.

O grande desejo mesmo era um estudo etnográfico com engenheiros em uma plataforma da Petrobras, mas já adianto que não foi possível nem colocar os pés em uma plataforma. A inspiração para a realização de uma pesquisa etnográfica, que significaria a imersão em uma plataforma da Petrobras para procurar entender os modos como os engenheiros constroem e compreendem suas vidas, em particular, suas vivencias com a matemática, veio, de certa forma, de pesquisas na Educação Matemática envolvendo Etnomatemática[21], de trabalhos sobre matemática no local de trabalho[22] e do compartilhamento de que:

---

[17] THOMAS, 2004, p. 4. De uma maneira geral, o petróleo é caracterizado "por uma mistura de compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos). Quando a mistura contém uma maior porcentagem de moléculas pequenas, seu estado físico é gasoso e quando a mistura contém moléculas maiores, seu estado físico é líquido, nas condições normais de temperatura e pressão". (THOMAS, 2004, p. 4).
[18] THOMAS, 2004, p. 2.
[19] LOBATO, 1965.
[20] Por comodidade de escrita usarei a palavra engenheiro para me referir a engenheiro e engenheira.
[21] D'Ambrósio define Etnomatemática como a matemática praticada por grupos culturais (D'AMBRÓSIO, 2005, p.9), a qual não deve ser confundida com a matemática praticada, estritamente, no meio acadêmico.
[22] Por exemplo, as pesquisas de Noss, Hoyles e Pozzi (2002).

> Centenas de etnólogos visitaram todas as tribos imaginárias, penetraram florestas profundas, repertoriaram os costumes mais exóticos, fotografaram e documentaram as relações familiares ou os cultos mais complexos. E, no entanto, nossa indústria, nossa técnica, nossa ciência, nossa administração permanecem bem pouco estudadas[23].

Essa constatação de Latour e Woolgar[24] pode ser vista na ausência de pesquisas de mestrado e doutorado defendidas no Brasil e inseridas no Banco de Teses da CAPES[25], ou nas edições da Revista de Educação Matemática *Zetetiké*[26], envolvendo etnografia com engenheiros da Petrobras e que tivesse semelhança com o que eu queria realizar e com o que acabei realizando.

Mesmo não conhecendo as práticas de cientistas, Bruno Latour foi convidado a fazer uma pesquisa no Instituto Salk de Estudos Biológicos[27], diferentemente de mim, que queria adentrar um território desconhecido, em termos de espaço físico, das práticas que são realizadas e das pessoas que as executam, sem ser convidada. Imagine, leitor, o que essa diferença não cria, em termos de acesso. Antes de explicitar um pouco mais a temática dessa pesquisa, eu quero trazer, de forma breve, esse percurso de tentar entrar onde não fui chamada.

Como não conhecia pessoas que trabalhavam na Petrobras e sequer sabia por onde começar qualquer contato com a empresa, comecei pelo SAC Petrobras (Serviço de Atendimento ao Cliente Petrobras), por meio de uma manifestação[28], identificada por 4275099, enviada por *e-mail*. Ela foi rapidamente respondida e sem a assinatura de um remetente:

> Em resposta à sua manifestação, recebida pelo Serviço de Atendimento ao Cliente, através do seu e-mail, em primeiro lugar queremos agradecer o interesse demonstrado sobre as atividades desenvolvidas pela Petrobras. Sobre a visita solicitada às nossas instalações, lamentamos informar da impossibilidade de atendimento, em virtude de as visitas às unidades serem

---

[23] LATOUR e WOOLGAR, 1997, p. 18. Essa citação não tira a importância de estudos etnográficos em lugares diferentes de onde se desenvolvem a nossa indústria, a nossa técnica e a nossa ciência. Bruno Latour realizou estudos em sociologia na Costa do Marfim e eles o inspiraram a estudar cientistas, como foi o caso da etnografia realizada no Instituto Salk de Estudos Biológicos, nos Estados Unidos, e descrita no livro Latour e Woolgar (1997).

[24] LATOUR e WOOLGAR (1997).

[25] Disponível em: http://bancodeteses.capes.gov.br/. Acesso em 15 de julho de 2013.

[26] A Revista Zetetiké apresenta uma listagem de teses e dissertações em Educação Matemática defendidas no Brasil desde 1991, e suas edições podem ser acessadas na página: http://www.fae.unicamp.br/revista/index.php/zetetike/issue/archive. Acesso em: 15 de julho de 2013.

[27] LATOUR e WOOLGAR (1997).

[28] Não foi possível recuperar o texto completo de minha manifestação porque ele foi enviado pela página da Petrobras na Internet, e a resposta enviada pelo SAC Petrobras via *e-mail* não continha o texto que enviei.

> programadas apenas para públicos que mantenham relacionamento com os negócios da Companhia.

Além de escrever *e-mails* resolvi efetuar ligações. Liguei diversas vezes tanto para o SAC Petrobras quanto para a Central de Informações (CI) da Petrobras. Recebi diversos números de telefone que não me levaram a lugar algum e um *link* de "Acesso à informação"[29], que, talvez, pudesse me ajudar. Por meio desse *link*, acessei outro *link* "Serviço de Informação ao Cidadão" e enviei um formulário eletrônico solicitando o contato de alguém da Bacia de Santos[30] para conversar sobre a realização de minha pesquisa. Não obtive êxito na comunicação com a Bacia de Santos e comecei a desistir de pesquisar em uma plataforma e tentar uma refinaria. Com isso, mais uma quantidade considerável de telefonemas foi realizada para a CI.

Não tinha recebido uma sinalização positiva sobre a realização da pesquisa na Petrobras, mas como já tinha iniciado um percurso, ainda aguardava respostas. Quando as recebia, elas vinham sem assinatura. Se não temos acesso ao outro, à fala do outro em totalidade, eu nem sabia a que poderia ter acesso. Para mim eram espectros espectrosos[31] que estavam assinando respostas aos meus pedidos.

A partir do momento que comecei a entender um pouquinho mais da Petrobras, as minhas solicitações a CI foram ficando mais precisas, assim como os nãos, como foi o caso da REPLAN (Refinaria de Paulínia). Os nãos causaram reações, ora de indignação, ora de tristeza, ora de dúvida, por não saber mais a que ou a quem recorrer. Mas eles não eram sem sentido: eu estava tentando entrar onde não fui chamada, com um projeto não direcionado aos interesses da empresa, tais como: otimizar a produtividade ou trazer alguma tecnologia nova. E mais, à primeira vista, parece mesmo esquisito uma pessoa, com graduação em Licenciatura em Matemática, que está fazendo doutorado em Educação, querer acompanhar um engenheiro em suas atividades profissionais, para ver como a matemática participa e participou na vida (profissional e acadêmica) dele, dentro de um ambiente de refinaria,

---

[29] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/minisite/acessoainformacao/. Acesso em: 29 de abril de 2015.

[30] Por que Bacia de Santos? Existem várias Bacias da Petrobras que abarcam muitas Plataformas e procurei por uma que estivesse no estado do curso de doutorado. Para saber mais sobre essas Bacias veja: http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/principais-operacoes/, acesso em 29 de abril de 2015.

[31] Quando falo "espectros espectrosos" quero dizer que eu não sabia se as mensagens e as respostas que obtinha eram enviadas por humanos ou não, se estavam vivos ou não, presentes ou ausentes, ou seja, não há nada que eu consiga falar sobre eles.

que pode oferecer riscos de segurança, e que possui diretrizes corporativas de segurança da informação.

As dificuldades me levaram a procurar por empresas que tinham alguma ligação com petróleo para pedir colaboração. Procurei, também, por pessoas que trabalham na Petrobras ou que também tinham alguma relação com a área petrolífera e que foram indicadas por vários amigos que se engajaram na tarefa de me ajudar.

Depois de tanto tempo de busca, sem encontrar um fio de Ariadne, comecei a me questionar porque ainda queria tanto a Petrobras, mas continuei a busca.

Das empresas às quais solicitei ajuda, a Sede Regional Campinas do Sindicato Unificado dos Petroleiros do Estado de São Paulo e a AEPET (Associação de Engenheiros da Petrobras) tentaram me ajudar. Em termos efetivos, um engenheiro da AEPET aceitou que eu o entrevistasse e uma pessoa do Sindicato aceitou que eu conversasse com ela.

Voltando às indicações de conhecidos de meus amigos, conheço por *e-mail* uma pessoa ingressante na Petrobras, que vou chamar ficticiamente de W. Através de W, soube que existe a Universidade Petrobras (UP). A UP fornece cursos de formação para ingressantes na empresa e cursos de formação continuada. W ficou na dúvida se podia me ajudar, pois estava em treinamento e disse que não estava aplicando nada, ainda. W disse, também, que não poderia falar do que faz na Petrobras por causa do caráter sigiloso das informações que recebe, mas que poderia falar de sua experiência profissional anterior à Petrobras.

O aspecto bom da busca é que ela pode nos ensinar coisas. Achei interessante uma empresa ter uma Universidade que fornece cursos de formação para seus ingressantes, e de formação continuada direcionados para os interesses dela. Isso me fez questionar a serviço do que, ou de quem, estão os cursos de graduação em Engenharia no Brasil.

No livro de Silva, Guedes e Freire[32], já havia uma discussão sobre o tipo de formação em engenharia que deveria ter no Brasil. Os autores falaram sobre a escola francesa, que propicia uma formação mais geral (mais científica) seguida de uma formação especializada. Falaram da formação alemã, mais focada na prática profissional (mais técnica), e da formação americana, que defende as ciências puras

[32] SILVA, GUEDES e FREIRE, 1931.

e as ciências aplicadas morando sob o mesmo teto. Esses tipos de formação já mostram diferentes objetivos quando se pensa em formar engenheiros.

Se o caminho de busca me ensinou muitas coisas, ele também me fez questionar muitas outras coisas: Como está a formação brasileira em engenharia? Se temos tantas modalidades de engenharia, de onde viria a necessidade de um campo de trabalho fornecer cursos para um ingressante nele? Como são esses cursos? Como a matemática participa deles?

Além de W, meu orientador, após ler uma reportagem[33] sobre a Dra. Aïda Espinola, me sugeriu entrevista-la. Ela tinha[34] formação em Química e em Engenharia Química. Dentre uma série de trabalhos realizados, ela desenvolveu, juntamente com suas assistentes, "um *ensaio de cromatologia em camada fina* [publicado em 1962] que se tornou recurso fundamental, valioso, para a análise rápida para identificação de contaminação das rochas por componentes do petróleo"[35]. A Dra. Aïda Espinola, chamada na reportagem de Sra. Petróleo, aceitou ser entrevistada.

O foco era realizar uma etnografia em alguma plataforma da Petrobras, mas depois deslocou para alguma refinaria dessa mesma empresa. No entanto, havia três pessoas, com alguma relação com o setor petrolífero, que se permitiram ser entrevistadas, uma conversa agendada no Sindicato e o conhecimento da existência de uma UP. Mas, e a pesquisa? Mesmo mantendo a temática, o que será? Como fui parar no CENPES? Já estou quase lá, leitor.

No Sindicado, eu conversei com um operador da REPLAN que vou chamar ficticiamente de J. Eu e J conversamos, dentre outras coisas, sobre a matemática em problemas da refinaria e acidentes na Petrobras. J me disse que esses acidentes ocorrem por erros de procedimentos ou por usos inadequados de certos equipamentos. J chamou um amigo seu para participar da conversa e esse amigo me disse que dificilmente um erro ocorre por causa de cálculos, porque os engenheiros já trabalham pensando no pior. Os erros são mais por problemas de planejamento e ergonomia, como, por exemplo, colocar equipamento em um lugar sem pensar no aspecto físico de um operador (no aspecto de movimentação) ou, até mesmo, sem pensar se o espaço é adequado para tal equipamento (por desejo de otimização do

[33] Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/134797-sra-petroleo.shtml. Acesso em: 16 de setembro de 2015.
[34] A Dra. Aïda Espinola faleceu no dia 29 de julho de 2015.
[35] ESPINOLA, 2013, p. XIII.

espaço). Eu perguntei a esse amigo até que ponto ergonomia é matemática e ele ficou pensando, mas como foi chamado por outra pessoa, deixou o ambiente em que eu estava com o J.

Eu tinha a imagem de que o engenheiro era a pessoa que punha a mão na massa e J me disse que nem vê o engenheiro no seu dia a dia; que ele responde a um gerente, que é um operador, e esse operador a outro ou a um engenheiro. Ele me disse que o engenheiro fica em uma sala recebendo dados das máquinas e de produção, calculando coisas e que ele só aparece quando o pessoal vai trabalhar com um equipamento novo, o que é raro.

Com essa conversa, aprendi que precisava pensar melhor nos meus procedimentos de conversas e de futuras entrevistas, como, por exemplo, o modo de tratar a matemática nas entrevistas: tratava-se de ver como as pessoas falam de e sobre matemática? Pelas conversas no Sindicato, matemática pareceu ser um sinônimo para cálculo. Ou tratava-se de, no momento da entrevista, problematizar o modo como alguém fala de e sobre matemática, tendo em vista um modo meu de falar de e sobre matemática?

Volto a ligar para a CI, só que, desta vez, para pedir o telefone da UP. Com tantas tentativas fracassadas de entrar em uma Refinaria, e também em outras áreas de negócio da Petrobras[36], direciono meu olhar para a UP, por estar mais relacionada à Educação. Começam, de novo, direcionamentos de ligação, a sensação de nunca chegar a pessoa alguma, espectros espectrosos, até chegar em uma Senhora que me disse que tentaria me ajudar, após receber um *e-mail* meu[37], apesar de nem saber como proceder.

---

[36] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/. Acesso em: 30 de abril de 2015.

[37] O *e-mail* foi enviado no dia 15 de outubro de 2013. Para a reprodução dele, a seguir, quero fazer duas observações: preferi não citar o nome da Senhora por se tratar de uma troca pessoal de *e-mail* e fiz pequenas correções de pontuação.

Prezada Senhora, meu nome é Rejane Siqueira Julio e atualmente estou como professora da Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG), em Minas Gerais, e como aluna da Faculdade de Educação (FE) da Unicamp, realizando o curso de doutorado sob orientação do Prof. Dr. Antonio Miguel.

Estou entrando em contato com a Senhora pois, para a realização de minha pesquisa, que tem o objetivo analisar o ***papel que a matemática desempenha na formação e na prática de engenheiros,*** *me indicaram a Senhora para conversar.*

Escolhi trabalhar em minha pesquisa com a área petrolífera, em especial, com os engenheiros da Petrobras, porque, além da Petrobras ser uma empresa modelo no Brasil, ela, após selecionar engenheiros para atuar na empresa, também fornece um curso de formação, num modelo diferenciado de Universidade, para esses engenheiros, preparando-os para sua futura prática profissional.

Dessa forma, gostaria de olhar para esse papel da matemática na formação e na prática de engenheiros sob dois aspectos: 1- entrevistas; 2- acompanhamento de um engenheiro da Petrobras.

Seis dias depois, uma ligação me acorda. Era Juliano Mesquita Loureiro, Gerente de Suporte à Gestão da Universidade Petrobras, dizendo que agora eu teria um lugar para pesquisar, o que se deveu à ajuda da Senhora que disse que tentaria me ajudar. Juliano me forneceu três contatos da UP, que já tinham sido previamente avisados de que eu os procuraria. Finalmente um espectro menos espectroso, finalmente um caminho. Agendo para novembro de 2013 uma conversa com um desses três contatos, o engenheiro Filipe Leandro de Figueiredo Barbosa e as três entrevistas mencionadas.

Após as três entrevistas iniciais, que me introduziram na "arte" de realizar entrevistas, senti a necessidade de focar em uma área um pouco mais específica da engenharia para tentar compreendê-la melhor. As três entrevistas iniciais abarcavam aspectos das engenharias química e mecânica e a conversa com Filipe envolveu outra modalidade de engenharia, que são os engenheiros que se enquadram no Artigo 9 da Resolução n.218 de junho de 1973 do CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia) – o qual discrimina campos de atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia –, ou seja, engenheiros eletrônicos, eletricistas (modalidade eletrônica) ou de comunicação[38].

Para o item 1, penso em realizar entrevistas semiestruturadas com: 1- professores de matemática que formam engenheiros na Unicamp; 2 - professores da Unicamp da área de engenharia, em especial do Cepetro (Centro de Estudos de Petróleo); 3 - professores do curso de formação dos engenheiros que atuarão na Petrobras, da Universidade Petrobras; 4 - alunos do curso de engenharia da Unicamp; 5 - alunos-engenheiros do curso de formação da Universidade Petrobras.
Para o item 2, eu penso em fazer um estudo do tipo etnográfico de acompanhamento de um engenheiro da Petrobras que esteja atuando na sua área de formação para ver como ele mobiliza conhecimentos matemáticos, por um tempo a ser conversado na empresa.
Não se trata, de forma alguma, de verificar se esses engenheiros sabem matemática e nem nas entrevistas eu quero ver o quanto alguém sabe ou não matemática. Trata-se de problematizar o papel da matemática nessa formação e como um engenheiro, em sua atividade profissional mobiliza conhecimentos matemáticos.
Estou escrevendo para a Senhora porque me disseram que os pedidos de realização de pesquisa na Universidade Petrobras passam pela Senhora e eu gostaria, por gentileza, de saber se é possível a realização de minha pesquisa de doutorado na Petrobras e na Universidade Petrobras, de acordo com o que eu gostaria de fazer nos dois itens mencionados. Além disso, gostaria de saber qual o trâmite burocrático necessário para que eu possa realizar essa minha pesquisa.
Gostaria de saber, também, como posso fazer para solicitar uma visita monitorada à Petrobras. Foi um longo caminho até chegar à Senhora e eu espero que dessa nossa conversa eu possa ter, efetivamente, uma resposta que possa me direcionar melhor no universo Petrobras com uma sinalização positiva ou (o que me deixa triste) até mesmo uma resposta negativa.
Estou à disposição para maiores esclarecimentos que se fizerem necessários para que o diálogo com a Petrobras possa ocorrer.
Eu agradeço pela atenção e aguardo uma resposta!
Rejane Siqueira Julio / resiju@gmail.com / matrícula FE/Unicamp: 115072.

[38] Por comodidade, chamarei esses engenheiros de engenheiros eletrônicos.

Filipe me falou da impossibilidade de fazer um estudo etnográfico com engenheiros eletrônicos, mas colocou o Curso de Formação em Automação Industrial da UP à disposição para entrevistas. A etnografia realizada por Bruno Latour, combinada com entrevistas, na qual ele pôde compartilhar da vida cotidiana dos pesquisadores do Instituto Salk, por dois anos, forneceu informações que ultrapassavam aquelas que poderiam ser obtidas somente pelas entrevistas[39]. Mesmo com essa limitação de não poder fazer uma etnografia, as entrevistas foram o que se tornou possível, e elas me possibilitaram ter acesso, de certa forma, a fazeres e dizeres, a práticas que não temos acesso facilmente.

Dessa forma, para o trabalho de tese, entrevistei alunos e professores engenheiros do Curso de Formação em Automação Industrial (CFAI[40]) da UP e engenheiros lotados em outras áreas de negócio da Petrobras. Mais especificamente, entrevistei três alunos: Felipe Figueiredo Cardoso e dois alunos que não quiseram se identificar; o Orientador Didático do CFAI, Carlos Vinícius Caldas Campos, (que tem papel semelhante a um Coordenador de Curso); e três professores: André Domingues Quelhas, Filipe Leandro de Figueiredo Barbosa e Mário Cesar Mello Massa de Campos. A partir do professor Mário, que está lotado no CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello), consegui entrevistar mais dois engenheiros do CENPES: Leonardo Aquino Costa (que também fornece cursos na UP) e Marcelo Lopes de Lima. Filipe também contribuiu para que eu pudesse entrevistar dois engenheiros da REDUC[41]: Eliane Valvano Corrêa da Silva e Paulo Mario dos Santos Dias de Moraes.

Nessas entrevistas, utilizei como guia o roteiro no Apêndice A e, após analisado pela Petrobras, juntamente com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B), recebi uma Autorização para a Realização de Pesquisa (Anexo 1).

Na pesquisa, eu mantive – ou pelo menos tentei manter – o olhar direcionado para o modo como engenheiros falam do e sobre o papel da matemática na prática profissional e na prática de formação em engenharia deles. Estudos sobre

[39] Latour e Woolgar (1997).
[40] Esta sigla não existe na UP. Ela foi inventada por mim para agilizar as citações ao Curso de Formação em Automação Industrial. O mesmo ocorre para a sigla CECA, criada para o Curso de Engenharia de Controle e Automação da Unicamp.
[41] REDUC (Refinaria Duque de Caxias).

profissionais em seus campos de trabalho têm impactado o modo como pensamos sobre matemática. Segundo eles,

> O que emerge claramente [nesses estudos] é que as pessoas desenvolvem estratégias para realizar seus trabalhos rapidamente e eficientemente usando seus conhecimentos e experiências, mas, também, explorando características dos seus meios e suas regularidades locais. Isto é, nesse sentido, que o conhecimento forma e é formado pelas atividades do local trabalho[42].

Acaba ficando uma limitação natural da pesquisa olhar para a relação da matemática na profissão e na formação de engenheiros, já que eles interagem com outras práticas (domésticas, sexuais, esportivas, familiares, dentre outras[43]) que contribuem para as duas primeiras e para a produção de conhecimentos. Mesmo um estudo etnográfico não daria conta da complexidade ou do todo das vivências das pessoas. No entanto, a relação apontada sobre o conhecimento formar e ser formado pelas atividades do mundo de trabalho quebra uma visão de que as universidades fornecem os conhecimentos, no caso, os conhecimentos matemáticos, que depois serão aplicados no mundo da indústria ou no mundo profissional, como se fosse uma via de mão única e de transmissão direta.

Após as entrevistas com alguns engenheiros eletrônicos da Petrobras, certos enunciados ouvidos com frequência sobre matemática me chamaram muito a atenção e me interessei em problematizá-los com maior ou menor intensidade e focando neles ou partindo deles. Para exemplificar, a visão de que a universidade fornece os conhecimentos teóricos que depois serão aplicados quando os engenheiros estiverem na prática profissional foi um deles.

Para ouvir mais sobre as relações entre práticas profissionais e de formação de engenheiros e me ajudar nas problematizações, decidi entrevistar os engenheiros docentes do Curso de Engenharia de Controle e Automação (CECA) da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp: Prof. Dr. Eurípedes Guilherme de Oliveira Nóbrega, Prof. Dr. Ely Carneiro de Paiva e Prof. Dr. Niederauer Mastelari. Para essas entrevistas usei como guia o roteiro colocado no Apêndice C.

Decidi, também, entrevistar matemáticos e educadores matemáticos que, a meu ver, poderiam contribuir para a pesquisa. Os professores que trabalham com

---

[42] NOSS, HOYLES e POZZI, 2002, p. 17.
[43] BUCH, 2014.

as disciplinas de Cálculo e Geometria Analítica e Vetores para turmas do Curso de Engenharia de Controle e Automação não se pronunciaram sobre o meu convite de entrevista. O Prof. Dr. Joni (João Frederico C. A. Meyer), do IMECC (Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica), não leciona para este curso em específico, mas tem grande experiência como professor para diversos cursos da Unicamp (inclusive para as engenharias) e em projetos com a Petrobras. Ele foi entrevistado por mim, assim como o Prof. Dr. Carlos Roberto Vianna, do Departamento de Matemática da Universidade Federal do Paraná, e o Prof. Dr. Roberto Ribeiro Baldino, da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, que dão aulas de disciplinas de matemática para cursos de engenharia. Nessas três entrevistas utilizei como guia o roteiro no Apêndice D.

Então, nesta pesquisa eu proponho, *a partir das falas dos entrevistados*, descrever práticas, em especial de alguns engenheiros eletrônicos da Petrobras do Curso de Formação em Automação Industrial e de professores da Unicamp, que fizeram pesquisas relacionadas à área petrolífera, e problematizar a participação da matemática na prática profissional e de formação de engenharia.

Antes de finalizar essa seção, eu quero retomar o texto que abriu a tese "Uma prática de vivências das palavras". Após vinte entrevistas realizadas, escolhi cinco delas e confeccionei cinco textos, semelhantes ao texto mencionado, colocados em fonte (ou tipo de letra) Times New Roman no decorrer da tese, como uma forma de descrever diferentes vivências profissionais e de formação acadêmica. A escolha das cinco entrevistas não foi aleatória. Os textos inspirados nelas foram exemplares em termos de descrição e diversidade de práticas.

Nos textos relacionados à Petrobras, procurei localizar você, leitor, no universo Petrobras, exibindo um organograma da empresa e circundando os locais de onde cada entrevistado fala[44], os quais também possuem sua estrutura organizacional e suas particularidades. Neles, não foi e nem é possível exibir a totalidade Petrobras, mas sim aspectos de locais circundados que possuem diferentes características em uma hierarquia empresarial.

Os textos foram baseados nas entrevistas; eles são edições delas, nas quais tentei colocá-los na forma de depoimentos ou algo similar ao programa *Ensaio*,

[44] Ou de onde os entrevistados falam, como no caso do texto confeccionado sobre a Universidade Petrobras.

da TV Cultura[45], um programa editado no qual um artista fala sobre momentos de sua vida, sendo que, às vezes, aparece a voz de um interlocutor invisível para dar alguns direcionamentos à fala de tal artista.

Para a edição deles eu aproximei alguns trechos, distanciei outros, tentando retirar ao máximo as minhas intervenções a fim de se dar a impressão de que o entrevistado estivesse contando/descrevendo sua história, sua prática profissional e o modo como a matemática participa dela.

Após a finalização desse processo de confecção de textos, enviei-os a cada entrevistado para que pudessem ler, corrigir o que quisessem, retirar coisas com as quais não concordassem, que tivessem falado no momento da entrevista, completá-los com coisas que achassem que poderiam contribuir e, até mesmo, atender algum pedido meu de esclarecimento, mas lembrando a cada um que a minha intenção era a de que o texto ficasse o mais próximo possível do modo como uma pessoa fala[46].

Os textos confeccionados me parecem suficientes em termos de descrição, de falarem por si, ou seja, propicia ver diferenças e semelhanças de práticas profissionais e como os entrevistados falam de e sobre matemática em suas vidas. Tanto é que não os discutirei. Deixarei que eles propiciem uma certa autonomia de leitura, mesmo tendo feito uma escolha de quais entrevistas receberiam esse tratamento.

A minha vontade foi fazer com que essa diversidade dos textos permita a você encenar, indiretamente – e exclusivamente – através da prática da leitura, práticas que não encenaram diretamente com os seus corpos, ou que, aqueles que as tenham diretamente praticado, possam (ou não) se identificar com elas. Mas, para não deixar tudo nas suas mãos, leitor, usarei as outras entrevistas, tão importantes quanto os textos, para lidar com as problematizações que aparecerão do decorrer da tese.

Desde agora, eu quero destacar o grande esforço e paciência da parte dos entrevistados em fazer com que eu compreendesse suas práticas e noções a elas relacionadas por meio de palavras ditas, repetidas e silenciadas, gestos, sons,

---

[45] Disponível em: http://tvcultura.cmais.com.br/ensaio. Acesso em: 03 de setembro de 2015.

[46] Apresentarei um texto sobre a Universidade Petrobras que não segue essa forma de proceder, mas que foi baseado nas entrevistas. Por se tratar de um texto com informações técnicas sobre um Curso na Universidade Petrobras, esse texto também foi submetido aos entrevistados abordados no texto para revisão.

metáforas e analogias, posto eu não pertencer à área de engenharia e tudo me parecer extremamente estranho.

Conhecendo Práticas Desconhecidas

> "Eu creio no poder das palavras, na força das palavras, creio que fazemos coisas com as palavras e, também, que as palavras fazem coisas conosco. As palavras determinam nosso pensamento porque não pensamos com pensamentos, mas com palavras, não pensamos a partir de uma suposta genialidade ou inteligência, mas a partir de nossas palavras. E pensar não é somente "raciocinar" ou "calcular" ou "argumentar", como nos tem sido ensinado algumas vezes, mas é sobretudo dar sentido ao que somos e ao que nos acontece. E isto, o sentido ou o sem-sentido, é algo que tem a ver com as palavras. E, portanto, também tem a ver com as palavras o modo como nos colocamos diante de nós mesmos, diante dos outros e diante do mundo em que vivemos. E o modo como agimos em relação a tudo isso."[47]

Rejane: Qual a sua trajetória aqui?

Marcelo[48]: Eu passei um ano lá na REDUC, trabalhando no campo e depois eu vim para o CENPES. A minha maior atividade aqui é projeto básico de novas refinarias. A minha gerência é Automação, Equipamentos Dinâmicos e Confiabilidade (AEDC).

Rejane: A função que você desempenhava na REDUC é diferente da função aqui?

Marcelo: É diferente. Lá, inicialmente, era manutenção, depois fui para a área de automação, mas era mais trabalho de campo. Aqui é trabalho de projeto. A gente também faz assistência técnica quando as refinarias, que são nossos clientes, têm algum problema e querem uma análise mais detalhada ou uma solução. E, também, a gente faz pesquisa e desenvolvimento, por exemplo, desenvolver uma ferramenta que nos ajude no trabalho. [...]. É aquilo que eu estava te explicando, a nossa atividade é transversal, controle e instrumentação, ela não é atividade fim da Petrobras. Na verdade, a gente presta serviço, a gente coloca a unidade para funcionar. A nossa intenção é controlar as variáveis da unidade, mantê-la estável e otimizar, na medida do possível. [...]. A atividade fim é extrair petróleo e vender produtos.

*Rejane: O que envolve esse **projeto base?**[49]*

*Marcelo: **Projeto básico**. Existe uma fase anterior ao projeto básico que é a fase conceitual, é uma decisão de negócio, se vale a pena fazer. Por exemplo: "ah, vamos construir a refinaria do Nordeste" ou "vamos construir o Comperj" ou então "vamos ampliar, vamos colocar uma unidade nova..." ou "a gente precisa tratar o diesel, o diesel tem que ser de baixo enxofre, então vamos construir uma unidade para o*

---

[47] BONDÍA, 2002, p. 21.

[48] Entrevista realizada com o engenheiro Marcelo Lopes de Lima, no dia 04 de fevereiro de 2014. Por haver somente um entrevistado com o nome Marcelo, sempre que citar esse nome estarei me referindo a este entrevistado.

[49] As palavras "projeto base" e "projeto básico" estão em negrito somente para chamar atenção da minha não familiaridade com certos termos e erros decorrentes disso. Não se tratou de um grito ou ênfase maior na palavra ou grosseria no momento da entrevista.

tratamento de diesel em uma refinaria existente". Decidido fazer, qual a rota, quais unidades que vão ser colocadas, capacidade e tudo isso, a gente vai desenvolver o projeto dessa unidade. É o projeto básico porque a gente define todas as vazões, toda a filosofia de operação, a gente coloca a instrumentação que vai precisar ter, os equipamentos, calcula a dimensão dos equipamentos. Depois, isso tem que ir para outra fase que é a fase de detalhamento. De uma fase para outra o risco está sendo diminuído [...]. Antes você sabia que queria uma unidade, agora você sabe quais equipamentos têm a unidade e quanto custa isso. Você vai passando por portais de decisão: a primeira é construir, a segunda é ter o projeto básico e detalhar. Quer dizer o projeto básico sai daqui e vai para o detalhamento. O detalhamento, geralmente, é contratado por empresa fora da Petrobras. No detalhamento é um outro grau de refinamento. No caso do instrumento, a gente diz que tem uma válvula do tipo globo, por exemplo, nessa unidade. A gente seleciona a tecnologia para essa válvula, é uma válvula globo de tamanho tal, só que tem vários fabricantes dessa mesma válvula. No detalhamento eles vão fazer cotação, vão fazer especificação da válvula, especificação do atuador da válvula, coisa que a gente não faz aqui. É como se fosse camadas, à medida que o projeto vai passando de fase, ele vai adicionando detalhes. Então, a gente cuida do projeto básico, que tem toda a definição de tecnologia e de operação, vamos dizer assim.

Nesse trecho, Marcelo me fala sobre a função que exerce na Petrobras e sobre uma de suas atividades que é a de fazer projeto básico. Ele não está fazendo um projeto básico na minha frente, mas fala sobre ele e as fases pelas quais ele passa para que eu possa entender o que isso significa.

> A capacidade de ação por parte do falante experiente mostra-se no próprio agir. No entanto, quando exigimos dele que justifique explicitamente suas ações, estamos exigindo dele um jogo de linguagem especial, que não faz parte do seguimento da regra da ação. Em muitos casos, que vemos muito naturalmente como atos do seguimento de regra, essa exigência não pode ser cumprida pelo agente; por exemplo, um falante não pode, em muitos casos, indicar as regras segundo as quais as frases são formadas em sua língua materna. As reflexões sobre regras da ação e sua justificação pressupõem um jogo de linguagem especial e conhecimentos explícitos, que são diferentes daqueles da compreensão prática e devem ser adquiridos em contextos específicos, por exemplo, gramaticais, éticos, jurídicos, científicos e pedagógicos. Eles pertencem ao âmbito do pensamento escolástico, que é separado da práxis por um corte epistemológico.[50]

Nas entrevistas, se tem um deslocamento de um corpo no contexto do dia a dia de trabalho para um corpo no contexto de descrição e explicação de sua prática profissional, exemplificado pela fala de Marcelo: "a gente não para para fazer uma reflexão do que está fazendo, mas é bom, eu acho interessante o trabalho, agora a intenção é o ensino da matemática?". O entrevistado sabe que falará sobre sua

[50] GEBAUER, 2013, p. 130.

atuação profissional, mas direcionará ou será direcionado para falar sobre um tema pinçado no conjunto de diversos temas relacionados a sua atuação, ou seja, jogará diferentes jogos de linguagem.

Eu uso a expressão *jogos de linguagem* em um sentido wittgensteiniano[51]. Para tentar dar uma visão do que estou dizendo, posso começar a falar dessa expressão do seguinte modo:

> Na prática do uso da linguagem (2)[52], uma parte grita as palavras, a outra age de acordo com elas; mas na instrução da linguagem vamos encontrar *este* processo: o aprendiz dá *nome* aos objetos. Isto é, ele diz a palavra quando o professor aponta para a pedra. – De fato, vai-se encontrar aqui um exercício ainda mais fácil: o aluno repete as palavras que o professor pronuncia – ambos, processos linguísticos semelhantes.
> Podemos imaginar também que todo o processo de uso de palavras em (2) seja um dos jogos por meio dos quais as crianças aprendem sua língua materna. Quero chamar esses jogos de "*jogos de linguagem*", e falar de uma linguagem primitiva às vezes como de um jogo de linguagem.
> E poder-se-ia chamar também de jogos de linguagem os processos de denominação das pedras e de repetição da palavra pronunciada. Pense em certo uso que se faz das palavras em brincadeiras de roda.
> Chamarei de "jogo de linguagem" também a totalidade formada pela linguagem e pelas atividades com as quais ela vem entrelaçada. [grifos do autor].[53]

Há uma variedade de empregos do que podemos denominar por signos, palavras e frases e essa variedade não é fixa e nem definitiva, novos jogos de linguagem surgem, outros envelhecem e são esquecidos[54]. Essa variedade já nos mostra que a linguagem "é um fenômeno da vida humana"[55] e a expressão *jogo de*

---

[51] WITTGENSTEIN, 2009.

[52] (2) é o seguinte aforismo: "Aquele conceito filosófico de significado é comum em toda representação primitiva do modo como a linguagem funciona. Mas pode-se dizer também que se trata de uma representação de uma linguagem mais primitiva do que a nossa. Imaginemos uma linguagem para a qual a descrição dada por Santo Agostinho esteja correta: a linguagem deve servir ao entendimento de um construtor A com um ajudante B. A constrói um edifício usando pedras de construção. Há blocos, colunas, lajes e vigas. B tem que lhe passar as pedras na sequência em que A delas precisa. Para tal objetivo, eles se utilizam de uma linguagem construída das palavras: 'bloco', 'coluna', 'laje', 'viga'. A grita as palavras; - B traz a pedra que aprendeu a trazer ao ouvir este grito. – Conceba isso como uma linguagem primitiva completa." (WITTGENSTEIN, 2009, §2). Dessa descrição dada por Santo Agostinho, Wittgenstein falará como "[...] uma determinada imagem da essência da linguagem humana, a saber: as palavras da linguagem denominam objetos – as sentenças são os liames de tais denominações. – Nesta imagem de linguagem encontramos as raízes da ideia: cada palavra tem um significado. Este significado é atribuído à palavra. Ele é o objeto que a palavra designa." (WITTGENSTEIN, 2009, §1). Wittgenstein (2009) faz uma crítica dessa concepção de linguagem.

[53] WITTGENSTEIN, 2009, §7.

[54] Ibid., §23.

[55] WITTGENSTEIN, 1978, VI, §47.

linguagem “deve salientar aqui que falar uma língua é parte de uma atividade ou de uma forma de vida. [...]”[56].

Wittgenstein[57] nos fornece uma listagem de exemplos de jogos de linguagem, como: ordenar e agir segundo as ordens; descrever um objeto pela aparência ou pelas suas medidas; relatar um acontecimento; levantar uma hipótese e examiná-la; apresentar os resultados de um experimento por meio de tabelas e diagramas; inventar uma história; pedir; agradecer; praguejar; cumprimentar; rezar.

A listagem acima exemplifica práticas que realizamos em nosso dia a dia como jogos de linguagem. Há uma conexão entre jogos de linguagem e práticas,

> Ao mesmo tempo em que as práticas são vistas como jogos de linguagem, estes, por sua vez, são vistos como práticas. E é nesse sentido que os jogos de linguagem são, ao mesmo tempo, constitutivos das práticas e constituídos nas e pelas práticas.[58]

Esse é um modo de ver práticas[59]. No campo da engenharia, em particular, Buch[60] fala que pesquisas de engenharia e de trabalho técnico têm dado atenção às práticas.

> Mas é muito recentemente – começando com publicações datando dos anos 90 do século passado – que uma linha de estudos começou a olhar mais de perto para a natureza social e técnica das práticas de trabalho de engenharia. [...]. Mas só recentemente pesquisadores acadêmicos de engenharia se engajaram em reflexões mais explícitas sobre como conceitualizar e teorizar “práticas” de engenharia [...] e teorizar as dinâmicas envolvidas na (re)produção e transformação da engenharia.[61]

Buch[62] menciona diversos teóricos da prática social e comenta diferentes noções de prática. Para exemplificar essas diferentes noções, ele fala em prática como “práxis” para descrever o todo da ação humana (em contraste com “teoria” e o mero pensamento) e prática como “praktik”, para um conjunto de fazeres e dizeres dos corpos humanos situados no tempo e no espaço e envolvendo conhecimentos, regras e propósitos. Esse último modo, baseado, principalmente, nos trabalhos de

---

[56] WITTGENSTEIN, 2009, §23.
[57] Ibid., §23.
[58] MIGUEL, 2010, p. 45.
[59] Outros modos podem ser vistos em: BUCH, 2014; SANTOS, 2004; VEIGA-NETO, 2008.
[60] BUCH, 2014.
[61] Ibid., p. 2.
[62] BUCH, 2014.

Theodore Schatzki[63] sobre teoria da prática social, tem sido utilizado por Buch em suas pesquisas sobre práticas de engenharia, como é o caso do projeto de pesquisa PROCEED (Programa de Pesquisa sobre Oportunidades e Desafios na Educação em Engenharia na Dinamarca)[64].

Nessa diversidade de noções de prática, eu realizei e olhei para as entrevistas pensando em práticas como jogos de linguagem e nos deslocamentos de jogos de linguagem, de uma prática por meio de uma fala que não é o próprio agir da pessoa no dia a dia, e a dificuldade que isso traz tanto para o falante quanto para o ouvinte, principalmente quando o ouvinte não é familiar a engenharia. Não foi sem motivo que a minha fala *projeto base* foi corrigida para *projeto básico* e que outras correções foram feitas em minhas falas nos momentos das entrevistas.

Veja o trecho abaixo:

Rejane: Essa folha [Figura 3][65] aí é um projeto básico?

*Marcelo: Essa é **uma** folha de projeto básico. O projeto básico pode ter, dependendo do tamanho da unidade várias folhas dessas, só peguei uma folha para essa conversa.*

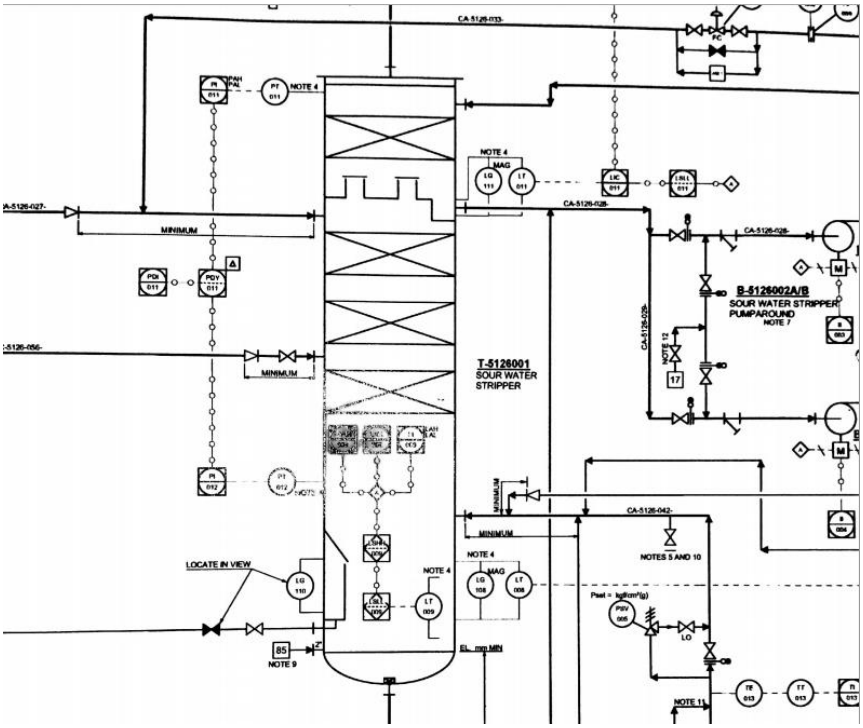


Figura 3. Trecho de uma das folhas do projeto básico de uma unidade de tratamento de água ácida.

[63] Theodore Schatzki se inspirou em Wittgenstein para construir sua teoria das práticas sociais.
[64] BUCH e JØRGENSEN (2010).
[65] Eu coloquei somente um trecho da folha, devido ao tamanho dela.

Rejane: Essa folha se refere a quê?

Marcelo: Isso aqui é uma unidade de tratamento de água ácida. No caso, é uma unidade de fins ambientais. [...]. Qualquer engenheiro que vê esse desenho vai entender, está tudo definido. Existe também legenda, mas o cara olha esse desenho e sabe que é uma placa; ele olha esse desenho e sabe que é uma válvula globo de controle; sabe que tem aqui um controlador, que esse controlador está no SDCD.

Eu, uma não engenheira, não entendia a Figura 3. Para poder, de certa forma, entender esse novo mundo, foi necessário que o entrevistado apontasse e falasse sobre os componentes presentes na Figura 3: torres, trocadores de calor, bombas, vasos, bombas alternativas, bombas centrífugas, controladores, medidores, placas de orifício, válvulas, etc. Esse falar *sobre* também envolveu uma série de analogias como: “cada válvula é como se fosse um volante” (Marcelo), “a planta tem que ser estável e operável. Ela tem que ter volante e ela tem que ser segura, então a gente coloca aqui um freio ABS” (Marcelo).

Foi somente depois disso tudo que pude perguntar: quando você faz essa planta, esse fluxograma, quando você olha para ele, o que te vem de [...] matemática[...]? Você consegue pensar matemática aí?

E o entrevistado pôde responder:

> Sim, muita, é matemática aplicada, é física, é basicamente física. Por exemplo, eu vou te mostrar um exemplo bem simplesinho aqui, mas que é matemática. [...]. Está vendo aqui um sinalzinho de vezes [Figura 4]? Esse bloquinho faz justamente isso, ele pega um valor que o operador ajusta aqui e multiplica por outro que vem aqui e aí dá o resultado. [...]. É uma multiplicaçãozinha. Eu digo assim, é tão básico, mas também é muito complexo, se você calcular uma torre dessa. Existe simuladores, que a matemática ali, às vezes, até o próprio engenheiro de processamento não domina. Ele tem que saber tudo o que está acontecendo ali, porque a ferramenta é burra, ela precisa do engenheiro para ser usada, mas só que o programa é a calculadora do engenheiro, [...] [ele] tem que embutir toda a física e química que está envolvida nisso e pode ser uma matemática pesada. (Marcelo)

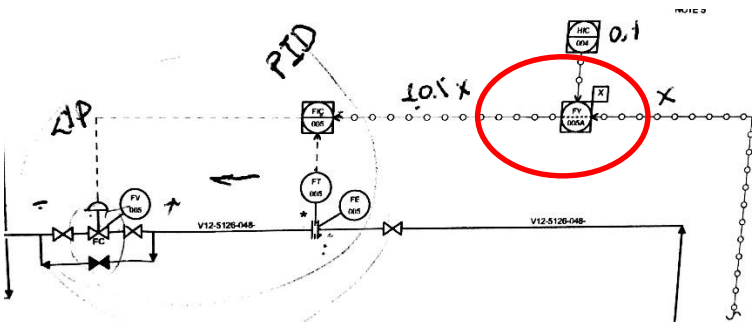


Figura 4. Sinal de vezes assinalado de vermelho.

Marcelo continua falando desse trecho de uma planta, apontando para válvulas e controladores e falando de como a matemática aparece nesse trecho. Esse ato de apontar também foi importante para o processo de entrevistas, apontar também "[...] é uma peça no jogo de linguagem"[66], assim como descrever, contar, relatar, fazer analogias.

O recorte da entrevista "*qualquer engenheiro que vê esse desenho vai entender",* marca a diferença de formação universitária, diferentes formas de vida e de atuar profissionalmente. A fala "*a gente não para para fazer uma reflexão do que está fazendo*" também traz a diferença de jogos de linguagem da prática profissional do entrevistado e do falar sobre a prática profissional dele.

Se há diferenças, como eu, os entrevistados e você, podemos entender as falas das entrevistas, que não são as mesmas do dia a dia do trabalho e muito menos as mesmas do que foi vivido na formação universitária? Pareceria loucura considerar que o que um entrevistado fala, por exemplo, sobre sua prática profissional seja totalmente diferente do que ele efetivamente faz profissionalmente. Como também seria loucura supor que o que ele fala sobre o que faz seja a mesma coisa do que faz. Os jogos de linguagem não são estáticos e incomunicáveis, eles "estão aí mais como objetos de *comparação*, os quais, por semelhança e dissemelhança, devem lançar luz nas relações de nossa linguagem"[67].

Assim como os jogos de linguagem não são estáticos e incomunicáveis, eles não estão casualmente relacionados, eles são imprevisíveis, estão aí – como a nossa vida[68].

O que se encontra na base de um jogo de linguagem é o nosso agir[69]. Tanto é que não faz sentido falar em essência de um jogo de linguagem e, portanto, da linguagem. Nem Wittgenstein[70] se preocupou em definir precisamente noções como jogos de linguagem e forma de vida[71]. Para ele não há algo que seja comum a todos

---

[66] WITTGENSTEIN, 2009, §669.
[67] Ibid., §130.
[68] WITTGENSTEIN, 2012, §559.
[69] WITTGENSTEIN, 2012, §204.
[70] WITTGENSTEIN, 2009.
[71] Wittgenstein não apresentou uma teoria, os escritos dele nas *Investigações Filosóficas* (WITTGENSTEIN, 2009) são pensamentos como observações, trata-se do assentamento de investigações filosóficas que o ocuparam por 16 anos. Essas investigações dizem respeito a objetos como: significado, compreensão, proposição, lógica, fundamentos da matemática, estados de consciência, entre outros. As *Investigações Filosóficas* são apenas um álbum, esboços de paisagem, "[...] como se tivéssemos diversas fotos dos mesmos objetos e pessoas em diferentes situações e de diferentes pontos de vista; [...]" (MORENO, 2000, p. 11). Wittgenstein também compara sua obra ao

os jogos, o que há são semelhanças, parentescos, que ele chamou de “semelhanças de família”[72]:

> Não posso caracterizar melhor essas semelhanças do que por meio das palavras “semelhanças familiares”; pois assim se sobrepõem e se entrecruzam as várias semelhanças que existem entre os membros de uma família: estatura, traços fisionômicos, cor dos olhos, andar, temperamento, etc., etc – E eu direi: os “jogos” formam uma família. Do mesmo modo formam uma família, p. ex., as espécies de números. Por que chamamos algo de “número”? Ora, talvez porque tem um–direto–parentesco com alguma coisa que até agora se chamou de número; e pode-se dizer que através disso adquire um parentesco com uma outra coisa que também chamamos assim. E alargamos nosso conceito de número do mesmo modo que, ao tecermos um fio, traçamos fibra por fibra. E a robustez do fio não consiste em que uma fibra qualquer perpasse toda sua extensão, mas em que muitas fibras se sobreponham umas às outras[73].

Como eu disse, houve um deslocamento de um corpo no contexto de trabalho, do dia a dia de trabalho, para um corpo no contexto de descrição e explicação de sua prática profissional e de formação, o que não deixam de ser, ambos, jogos de linguagem completos e diferentes. Para Wittgenstein, “Não consideramos, contudo os jogos de linguagem como partes incompletas de uma linguagem, mas como linguagens completas em si mesmas, como sistemas completos da comunicação humana”[74] e mutáveis com o tempo[75], podendo possuir semelhanças de família.

Para lidar com os deslocamentos e dificuldades, ao longo de toda a entrevista eu pedia insistentemente aos entrevistados por descrições e exemplificações, mesmo que isso fosse difícil, em alguns momentos, para eles, pois as ações podem ser entendidas como palavras e as “palavras também são atos”[76].

Houve, também, um deslocamento do meu corpo dos jogos de linguagem das entrevistas para os jogos de linguagem de edição delas e de escrita da tese. Nesse deslocamento, não se pode ter a ilusão de manutenção de sentidos originais dos falantes. Nas entrevistas eu usava as falas dos entrevistados e as minhas para entender suas práticas e fazer algumas problematizações; agora eu as uso, em

---

trabalho de um desenhista “[...] que esboça um modelo de diferentes ângulos e distâncias, percorrendo vários pontos possíveis de enfoque e apresentando os múltiplos esboços na sequência que lhes parece ser a mais convincente para a apresentação do objeto visado” (MORENO, 2000, p. 11).

[72] WITTGENSTEIN, 2009, §65-67.

[73] Ibid., §67.

[74] WITTGENSTEIN, 1992, p. 14.

[75] WITTGENSTEIN, 2012, §256.

[76] WITTGENSTEIN, 2009, §546.

conjunto com diversas outras falas ou textos, para escrever a tese. Se não há manutenção do sentido original, não significa também que sejam outras falas ou outra coisa. Novamente, as semelhanças de família que eu vejo entre esses jogos, entre os usos das falas, me possibilitam ver uma conexão entre eles e prosseguir na escrita desta tese.

A variedade e mutabilidade dos jogos de linguagem me impossibilita falar em sentido original deles ou de essências das palavras. Para Wittgenstein[77], "n*ós* conduzimos as palavras do seu emprego metafísico de volta ao seu emprego cotidiano"[78]. Quando Marcelo e outros entrevistados falavam de um vaso, eles não estavam falando de um vaso de flores, por mais que pudesse, para eles, haver semelhanças de família entre esses dois tipos de vasos. Não se tratava, também, de um vaso ideal do qual todos os outros vasos se derivariam. Poderia tratar-se, por exemplo, de um vaso separador de água, óleo e gás. A primeira vez que eu ouvi a palavra vaso no contexto das entrevistas, eu não entendia o que isso podia significar, no entanto, sabia que não se trava de um vaso de flores.

Wittgenstein[79] fala que a relação entre as palavras é feita por uma relação de sentido, visto que é a gramática do uso das palavras que nos permite dizer que "[...] espécie de objeto uma coisa é"[80]. Para ele, "somente na práxis de uma linguagem uma palavra pode ter significado"[81]; ou seja, "o significado de uma palavra é o seu uso na linguagem"[82], em jogos de linguagem, por meio de regras de aplicação das palavras. Apesar de possuírem semelhanças, o vaso no contexto da produção petrolífera e o vaso de flores cumprem diferentes funções, são usados de modos diferentes.

Falar de jogo de linguagem não é o mesmo que falar de uma perspectiva referencialista de linguagem, segundo a qual as palavras seriam nomes cujos significados seriam os objetos que esses nomes substituiriam por meio, por exemplo, de um gesto ostensivo, e que as frases seriam combinações de nomes que descreveriam os estados de coisas, sendo, então, a função da linguagem nomear e

[77] WITTGENSTEIN, 2009.
[78] Ibid., §116.
[79] Ibid.
[80] Ibid., §373.
[81] WITTGENSTEIN, 1978, VI, §41.
[82] WITTGENSTEIN, 2009, §43.

descrever as coisas do mundo, estando ela vinculada à realidade por meio de conexões entre as palavras e o mundo. Veja o seguinte emprego da linguagem:

> Eu envio alguém às compras. Dou-lhe uma folha de papel onde se encontram os signos: "cinco maçãs vermelhas". Ele leva o papel ao comerciante. Este abre a gaveta sobre a qual está o signo "maçã". Ele procura a palavra "vermelho" numa tabela e encontra defronte a ela uma amostra de cores. Ele diz a sequência dos numerais – supondo que ele a saiba de cor – até a palavra "cinco", e a cada número tira da gaveta uma maçã que tem a cor da amostra. – Da mesma forma, operamos com as palavras. – "Como ele sabe onde e como deve procurar a palavra 'cinco'?" – Ora, suponho que ele *aja* conforme descrevi. As explicações encontram um fim em algum lugar. – Qual é o significado da palavra 'cinco'? – Aqui não se falou disso mas somente de como a palavra 'cinco' é usada. [grifo do autor][83].

Moreno afirma que,

> De fato, partindo da crítica à força com que a imagem do gesto ostensivo impregna nossa concepção da ligação entre linguagem e mundo exterior – entre pensamento, linguagem e mundo exterior – Wittgenstein mostra que esse gesto faz a ligação, na verdade, entre dois domínios de *signos*, e não entre signos e objetos empíricos, ou entre linguagem e objetos exteriores a ela (Wittgenstein, 1997, p. 110). Em outros termos, os objetos para os quais apontamos, ao pronunciarmos uma palavra, já são signos, *i.e.*, instrumentos linguísticos – p. ex. são usados como *amostras* ou como *paradigmas*, etc., e não como objetos materiais ou individuais. Os objetos apontados, ao pronunciarmos os seus nomes, são objetos do mundo exterior investido da função de regras para o uso das palavras, passando a ser usados como regras *internas* à linguagem. Assim, p.ex., como diz Wittgenstein, é possível substituir a maçã para a qual apontamos pelo desenho de uma maçã, que este cumprirá a mesma função de amostra, ou regra, para a aplicação da palavra maçã. Isto mostra que a maçã real apontada é usada como regra linguística, ainda que não seja uma palavra. [...].[84]

Até agora eu trouxe alguns elementos importantes para a realização desta pesquisa como: práticas como jogos de linguagem, solicitações de descrições, semelhanças de famílias. Um outro elemento importante para leituras das práticas e problematizações, são as regras.

> Não é possível um único homem ter seguido uma regra uma única vez. Não é possível uma única comunicação ter sido feita, uma única ordem ter sido dada ou entendida uma única vez, etc. – Seguir uma regra, fazer uma comunicação, dar uma ordem, jogar uma partida de xadrez, são *hábitos* (usos, instituições).
> Compreender uma frase significa compreender uma língua. Compreender uma língua significa dominar uma técnica.[85]

---

[83] Ibid., §1.
[84] MORENO, 2007, p. 74.
[85] WITTGENSTEIN, 2009, §199.

Esta fala de Wittgenstein sugere que seguir uma regra é uma prática, é um costume[86], é uma atividade humana[87]. Glock diz que:

> [...] Wittgenstein sugere também que a atividade de seguir uma regra é *tipicamente* social, e que *algumas* atividades guiadas por regras – incluindo-se não apenas as que são comunicáveis por natureza, como comprar e vender, mas também, por exemplo, fazer matemática – supõem o contexto de um "modo de vida" social e histórico [...] Mesmo paciência é um jogo que só pode ser jogado se a instituição do jogo existe.[88]

Seguir uma regra, então, é uma atividade que está relacionada com os usos que se fazem dessa regra, com os costumes, instituições, com a "corrente da vida", e, "uma vez selada, com um determinado significado, a regra traça as linhas de sua observância por todo o espaço"[89].

Segundo Moreno, nós "[...] não agimos guiados por regras, mas sim, em conformidade a regras, ou melhor, podemos modificar, substituir, eliminar e criar novos critérios para nossa ação enquanto agimos no interior de formas de vida [...]"[90]. No entanto, nem tudo é regrado, podemos traçar algumas regras, podemos traçar alguns limites para os usos que fazemos das palavras, mas "as nossas regras têm lacunas e a prática tem de falar por si própria"[91]. Por exemplo, não há no jogo de tênis regras que determinem a altura acima da rede ou a força que um jogador pode arremessar a bola para o adversário, mas o tênis é um jogo e possui regras[92].

Quando eu perguntei aos entrevistados o que os regia inequivocamente nos seus trabalhos, estava perguntando pelas regras que seguiam, a fim de que propósitos sociais não ambíguos fossem atingidos no contexto da atividade social por eles compartilhada. Diversas respostas foram dadas como: uma diretriz, dada por um gerente, de resultados que se precisam alcançar; agir de acordo com as regulamentações da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível); informação, controle e segurança para fazer uma planta básica de

---

[86] WITTGENSTEIN, 1978, VI, §21.
[87] Ibid., VI, §29.
[88] GLOCK, 1998, p. 317-318.
[89] WITGENSTEIN, 2009, §219.
[90] MORENO, 2002, p. 20.
[91] WITTGENSTEIN, 2012, p. 161, §139.
[92] WITTGENSTEIN, 2009, §68.

uma unidade; conhecer os processos e os equipamentos com os quais estão operando.

Cada entrevistado segue regras institucionais gerais, regras mais situadas relacionadas ao seu ambiente específico de trabalho, regras inerentes àquilo com o que se está trabalhando e regras próprias, como considerar, por exemplo, o comprometimento como uma ação inequívoca. Essas regras podem ser faladas explicitamente por ele ou podem ser lidas por mim nas entrevistas. Não adianta, na minha leitura, fazer uma planta de uma unidade se não foi tomada uma decisão de negócio; não adianta passar uma planta de uma unidade para o detalhamento se não foi feito o projeto básico dela. Isso são regras, procedimentos normativos para uma atividade de confecção de projeto básico e seguidas tanto por Marcelo quanto por Leonardo[93].

Voltando a falar sobre a aprendizagem de um trecho de uma das folhas de uma unidade de tratamento de água ácida, – ou de uma prática na Petrobras ou na Unicamp ou em outras Universidades –, os entrevistados faziam ligações entre signos por meio de gestos ostensivos, ensino ostensivo das palavras, definições ostensivas, analogias, etc. Uma vez falado que tais e tais símbolos ou figuras significam tais e tais coisas, essa foi uma preparação para o uso deles no e durante o processo de descrição, por exemplo, de um trecho de uma planta de tratamento de água ácida do projeto confeccionado pelo engenheiro Marcelo, para que eu tentasse entender como há uma participação matemática nesse projeto, nesse contexto de atividade humana.

Quando esse procedimento não era possível, eu sempre solicitava descrições mais detalhadas e mais exemplificações do que os entrevistados estavam dizendo para tentar entender melhor os usos que estavam sendo feitos das palavras ditas por eles ou do modo como eles descreviam suas atuações.

No contexto mais amplo da pesquisa, as minhas ações foram na direção de tentar “Não explicar! Descrever!”[94], o que significa, por exemplo, “não queira ver as atividades profissionais dos entrevistados como uma consequência direta do estudo da matemática”, veja como eles mesmos descrevem suas práticas e as relacionam com a matemática e a formação universitária. Em outras palavras, descrever práticas e problematizar a matemática na formação e nas práticas profissionais da engenharia

[93] Essa fala sobre as fases dos projetos pode ser vista na página 3 do texto que abriu a tese: “Uma prática de vivência das palavras”.
[94] WITTGENSTEIN, 2010, p. 127.

foi um exercício de cuidar para não tratar isso tudo como uma relação direta de causa e efeito, o que não impede que outras pessoas vejam dessa forma.

Acrescentando a vontade de fazer com que você, leitor, tente entender práticas por meio das entrevistas transformadas em textos – isto é, de jogos de linguagem que se aproximam dos jogos de linguagem da atividade profissional das pessoas que entrevistei – e participe, de certa forma, das problematizações realizadas no decorrer da tese como, por exemplo, aquela de que a matemática seria a base da engenharia ou aquela de que ela desenvolve o raciocínio lógico (ou desenvolve a intuição), dentre outras, penso que, ao me inspirar nos escritos de Wittgenstein posteriores aos do *Tractatus Logico-Philosophicus*[95], não há uma necessidade de se fechar o texto desta tese com conclusões do tipo: "isso deve ser assim" ou "veja, leitor, estou te apontando uma verdade" ou "olhe leitor, essa prática do engenheiro pode ser vista como matemática". Não há necessidade nem de uma conclusão para fechar a tese. O mais importante é apresentar diferentes práticas e um panorama de diferentes modos de ver e de falar de e sobre matemática na prática e na formação de engenheiros. Isso está longe de tentar abarcar uma totalidade desses modos, e sabendo que nem sempre as problematizações assumem um mesmo grau de homogeneidade e de profundidade, espero levar você, leitor, a olhar em múltiplas direções e sentidos.

Até agora, abordei práticas em que os dois entrevistados (Leonardo e Marcelo) são da Gerência AEDC, do CENPES. No próximo texto, "Práticas de manutenção: Lógica e orçamentação", eu trago outras práticas que têm relação com uma atuação profissional exercida por Marcelo, que foi na área de Manutenção da REDUC, e que possui falas semelhantes às de Leonardo como, por exemplo, falas sobre Engenharia de Confiabilidade.

[95] WITTGENSTEIN, 2010b.

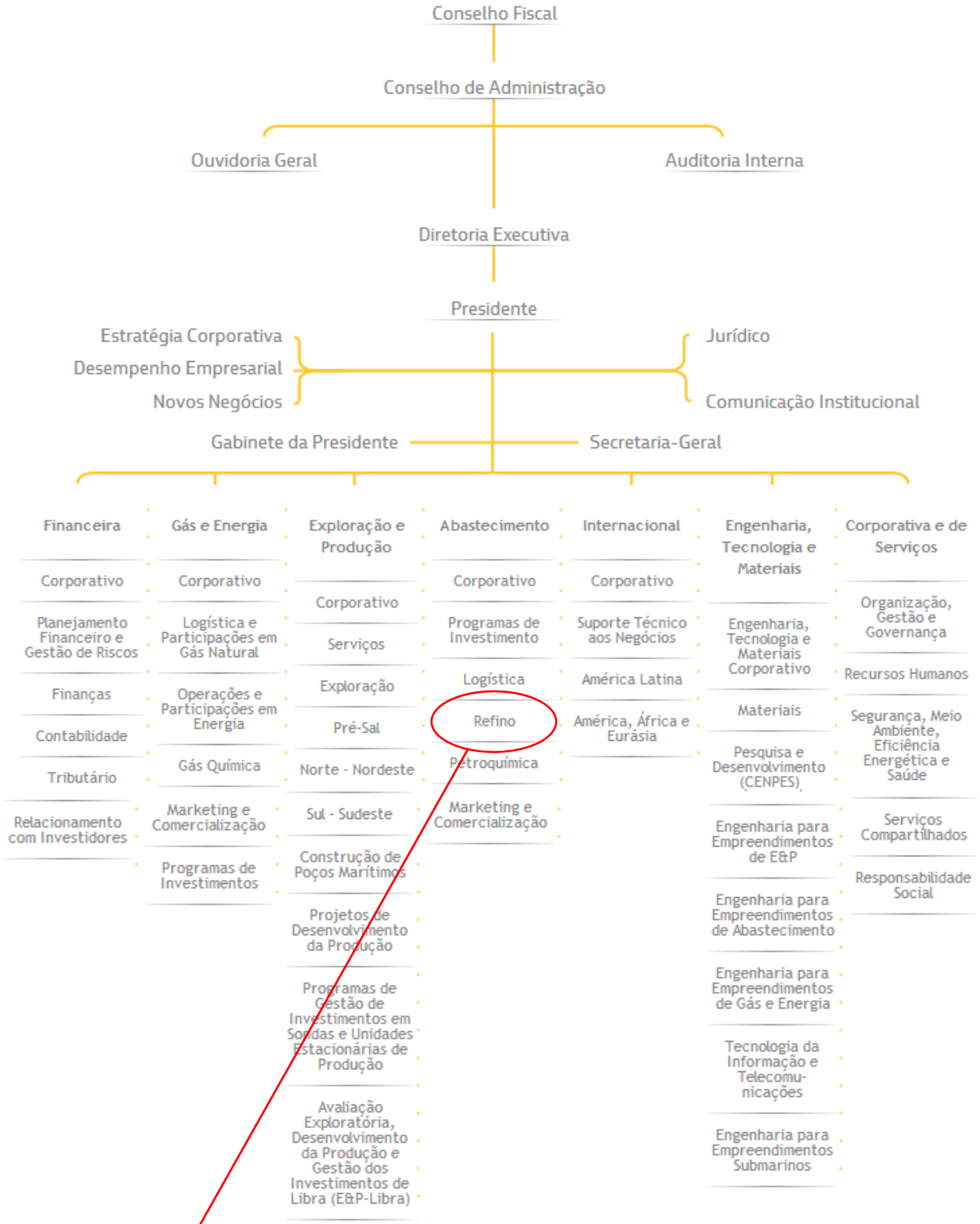


Figura 5. Adaptação do Organograma da Petrobras[96]

Práticas de manutenção: lógica, orçamentação[97]

[96] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/organograma/ Acesso em: 16 de setembro de 2015.

[97] Este texto é baseado em entrevista concedida por Eliane Valvano Corrêa da Silva no dia 05 de fevereiro de 2014. Os três pontos correspondem a pequenas pausas. As notas de rodapé são inserções minhas.

Eu sou Engenheira Eletrônica, estou há 13 anos aqui na Petrobras. Trabalhei 10 anos na REDUC[98], na área de Engenharia, e agora estou há um ano e meio na área de Manutenção.

Na REDUC a gente tem basicamente dois tipos de atividades: uma que tem a ver com seu trabalho e uma que não tem. Eu vou falar primeiro da que não tem, que são as atividades vinculadas à gestão, planejamento. Por exemplo, a gente tem uma parada de manutenção. O que é parada de manutenção? Uma unidade de processo opera cerca de 4 anos. Depois de 4 anos de operação contínua, para-se o processo e faz-se uma série de atividades de manutenção que não podem ser realizadas enquanto a unidade está operando. Aqui na REDUC a gente não para a Refinaria toda e sim uma certa unidade de processo. Às vezes, tem várias unidades vinculadas que, se uma parou, tem que parar as outras juntas, mas têm outras Refinarias que param inteiras. Esse momento da parada para manutenção é um momento muito crítico, porque se você parou a produção, está tendo lucro cessante significativo, está deixando de produzir. O objetivo é gastar o mínimo possível e realmente realizar naquele período tudo o que você não pode fazer durante a campanha, para não ter problemas com aquele equipamento enquanto a unidade está operando e, obviamente, com segurança, e etc., etc. É um momento que demanda um planejamento muito grande das atividades para cumprir os prazos. Então, essa é, por exemplo, uma atividade em que a gente se envolve, que é o planejamento da parada de manutenção, no qual a gente ajuda a definir o escopo, o que pode ser feito realmente na parada de manutenção e que não pode ser feito em campanha. Isso não é uma atividade exatamente técnica, não tem absolutamente nada a ver com matemática diretamente, é uma atividade mais de gestão.

Outro exemplo de atividade de gestão é gestão de estoque. Por exemplo, esse equipamento que está aqui na mesa. Se falhar esse componente dele ou outro componente, a gente tem que ter parte sobressalente para substituir. Então a gente faz uma análise dos equipamentos e dos subcomponentes deles que estão instalados e do que a gente precisa ter em estoque. Basta um? Preciso de 10, de 5? Se eu tenho um mínimo instalado no campo, eu tenho que ter cem no estoque? “Ah não, isso nunca falha”. Então eu tenho mil no campo, basta ter um

[98] A REDUC, localizada na Baixada Fluminense, é uma das maiores refinarias do Brasil em capacidade instalada de refino de petróleo. Ela iniciou sua produção em 1961, é hoje responsável por 80% da produção de lubrificantes e pelo maior processamento de gás natural do Brasil. Ela possui também o maior portfólio de produtos (no total, são 55 produtos processados em 43 unidades). (Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-duque-de-caxias-reduc.htm. Acesso em: 04 de junho de 2014.)

ou dois no estoque. Esse tipo de análise é um trabalho do qual o engenheiro participa. Ele não necessariamente faz sozinho, muitas vezes faz com ajuda de outros técnicos. Outro tipo de atividade de gestão seria elaborar um relatório sobre uma ocorrência. Relatórios, de uma forma geral, eu classifico nessa parte de gestão. Essas são tipos de atividades que não estão vinculadas à nossa formação de engenheiro, ajuda, mas não seria essencial de um engenheiro executar e aí a gente tem as atividades mais técnicas.

Para a manutenção, especificamente, para o que estou fazendo hoje, uma das atividades mais importantes é análise de ocorrências. A gente tem uma ocorrência anormal, pode ser uma parada de unidade em um momento em que ela não deveria ter parado ou uma perturbação qualquer do processo. A gente tem que descobrir por que aquela perturbação aconteceu. Estaria vinculada a um instrumento, a uma medição? Estaria vinculada a um equipamento que falhou? Conforme a perturbação ocorrida no processo, se define quais os engenheiros que serão envolvidos nessa análise. Se tiver uma perturbação envolvendo uma bomba, quem conhece bomba é engenheiro mecânico, então vai ter engenheiro mecânico participando. Se a perturbação envolveu alimentação elétrica, faltou energia, você vai ter um engenheiro eletricista envolvido. Como eu sou engenheira eletrônica, então se ocorrer algo envolvendo o controle do processo ou alguma medição de variáveis de processo, como pressão e temperatura, aí sim eu estarei envolvida nessa análise.

Nessa sala aqui tem umas trinta pessoas, sendo quatro ou cinco engenheiros, o resto é tudo técnico. Se uma unidade parar, se ocorrer um problema simples, o primeiro ataque é sempre feito pelos técnicos. Os engenheiros dificilmente são envolvidos no primeiro ataque. Se for um problema complexo, aí a gente pode acabar sendo envolvido nesse tratamento emergencial. O que é mais comum? Os técnicos resolvem e relatam: “eu encontrei um mal contato aqui, um fusível queimado ali” e a gente participa da análise.

A gente participa do que a gente chama de abrangência. Que é abrangência? Eu tive um problema nessa unidade e eu não quero que esse mesmo problema aconteça na unidade ao lado. Então, a gente faz essa análise para saber se existem outros locais, outros pontos, que estão sujeitos à mesma fragilidade para que a gente possa se antecipar para evitar que o problema aconteça lá também. Em geral, em um evento a gente é envolvido na segunda etapa, depois que o sufoco já passou e a unidade já partiu, para participar dessa análise de causa básica e ver se alguma coisa por acaso não foi analisada ou a gente é chamado quando há um sistema novo, que o pessoal não conhece.

Esse tipo de atividade: análise de ocorrências, é um tipo de atividade que eu diria que a gente, nessa área de instrumentação, usa bastante a matemática, mas focado num

segmento específico que é a lógica, porque os equipamentos de automação são programados usando lógica: blocos lógicos, porta *e*, porta *ou*, flip-flop. A gente acaba tendo que usar, seja porque vai configurar um equipamento – que já não é bem uma atividade da Manutenção, é uma atividade de Engenharia, de implementar um projeto novo – ou porque eu tenho que analisar o comportamento desse equipamento, no qual eu tenho que entender o que foi configurado lá, aquela lógica que foi desenvolvida para compreender por que naquele momento aconteceu aquilo, naquele momento não aconteceu aquela outra coisa.

Quando a gente fala de análise de eventos, a gente usa um tipo de análise que chama árvore de falhas. Você já ouviu falar? Existem outras metodologias, mas a mais comum é essa. Na verdade, ela é como se fosse um circuitinho; baseia-se em portas *e* e portas *ou*. Como você faz análise de uma falha? Esse gravador falhou, daí você se pergunta: o que faz esse gravador falhar? "Ah, acabou a bateria, o display falhou, sei lá... memória interna para gravação dos dados se corrompeu". Você coloca essas várias causas possíveis para o evento que você está analisando e vê o que pode aprofundar: pilha falhou, normalmente porque ela acabou, não tem outras causas. Mas quando é um evento mais complexo, para cada uma dessas causas você pode ter várias causas associadas. Esse é o método que a gente mais usa para analisar eventos e ele tem uma base matemática, base lógica.

Esse exemplo [Figura 6] está meio feiozinho, mas dá para compreender. A gente teve um evento que foi: disjuntor não abriu após comando. Aí a gente tem aqui uma porta *ou*. Quais são as causas possíveis desse evento? A gente lista: essa, essa, essa e essa. Essa aqui pode ser desdobrada em duas. Uma é defeito na bobina, podendo ser: aberto ou em curto. A outra causa é defeito no mecanismo de abertura e fechamento, podendo ser de um dos seguintes tipos: uma queda da haste ou uma alteração na constante elástica da mola. Então você vai desdobrando. Tem árvores, às vezes, com muitos níveis: 5, 6, 7 mil. Uma árvore como essa da Figura 6, é uma árvore média, tem 3 níveis. Cada possível causa é analisada em termos daquele evento específico. Eu tenho evidência que mostra que aquilo não aconteceu? Se eu não tenho, eu descarto essa opção. Podia ser uma falha na alimentação, a gente foi lá, verificou e viu que a alimentação estava ok. Então não foi isso. Podia ser o fusível queimado, mas vimos que não estava, então descartou ele. A gente vai seguindo até chegar nas causas que a gente chama de causa básica. Esse tipo de análise é uma aplicação direta de matemática. Não calculei uma integral, não fiz nada desse tipo, mas tem um vínculo; é um tipo de aplicação em que a formação matemática é importante: o fato de um dia ter estudado e o fato de conhecer lógica. Mas não é uma aplicação tão direta.

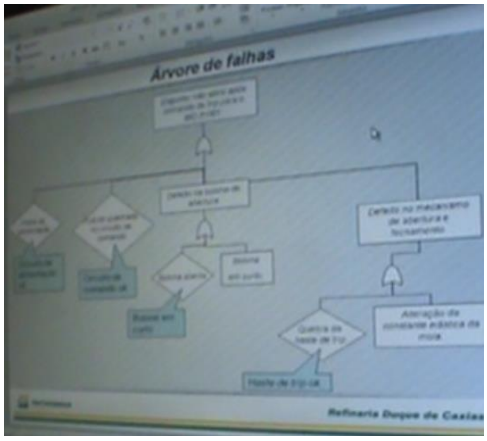


Figura 6: exemplificação de uma árvore de falhas[99].

A gente não usa um software para fazer uma árvore de falhas. A gente faz uma análise preliminar e depois formaliza na árvore de falhas. Normalmente a gente reúne outras pessoas para fazer um *brainstorming* do que mais que pode falhar, ou seja, quais os componentes que participam desse sistema e que podem falhar. A gente busca documentos, manuais, o que precisar para conseguir entender uma falha e fazer essa análise.

Você chegou no momento que estou com um problema, uma ocorrência que eu passei mais de uma semana debruçada na lógica para tentar entender o que aconteceu. Foi com o nosso principal equipamento para controle de processo usado na refinaria toda. A gente diferencia, na refinaria, o que a gente chama de controle do processo e o que a gente chama de segurança do processo. Isso é feito por equipamentos distintos.

Os equipamentos que fazem a segurança do processo ficam monitorando variáveis críticas, as quais estão associadas a algum risco. Por exemplo, se a pressão de um vaso ultrapassar um limite, o vaso pode explodir. Por isso, essa pressão fica monitorada por um equipamento que vai acionar alguma válvula para drenar o vaso ou que vai automaticamente acionar um recurso para impedir que aquele evento perigoso aconteça. Normalmente você tem mais de um recurso, dependendo da criticidade do evento. A gente, normalmente, usa redundância, tem até fabricantes diferentes, tipos de equipamentos diferentes. Você tem mais de um nível de proteção para que a probabilidade de um evento perigoso acontecer seja praticamente zero. Esse equipamento que fica monitorando essa pressão e que vai abrir a válvula para drenar o vaso é o que a gente chama de sistema de segurança. Ele não atua em condições normais, só atua em condições de risco. Quando ele percebe um risco, ele toma uma

[99] A resolução da Figura 6 não está boa porque foi uma captura da filmagem da entrevista. Eu a deixei no texto para se ter uma ideia da estrutura de uma árvore de falhas.

medida preventiva associada para mitigar esse risco, eliminá-lo completamente. Isso é o sistema de segurança.

Já o sistema de controle... O que ele faz? Ele garante que o processo opere corretamente e produza os produtos esperados. Eu quero produzir gasolina. Para produzir gasolina, uma série de parâmetros lá na torre de destilação, por exemplo, têm que ser controlados: a temperatura tem que ficar tanto, a pressão tem que ficar tanto e a vazão tem que ficar tanto. O que o sistema de controle faz é garantir que esses parâmetros fiquem dentro das faixas esperadas. Como ele faz isso? Manipulando a vazão: normalmente são válvulas de controle que ele vai abrir mais ou fechar mais para controlar aquilo.

Falamos dos dois tipos de equipamento: o de controle e o de segurança. As telas típicas de configuração dos dois sistemas são mais ou menos parecidas. A semelhança é o uso de elemento base que é um bloco, representado por um retângulo, que tem ligações de entrada e saída e uma lógica de funcionamento. Há manuais que vão dizer como cada bloquinho funciona. Alguns são bem óbvios, tipo flip-flop ou a porta lógica, e outros não tão óbvios. Você tem que entender exatamente como cada um funciona, tanto para, no nosso caso que estamos analisando um evento, compreender por que o comportamento foi daquela forma, quanto para desenvolver uma configuração que vai fazer o sistema se comportar como você quer que ele se comporte, que seria o caso do desenvolvimento de um projeto. Dessa forma, eu diria que essa é a aplicação mais direta que a gente tem da matemática no nosso dia a dia, é toda essa parte de lógica e a aplicação, tanto para o desenvolvimento quanto para a compreensão do que alguém desenvolveu para o funcionamento dos equipamentos.

Naquele problema que eu te falei que estou trabalhando, é um problema de um forno que estava operando e ele parou indevidamente. A gente chama uma parada de um equipamento de *trip*, que é uma "parada" em inglês. A gente usa o inglês por questões culturais. Então, esse forno teve um *trip* inesperado e eu fiquei incumbida de descobrir por que isso aconteceu, se foi algum componente que falhou, o que causou isso. Até agora não consegui encontrar uma explicação. Em determinado momento a malha passou sozinha para manual, abriu a válvula, aí subiu a pressão e trincou. Eu identifiquei uma lógica, mas eu não sei... essa condição que identifiquei não aparece na lista de eventos, o que significa que o evento não ocorreu ou que ele foi perdido.

Uma outra ferramenta que a gente usa são os registros de eventos, que é uma lista que o próprio equipamento gera. Isso pode gerar um alarme para o operador, para ele tomar uma ação, avaliar o que está acontecendo. Esse registro de alarmes nos permite entender como que o processo foi acontecendo e o que o operador fez.

Tem outros fornos iguaizinhos a esse que deu problema, mas aconteceu em um e não aconteceu em outro, o que é pior, pois se são iguaizinhos não pode falhar a lógica ou pode ser que tenha alguma diferença que eu não tenha percebido, talvez algum acessório.

O que a gente chama de acessório são complementos da lógica que não aparecem. No entanto, quando você olha, às vezes tem um "*linquezinho*" que você nem dá nada para ele, mas que é um acessório gigante e pode ter uma porção de coisas que interferem. A gente chegou em um nível de imaginar que algum bloquinho no lixo pudesse afetar essa coisa, para você ver o tanto que avaliei esse problema.

Voltando, tem esse tipo de atividade de análise de eventos e tem outras atividades técnicas. Estou pensando se tem algo que envolva mais diretamente a matemática. Eu vou te explicar o que é e a gente vai analisando juntas. Tem mais duas atividades técnicas que são típicas da manutenção. Uma é o que a gente chama de tratamento de problemas crônicos. Tem um equipamento ou sistema ou componente que apresentou problema uma vez e foi tratado. Passou um tempo, ele apresentou o mesmo tipo de problema e foi tratado novamente. Depois, apresentou problema uma terceira vez. Enfim, isso é o que a gente chama de problema crônico. Pode ser um equipamento que não está adequado para aplicação, pode ser uma instalação que não está adequada para a aplicação, ou pode ser um equipamento de baixa qualidade mesmo, que a gente comprou e constatou que ele tem qualidade ruim. A análise dessas situações, o entendimento do que está acontecendo e a definição da solução para que esse problema pare de acontecer definitivamente é o que a gente chama de tratamento de problema crônico. Essa é, também, uma atividade típica da manutenção que a gente exerce. Só não sei se tem alguma matemática envolvida com ela, de uma maneira geral não.

A gente não faz um trabalho, por exemplo, que a engenharia de confiabilidade[100] faz. É uma área que usa muita matemática. É algo que deveria acontecer na manutenção, mas hoje ainda é um trabalho muito incipiente, porque estatística só gera alguma coisa se tiver muitos dados. Pense uma estatística com 4, 5 dados, sua confiabilidade é mínima, serve para nada. Qual é o objetivo da engenharia de confiabilidade? Garantir que os sistemas de processo vão ficar disponíveis mesmo que ocorram falhas em equipamentos. Bom, mas como você garante que um sistema vai ficar disponível se alguma coisa falhar? Você pode usar uma redundância: em vez de ter uma válvula, você pode ter duas; em vez de ter uma medição de pressão, eu posso ter duas medições de pressão, por exemplo. Mas aí eu vou ter que duplicar tudo? É muito caro. O que a engenharia de confiabilidade busca fazer? Ela busca encontrar,

[100] No texto "Uma prática de vivência das palavras", o tema engenharia de confiabilidade foi abordado.

com base em estatística, quais são os pontos fracos e trabalhar neles. Onde eu tenho maior probabilidade de ter uma falha? “Ah, é nesse ponto aqui”. Então, eu vou evitar essa falha procurando uma forma alternativa de projeto ou uma redundância ou um procedimento de manutenção periódico que vá lá verificar aquele ponto crítico.

Todo trabalho da engenharia de confiabilidade é baseado em estatística e, para isso, precisa de dados de manutenção, precisa ter um banco de dados significativos que lhe permita olhar para cada subsistema, encontrar onde ocorre mais falha e que tipo de falha ocorre mais, para você poder fazer esse trabalho de priorização. O que se faz hoje em termos de engenharia de confiabilidade na Petrobras? Embora a gente não tenha banco de dados confiável por histórico de manutenção preciso, porque essas classificações no passado não eram feitas, a gente usa dados estatísticos de outras instalações que não são as nossas, mas com as mesmas características, para a gente estimar o que pode acontecer dentro da nossa instalação. Se numa outra refinaria lá nos Estados Unidos acontece dessa forma, aqui não deve ser muito diferente. É claro que tem diferenças climáticas que interferem nas falhas e tem diferenças de procedimentos de manutenção que podem impactar na ocorrência das falhas, mas é a informação que a gente tem hoje.

Eu falei da análise de eventos e de problemas crônicos. A outra atividade com que a gente se envolve bastante é o que a gente chama de “tratamento de obsolescência”. A nossa refinaria é uma refinaria antiga, a REDUC tem mais de 50 anos. Então, você tem um equipamento que foi instalado há 30 anos, há 40 anos e a gente não tem mais peça de reposição, ou, às vezes, a gente tem dificuldades de suporte do próprio fabricante. Às vezes, o fabricante não existe mais, a empresa foi comprada por outra, tem poucas pessoas no mercado que conhecem aquele equipamento para fornecer suporte para a gente. O que temos que fazer? A gente tem que avaliar quais são os equipamentos que estão nessas condições e fazer um planejamento de substituição, ou seja, buscar uma solução que envolve o tipo de equipamento que eu posso colocar no lugar, se eu posso trocar o equipamento todo ou só uma parte, pois, às vezes, é só um componente que está obsoleto. Por exemplo, eu posso trocar só a fonte e o restante do equipamento pode continuar operando. Então, esse é um tipo de trabalho que a gente se envolve muito. Nesse tipo de trabalho, deixa eu pensar se tem alguma matemática envolvida nessa análise. Vai ter na verdade... Orçamentação. Dá quase vergonha de chamar orçamentação de matemática, porque é somar e multiplicar, mas... eu diria que é isso. Então, essas são as principais atividades do nosso dia a dia da manutenção.

Antes de vir para a REDUC, eu fiz o curso de formação da Petrobras, o curso foi bem legal. Eu diria que o curso de formação da Petrobras tem um nível de pós-graduação. No

curso a gente não vê só aspectos de aplicação prática, vê muitos aspectos teóricos. Tem um pouco mais de matemática porque a gente vê controle. Você deve ter conversado muito com o Mário, que é um dos papas de controle da Petrobras. A gente vê bastante teoria de controle e vendo teoria de controle vai usar transformadas: transformada de Laplace, transformadas Z e companhia. Mas a gente acaba não usando isso no nosso dia a dia, é uma coisa mais... É essencial para o nosso trabalho que a gente entenda os conceitos, mas no dia a dia a gente não vai fazer as contas, entendeu? Acaba sendo dessa maneira que a coisa acontece, alguns conceitos que a gente vai ver no curso de formação são conceitos que a gente viu na faculdade e vai dar uma relembrada. Na grande maioria dos casos, o que a gente vai ver ali? Uma aplicação objetiva do que a gente viu de uma forma genérica na faculdade.

A gente viu na faculdade o conceito, você faz um controle, projeta um controle dessa forma, aplica dessa maneira. Aí a gente vai chegar aqui e vão te dizer "agora você tem uma torre de destilação, você tem que controlar o nível, você tem que controlar a vazão, você tem que controlar a temperatura que tem lá". Então vai aplicar um sistema real que existe na indústria de petróleo.

O curso de formação faz um imenso vínculo com a teoria que a gente viu na faculdade e a prática que a gente tem dentro de uma refinaria ou em uma plataforma, porque o curso de formação é geral, ele trata de todas as instalações, a parte de transporte, exploração, refino, trata tudo. Então, o curso, basicamente, faz esse vínculo. Ele tem um lado mais teórico e aí a matemática aparece um pouquinho mais e tem um lado mais prático, que é o conhecimento da aplicação específica, em que a matemática aparece um pouco menos. O curso é um meio termo.

No meu curso de formação não teve vivencial; não tive essa oportunidade que eu acho até interessante. Meu curso foi a primeira turma que eles organizaram depois daquele longo período sem concurso. As turmas seguintes passaram a ter esse período vivencial.

Eu diria que o curso é bem aplicado. As pessoas que dão aula são pessoas... São funcionários da empresa, que têm experiência de aplicação de todos aqueles conceitos em situações reais. O curso leva para a gente muitas situações reais. O que a gente percebe, e isso é uma coisa que eu já conversei com muitos engenheiros e a maioria tem essa mesma opinião, é que para a gente era ideal refazer o curso alguns anos depois, porque a gente está chegando na empresa: eu nunca vi uma torre, eu nunca vi um trocador de calor, nunca vi um compressor, eu não sei o que é isso. O instrutor, lá no curso de formação, ele lhe mostra foto, lhe explica como os sistemas funcionam, lhe apresenta uma série de conceitos, mas a sua capacidade de absorver um conceito ela acaba sendo tão maior quanto o seu conhecimento prévio, isso é um

fato. O que a gente consegue absorver no curso não é 100%; a gente absorve uma parte da informação. Se eu voltasse hoje lá e fizesse o curso de formação de novo, eu veria um monte de coisa que eu já sei, mas eu também teria a oportunidade de absorver alguns conceitos adicionais dessas pessoas que têm muita experiência e que, na época do meu curso, eu não conseguia absorver. Eu acho que é uma coisa meio inevitável, mas é bem interessante, porque realmente as pessoas, de uma maneira geral, que dão aula no curso de formação, são muito experientes e têm muito conhecimento para transmitir, o que é uma oportunidade riquíssima para a gente aprender.

Sobre a matemática na minha graduação. Eu acho que a matemática foi essencial para a profissional que eu sou hoje. É uma opinião pessoal. Tem gente que não acha, tem gente que acha que não precisava ter Cálculo I, II, III e IV e que Álgebra Linear é muito chata, ou não! Eu sou suspeita, porque eu adoro matemática, tanto é que cheguei, em algum momento da graduação, a pensar em fazer matemática. Então, é claro que o meu interesse pelo assunto é maior que o de quem não gosta.

Independentemente do meu gosto pessoal, eu acho que aquilo contribuiu para a minha formação. Eu não acho que eu teria a capacidade que eu tenho hoje, como engenheira, de projetar, de analisar, de compreender os problemas, de propor soluções, se eu não tivesse passado por aquela etapa de formação básica. Eu sou muito adepta da educação clássica. Não estou dizendo que nada possa ser melhorado, mas acho que Cálculo I, II, III e IV, Álgebra linear e Física, tem que ter para o resto da vida. É uma formação básica, você não pode querer pular esse degrau e ir para um degrau lá em cima. Um exemplo disso é quando se entra na área de informática.

A nossa área aqui é muito próxima da área de informática e eu vejo que tem muito programador que não tem uma formação básica consistente. Ele consegue fazer tudo funcionar, ele é bom. Se você quer fazer um programa para fazer isso, ele faz um programa para fazer isso, mas se você pegar o programa dele para olhar, o programa não é otimizado: é confuso, gasta mais recurso que necessário. Então eu sou uma daquelas pessoas que defende, vou defender a vida toda que é essencial que essas disciplinas estejam lá.

Eu sei que muitas coisas que eu estudei na faculdade eu nunca usei e nem nunca vou usar, mas eu acho que ter estudado aquilo me deu a capacidade que eu tenho hoje, como a de análise, para aplicar aos problemas práticos que eu tenho que analisar, entender e discutir. Eu vou tentar te dar um exemplo, tá? [risos]. Por exemplo, quando você está avaliando a solução de um problema ou está tentando entender o problema em si, o que você precisa para fazer isso é uma capacidade de pegar aquele problema e de alguma forma desmembrar ele em partes,

entender cada parte isoladamente, entender como as partes se juntam. Eu acho que essa capacidade de você entender um problema, dividir ele, entender as interações, é adquirida através do estudo da Física e da Matemática. No problema do forno eu fiz isso. Eu tive que primeiro olhar o que aconteceu e quais as evidências que eu tinha "ah, a pressão subiu, a válvula abriu, etc., etc.". A partir disso, extrapolar: "o que pode causar essa abertura da válvula?". Eu tive que estudar as configurações do equipamento, olhar a lógica para ver o que gera essa saída não-lógica: "são essas entradas aqui?". Com isso, eu pude listar uma série de possíveis causas e analisar cada causa mediante as evidências que eu tenho e ver "essa causa aconteceu?". "Não". Então a culpa não é dela. "Essa causa aconteceu?". "Não". Então elimino mais essa. E por aí vai.

Agora, digamos que eu estou fazendo um projeto de um sistema novo. Eu não tenho um histórico passado. Eu sei o que eu quero que o sistema faça: é uma coisa meio de modelagem, conseguir transformar aquilo que você está vendo, ou o que você quer que aconteça, num equipamento, numa lógica. Eu acho que essa capacidade de abstração, essa capacidade de vincular os projetos no papel com os equipamentos no campo, eu acho que isso é uma coisa meio... É sutil isso que eu estou falando, mas eu sou uma das pessoas que defende que essa capacidade vem dos problemas que a gente resolveu de Física e de Matemática durante a faculdade. Não é só Física e Matemática, claro! Eu tive Circuitos, eu fiz um monte de problema de circuitos. Eu fiz Controle, fiz um monte de problemas de controle.

Meu pai também era engenheiro e ele costumava dizer que o engenheiro foi capacitado para resolver problema, ponto. Ele dizia que essa era a melhor definição de engenheiro e eu concordo com ele. A função de um engenheiro é resolver um problema. A função do matemático e do físico também pode ser, dependendo do campo de pesquisa em que ele atua, mas o engenheiro só tem essa função. O problema pode ser garantir que o equipamento opere indefinidamente, sem nenhuma falha. Aí ele está entrando na engenharia de confiabilidade, descobrir quais são os pontos frágeis desse sistema para garantir que eles não vão estar disponíveis simultaneamente. O problema pode ser garantir que uma falha que aconteceu uma vez deixe de ocorrer, aquela análise que eu falei de falhas, e assim resolver um problema crônico. Tudo isso são problemas e eu acho que o que ensina uma capacidade de abstração e treina a gente melhor é a matemática.

Meu pai também costumava dizer que o engenheiro não tem só que dar uma solução, ele tem que dar uma solução com custo adequado e prazo adequado. A frase mestra da engenharia, comparada com as ciências puras, é que o ótimo é inimigo do bom. Essa é uma grande lição que todo engenheiro um dia tem que aprender, porque a gente tem que resolver

um problema, mas não adianta a gente resolver esse problema em 10 anos, com um custo de um bilhão de reais. Aqui na Manutenção isso é muito forte: eu tenho que resolver um problema de hoje para amanhã ou de agora para daqui a pouco, não pode esperar, porque você tem um processo que pode estar parado. Se a REDUC parar, falta gasolina no Rio de Janeiro e isso não é sem consequências nem para a empresa e nem para a sociedade.

A gente tem um papel social também. Se faltar diesel ou gás no Rio de Janeiro, quanta gente vai ser prejudicada? Quanto problema isso vai gerar? É claro que não é assim. Se não tem na REDUC, a Petrobras vai trazer gasolina de São Paulo para atender Espírito Santo e Rio, que são atendidos pela REDUC, mas e o custo disso? Isso não é uma coisa teórica, tem que ser uma coisa pé no chão, com custo e prazo razoável, e adequado à realidade daquele problema. Tem problemas que a gente tem mais tempo para resolver, como é o caso de um equipamento que está obsoleto. Eu preciso substituir ele, mas eu não preciso substituir hoje porque posso ter um aqui sobressalente guardadinho na gaveta e que se alguma coisa falhar eu vou lá e troco. No entanto, eu sei que só tenho aquilo que está na minha gaveta, então se eu usar aquilo eu fico sem nada. Eu tenho um ano para planejar, para pedir uma verba para ser alocada especificamente para aquela finalidade e poder substituir aquele equipamento como um todo. Eu tenho um prazo, mas se a unidade parou inesperadamente, ali, agora, ela tem que voltar agora e eu tenho que ir lá e dar um jeito de colocar ela para funcionar.

Se tem alguma matemática que eu aprendi no meu ambiente de trabalho?

Isso é uma boa pergunta! Eu tenho que pensar... Acho que não.

O que eu aprendi aqui? Aqui eu aprendi um mundo de coisas, mas não matemática [risos]!

Na verdade, eu entendo que a universidade no Brasil é muito distante da indústria. Se você comparar com as universidades nos Estados Unidos, é uma diferença absurda. Estou falando especificamente do curso de engenharia e das áreas técnicas. Nos Estados Unidos você tem muito convênio das universidades com as indústrias; você tem muito desenvolvimento colaborativo entre a universidade e a indústria. A indústria investe muito dentro da Universidade, em projetos de pesquisa, e a universidade acaba se envolvendo muito com a indústria para atender essa demanda. No Brasil isso não acontece, a gente tem até poucos professores que tenham algum conhecimento da indústria. Então, o mundo acaba sendo muito separado e é por isso que a Petrobras precisa fazer um curso de formação. Se a Universidade estivesse mais próxima da indústria, o curso de formação seria dispensável. Não tem nada que a gente ouve no curso de formação que a gente não poderia ter ouvido na universidade. Só que a gente tem duas circunstâncias: uma que a universidade é muito distante da indústria no Brasil

e a outra é questão de foco. Precisa fazer uma faculdade. Eu fiz eletrônica, mas eu não fiz eletrônica para a indústria de petróleo. É claro que se eu tivesse visto qualquer coisa relacionada à indústria de petróleo na faculdade, eu veria ao mesmo tempo petróleo, siderurgia, papel, as várias indústrias, mas não seria focado. Digamos que a universidade fosse mais próxima da indústria: talvez o curso de formação até existisse, mas seria mais resumidinho.

Eu acho que tem, também, uma coisa interessante. Não sei se algum dia a universidade vai conseguir tratar melhor isso, mas quando você está na indústria, o seu conhecimento tem que ser muito mais funcional. Eu fiz eletrônica. No entanto, para eu trabalhar aqui, eu tenho que conhecer um pouco de mecânica, um pouco de química e um pouco de elétrica. Por exemplo, eu preciso ser capaz de entender que se eu vou instalar um transmissor de pressão: qual o fluido que está ali? Ele vai endurecer na tomada se ela não estiver aquecida, como é o caso da parafina, que à temperatura ambiente endurece. Então, se aquela medição, se aquele ponto de contato do fluido com o medidor não tiver um aquecimento, ele endurece, entope e você perde a medição. Instalar um medidor de pressão não é igual se eu for medir a pressão da parafina, do óleo combustível, da gasolina ou do GLP, porque os produtos têm características diferentes e eu tenho que tratá-los de maneira diferente. Isso tudo impacta a medição, então eu não posso não ter conhecimento nenhum do processo e falar "tanto faz" para o que tem aqui. Apesar da nossa formação ser em eletrônica, a gente trabalha com todos os equipamentos de controle, inclusive válvulas, que são equipamentos mecânicos, mas que chega um sinal elétrico nela, que a comanda. Existe uma integração muito grande e esse conhecimento multidisciplinar dificilmente você vê na universidade. A universidade é realmente muito focada naquilo que você está estudando. Hoje em dia existem cursos, eu não conheço bem, de controle e automação, que se propõem a ser mais multidisciplinares.

Se eu tivesse que escolher fazer um curso, faria Engenharia Química e complementaria com a formação que eu tenho; melhor do que fazer uma pós-graduação na área de Eletrônica. O que mais falta na minha formação é essa parte de química, de processo químico. Eu tenho sólidos conhecimentos de teoria de controle, mas os processos a serem controlados a gente não estuda e isso faz um pouco de falta.

Eu podia lhe dar uma dúzia de repostas para essa sua pergunta do que é inequívoco na minha profissão. Vou lhe dar a primeira que me ocorreu.

Acho que a expressão mais inequívoca que a gente tem, como premissa de trabalho, é que tudo falha, seja você fazendo manutenção, fazendo um projeto, concebendo um sistema, focado na segurança das pessoas, focado na segurança do meio ambiente, focado no próprio processo, na continuidade operacional. Você sempre tem que ter a premissa de que tudo algum

dia vai falhar e então tratar essas falhas, evitar que elas aconteçam. Minimizar os efeitos dela é uma das nossas principais funções. A primeira frase que me ocorreu é essa: tudo falha [risos] e já que tudo falha eu tenho que garantir que quando isso acontecer, e isso vai acontecer um dia, que não aconteça uma catástrofe, não aconteça nenhum acidente, que a situação não saia de controle, que o operador que ficou sem aquela informação consiga fazer algo, que eu consiga reparar essa falha rápido. Isso não é só porque eu estou na Manutenção.

Quando eu estava em Projetos também existia esse foco, mas é óbvio que a manutenção pensa em falha: nosso trabalho é consertar. Vou lhe dar um exemplo radical, fácil de ver, a gente já viu alguns casos em que isso aconteceu, não só na REDUC, mas em vários lugares: o cara construiu uma unidade de processo, instalou compressores imensos – um compressor industrial é maior que essa baia aqui e você precisa de um guindaste para retirar ele – e não tem como retirar o equipamento de lá para fazer manutenção. Não dá, não tem espaço. No telhado tem uma viga ou sei lá o que. Isso é o que a gente chama de uma falha grave de projeto, que é você não prever o que a gente chama de manutenabilidade, recursos ou condições que lhe permitam fazer a manutenção daquele equipamento. Todo projeto de algo novo tem que considerar que em algum momento aquilo vai falhar e se aquilo vai falhar eu vou ter que trocar, eu vou ter que tirar dali e levar para consertar fora do campo, seja na oficina ou fora da refinaria. Então eu tenho que prever que eu tenha espaço para tirar, que eu tenha como desligar, enfim uma série de funcionalidades necessárias para fazer a manutenção do equipamento. Essa questão da falha é abrangente.

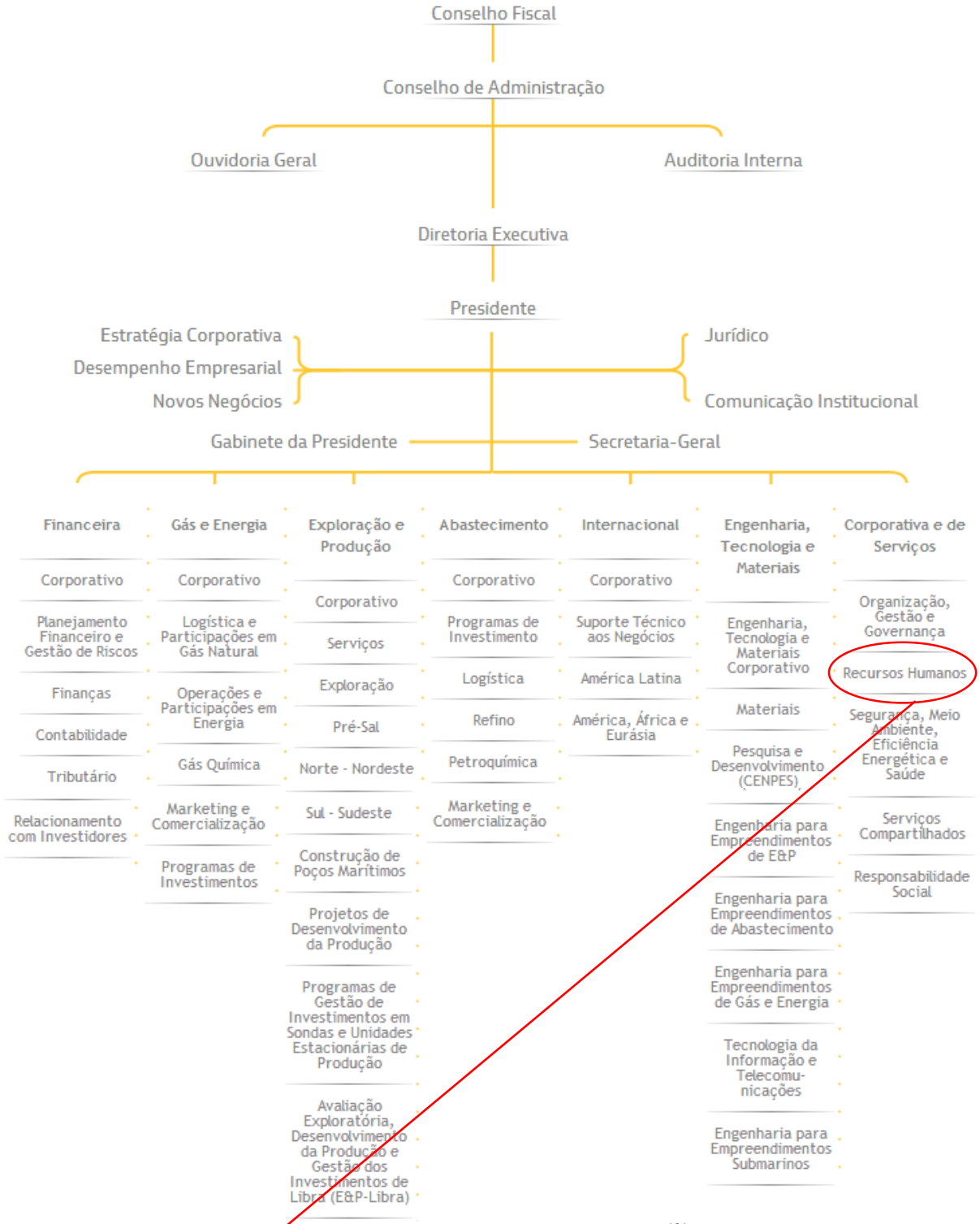


Figura 7. Adaptação do Organograma da Petrobras[101]

Uma outra Universidade... O Curso de Formação em Automação Industrial da Universidade Petrobras

[101] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/organograma/ Acesso em: 16 de setembro de 2015.

A primeira porta que se abriu, na Petrobras, para mim, foi a Universidade Petrobras, em especial o Curso de Formação em Automação Industrial (CFAI[102] ou, simplesmente, Curso de Formação), para eu poder conhecer melhor as atuações de um engenheiro de equipamentos (eletrônica), como é realizada a formação inicial dele na empresa e o modo como a matemática foi abordada nesse curso. É esse Curso de Formação que passarei a descrever.

A matemática participa em cursos de graduação em Engenharia e, também, em cursos fornecidos por empresas que têm investido na formação de seus profissionais, tanto no ingresso quanto na formação continuada deles. Um caminho utilizado por essas empresas tem sido a implementação de Universidades Corporativas.

O termo Universidade Corporativa é atribuído a Jeanne Meistre como sendo uma estratégia empresarial de desenvolvimento e educação de funcionários e pessoas envolvidas com a empresa, tais como: distribuidores, fornecedores, etc. As forças que sustentaram o aparecimento das universidades corporativas são: organizações flexíveis, era do conhecimento, rápida obsolescência do conhecimento, empregabilidade e educação para estratégia global[103]. Para Otranto,

> A universidade corporativa é, então, um espaço educacional dentro de uma empresa e por ela gerenciado, com o objetivo de institucionalizar uma cultura de aprendizagem contínua, que vise proporcionar a aquisição de novas competências vinculadas às estratégias empresariais, com o propósito de assegurar vantagens competitivas permanentes às empresas.[104]

A primeira universidade corporativa criada foi em 1955, nos Estados Unidos, chamada Cotronville e ligada à empresa General Electric. No Brasil, a Accor foi a primeira empresa a ter uma universidade corporativa (Académie Accor), criada em 1992, em Campinas[105].

Desde a sua fundação, a Petrobras se pautou pela consolidação de programas de educação e desenvolvimento profissional, dado que há uma carência ainda atual de formação de pessoas para lidarem com a realidade da empresa.

---

[102] Lembrando que essa sigla foi criada por mim para trazer agilidade na menção ao Curso de Formação em Automação Industrial, ela não existe na UP.
[103] EBOLI et al., 2005.
[104] OTRANTO, 2007, p. 4.
[105] Ibid.

Em Brandão, Borges e Rodriguez[106] é possível ver a evolução da área de treinamento e desenvolvimento de pessoas na Petrobras, assim como a passagem de um modelo de treinamento relacionado ao desempenho dos empregados a outro modelo com ênfase em resultados, sem perder de vista a manutenção do desempenho. Isso significa que, em 2000, a Petrobras passou por um processo de reestruturação e decidiu criar a Universidade Corporativa, chamada Universidade Petrobras (UP), pertencente à área de Recursos Humanos da empresa, caracterizando-se como um espaço educacional de formação e de educação continuada plenamente inserido na estratégia de negócios da Petrobras, como apontam Oliva, Roman e Mazzali[107], com o objetivo de conquistar níveis de excelência em seus setores, além de incorporar as questões ambientais.

Para o cargo de engenheiro de equipamentos (eletrônica), que também pode ser chamado de engenheiro eletrônico ou de engenheiro de automação, na Petrobras, há a necessidade de aprovação em concurso público, do qual participam os engenheiros que se enquadram no Artigo 9 da Resolução n.218 de junho de 1973 do CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia), que são os engenheiros eletrônicos ou engenheiros eletricistas (modalidade eletrônica) ou engenheiros de comunicação.

Esse engenheiro de automação pode atuar em diversas áreas de negócio da Petrobras. Filipe Leandro de Figueiredo Barbosa[108], engenheiro eletrônico, que esteve à frente da coordenação (orientação didática) de oito versões do Curso de Formação em Automação Industrial (CFAI) explica que se o engenheiro de equipamentos (eletrônica) estiver na área de Refino,

> O engenheiro de automação [...] pode trabalhar na área de empreendimentos (de projetos da refinaria), [...] de manutenção[109] – que é a área que vai dar mais suporte para problemas que possam acontecer na unidade –, [...] de engenharia em si – que são projetos também, mas de menor porte da unidade –, e [...] na área de otimização. São basicamente essas quatro áreas. [Na] otimização ele vai mexer mais com controle de processos, ele trabalha junto com o engenheiro que a gente chama de Engenheiro de Processamento de Petróleo que vem da formação de Engenharia Química, [...] porque o pessoal de controle de processos tem que ter muita noção do detalhe de como funcionam os processos para poder saber controlar [...]. (Filipe)

[106] BRANDÃO, BORGES e RODRIGUEZ, 2001.
[107] OLIVA, ROMAN e MAZZALI, 2010, p. 81.
[108] Filipe Leandro de Figueiredo Barbosa foi entrevistado no dia 03 de fevereiro de 2014. Como não há outro entrevistado com o mesmo nome, passarei a colocar somente Filipe nas citações.
[109] Nessa tese, um pouco sobre as práticas de manutenção foi visto no texto “Práticas de manutenção: lógica, orçamentação”.

Esse entrevistado continua falando sobre as possíveis atuações de engenheiros de equipamentos (eletrônica):

> Na área de Exploração e Produção, o engenheiro de automação pode trabalhar em duas bases. Na base submarina, que a gente chamaria de engenharia submarina – [...] não tem esse cargo hoje na companhia de engenheiro submarino, então eles estão pegando vários cargos que podem atuar nessa área de conhecimento da engenharia submarina e um deles é o engenheiro de automação, então é uma área nova que vem crescendo [...]. A outra [...] [base] que o engenheiro pode trabalhar [...] é o que a gente chama de engenheiro de instalação de superfície. Porque tem dois tipos de trabalho da automação na Exploração e Produção: um que é o debaixo da água e o outro em cima da água, [...]. Além dessas duas áreas, [...] tem o CENPES[110], que é área de pesquisa e projeto básico da companhia e a área, que a gente chama de [...] Engenharia da companhia, que é uma área de projetos, você iniciar os projetos da companhia. A Engenharia e o CENPES trabalham em conjunto. Tem projetos que são tocados todos pela Engenharia e tem projetos que são tocados pela Engenharia junto com o CENPES. (Filipe)

Nessas áreas de negócio da Petrobras em que o engenheiro eletrônico pode trabalhar, suas atividades podem ser divididas em três linhas: controle de processos; instrumentação industrial e; redes industriais e sistemas de automação. Para tentar entender melhor essas três linhas de atividades, Filipe desenha a seguinte pirâmide de controle de processos e explica:

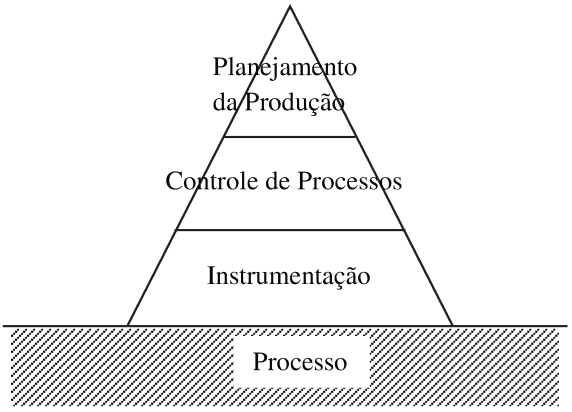


Figura 8. Desenho de uma pirâmide de processo

> Aqui embaixo está a instrumentação, aqui controle. Para simplificar, aqui vem o que a gente [...] pode chamar de planejamento da produção, [...] que é uma etapa muito mais gerencial e logística, é você dizer o seguinte "olha, agora a gente precisa produzir mais gasolina e menos diesel", "agora a gente vai adequar o nosso parque de refino porque nós estamos recebendo um petróleo mais pesado", [...], então [...] são ações de um nível mais gerencial, dentro da hierarquia de controle. Os engenheiros, técnicos, trabalham mais [...] nesses dois níveis aqui [instrumentação e controle de processos], [...].

[110] Um pouco sobre as atividades exercidas no CENPES foi visto no texto "Uma prática de vivência das palavras" e nos trechos mencionados da entrevista com o engenheiro Marcelo.

> Existem softwares para automatizar esse nível aqui de cima [topo da pirâmide], [...], só que ainda não são tão aplicados hoje quanto nessas duas outras camadas aqui, de controle de processos e instrumentação industrial. [...]. E, dentro desse contexto, você tem as redes industriais: qual o papel da rede aqui? É fazer as variáveis medidas chegarem no controlador de processos, é basicamente isso, [...]. Porque aqui está a instrumentação, embaixo da instrumentação, está o processo, então você instrumentaliza o processo, para lhe dar as variáveis, e você envia as variáveis para o controlador. Então, nessa etapa de enviar as variáveis para o controlador, aí você entra com as redes industriais. [...]. Aqui você já pegou todas as três etapas: você pegou etapa de instrumentação, você pegou a etapa de redes – que vai enviar todas essas variáveis para o controle – e depois você tem a volta que é do controle para o processo, também através das redes industriais. (Filipe)

Resumindo,

> [...] a gente viabiliza que os nossos produtos tenham as especificações que eles precisam ter. O controle existe para que o produto fique dentro da especificação e seja gerado. Então, você precisa medir para quê? Porque quer controlar, se não precisasse controlar não precisava medir. Você tem técnicas para melhorar a medição – instrumentação de processo –, você tem técnicas para melhorar o controle – controle de processos – e você tem técnicas para fazer a instrumentação chegar no controle, que é a rede. (Filipe)

Para que um engenheiro eletrônico recentemente contratado pela Petrobras atue em alguma dessas áreas apontadas por Filipe, é necessário, inicialmente, que ele participe do CFAI da UP[111].

O CFAI funciona como uma espécie de ponte, de acordo com Filipe, entre a academia – que são as universidades – e a indústria, pois o cargo de engenheiro de equipamentos (eletrônica) possui engenheiros com formações em diferentes modalidades de engenharia, gerando a necessidade de um nivelamento para esses engenheiros começarem a trabalhar. Há, por exemplo, disciplinas que são inteiramente novas para eles como, por exemplo, bombas, compressores, processo de refino e realidade do petróleo. O curso

> é um pouco mais voltado para conhecimentos práticos, porque a gente entende que a teoria básica mais fundamental da Engenharia Eletrônica, o pessoal já vem com ela. O que a gente faz aqui é colocar uma camada por

[111] No edital de processo seletivo público para o preenchimento de vagas e formação de cadastro em cargos de nível superior e médio da Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.), Edital nº1 da Petrobras/PSP-RH-1/2012, de 21 de março de 2012, há uma seção específica para a formação do empregado no qual consta que, após realizada a admissão ou a readmissão no cargo objeto do Processo Seletivo Público, o servidor tem, obrigatoriamente, que participar do Programa de Formação de Empregado, conforme normas internas. Disponível em: http://www.cesgranrio.org.br/pdf/petrobras0112/petrobras0112_edital.pdf. Acesso em: 16 de abril de 2015.

> cima que é mostrar como funcionam os processos, é falar das máquinas que eles não conheceram e aí falar das técnicas de medição e de controle, que eles não conheceram na faculdade, especificamente para a área industrial e aplicável ao petróleo. (Filipe)

Em sua atual versão[112], o CFAI possui nove meses de duração e é estruturado da seguinte forma: dois períodos técnicos e um período vivencial. O período técnico é dividido em dois, podendo ter três meses e meio, aproximadamente, de duração cada um, com possibilidade dessa distribuição ser variável, como, por exemplo, quatro meses para o primeiro período técnico e três meses para o segundo período. Durante o período técnico há disciplinas, com cerca de uma semana de duração, que são ministradas, em sua maioria, por profissionais da Petrobras, com grande experiência na empresa.

> Em termos de conhecimento, a gente vai ensinar para os alunos a parte de processos, aí você tem: os processos de refino, exploração e produção de óleo, você tem as máquinas, instrumentação. Como no curso de automação industrial você precisa primeiro conhecer o processo e depois saber como atuar nele, a gente poderia dividir o curso em duas etapas: a primeira etapa é você aprender como os processos funcionam e a segunda etapa é aprender como atuar nos processos que funcionam. Então como os processos funcionam? Vai falar de processo de refino, todas as etapas do refino, fala de exploração, fala de produção, todas as etapas. E depois a gente fala o que funciona nesses processos que cabem a nós como engenheiros de equipamentos. Aí a gente fala de máquinas, de instrumentação, de como atuar nas máquinas, de como atuar na instrumentação, de como controlar os processos e, como pano de fundo disso tudo, a segurança das instalações industriais. (Filipe)

No final de cada disciplina há avaliações. Os alunos são avaliados e eles avaliam a disciplina, o professor, e fazem comentários através de uma ferramenta de avaliação de reação. É recomendado que no final do CFAI os alunos façam um relatório sobre o curso para dar subsídios para o próximo.

O regimento do curso diz que em um intervalo de zero a dez pontos, o aluno tem que ter desempenho maior que 5 (cinco) na média e pontualmente em cada avaliação, não podendo ter menos de 3 (três) pontos, pois caso isso ocorra, é montada uma comissão para desligamento do aluno do curso e, consequentemente, da empresa. Nessa versão atual do curso, a notas dos 36 alunos variaram de 9,7 a 8,4, na média das avaliações, e Filipe afirma que desde que está na UP, desde 2004, nunca presenciou nenhum desligamento no CFAI por não atendimento de resultados

[112] Versão que iniciou em 2013 e finalizou no início de 2014.

(notas dos alunos). Esse regimento também estipula quantidade mínima de frequência, não podendo haver faltas injustificadas.

Não foi possível ter acesso à grade de disciplinas do curso por questões de confidencialidade da Petrobras, mas Carlos Vinícius Caldas Campos[113], Orientador Didático da última versão e membro do Comitê Técnico Educacional – que avalia, dentre outras coisas, a adequação dos programas do curso à realidade Petrobras –, me forneceu uma visão sobre a estrutura do curso.

> O detalhe geral dessa grade é essa estrutura que eu te falei, de começar dando uma visão geral, passando pelas áreas de negócio da companhia, mostrando [...] os tipos de atividade, exploração e produção, abastecimento, gás e energia, até a Transpetro – que é uma empresa do sistema Petrobras. Então tem essa visão do todo. Inclusive a Transpetro às vezes faz esse curso também. Depois nós temos as disciplinas que permeiam áreas correlatas da engenharia, como as de engenharia de processamento – que no caso é uma parte mais relacionada a processos, de como se processa o petróleo, como tirar os produtos, como é construído o parque industrial para poder tirar esses produtos –, de engenharia mecânica – que fica com outra parte de bombeamento, equipamentos deles, tubulações – e aí as disciplinas do engenheiro eletrônico, [...]. Somos da automação industrial, então é algo que cuida bastante do controle e da instrumentação. (Carlos)

Carlos enfatiza que essa estrutura, de passar por áreas correlatas da Engenharia Eletrônica, é importante porque

> a pessoa, apesar de trabalhar na eletrônica ela tem que ter uma visão do todo, de todas as atividades, até porque ela tem que fazer a interface com elas no dia a dia do trabalho, trabalhar bem em conjunto e entender a linguagem do outro, para ter uma linguagem comum. (Carlos)

O Entrevistado X[114], que não quis se identificar, realizou o curso de formação e contou um pouco de sua experiência:

> Teve coisas de áreas diferentes para termos uma visão mais geral da empresa, e também de áreas que têm interface com a nossa. Primeiro, aprendemos sobre processo, tanto sobre refino quanto sobre produção e exploração. Eu atuo na produção e nunca tinha visto na vida sobre produção e exploração. Foi bem interessante, não sabia o tamanho da dificuldade de colocar uma plataforma no mar, fazer um poço, tirar óleo lá de... 3km de água mais 5 de pedra para quem sabe sair petróleo. [...]. Tive aula de geofísica e de geologia, áreas que estudam [...] a probabilidade de ter petróleo, estudos

[113] Carlos Vinícius Caldas Campos foi entrevistado no dia 30 de janeiro de 2014. Refiro-me a este entrevistado como Carlos. Como há outro entrevistado com o nome Carlos, que é o Professor Carlos Roberto Vianna, me referirei a ele como Vianna.

[114] Dois entrevistados não quiseram se identificar. Dessa forma, me referirei a ambos como Entrevistado X.

> sísmicos, estudo de formação de rocha que costuma ter petróleo, rocha que produz petróleo, rocha que impede o petróleo de sair para o mar e se perder. Aula sobre processo de refino, sobre mecânica, sobre tubulação, sobre máquinas: compressores, bombas, sobre os próprios metais, um pouquinho de metalurgia, por causa de material das tubulações, de válvula, até de parafusos mesmo, instrumentos. Mas é mais para ter uma noção, não vamos especificar exatamente o tipo de metal que tem que ter lá, saber algo que pode gerar fratura frágil, trincar, corrosão. Mas o mais interessante para nós foram as máquinas, bombas e compressores, porque fazemos o controle disso. (Entrevistado X)

No período vivencial, que tem mais ou menos dois meses de duração, os alunos vão para diversas áreas de negócio da Petrobras. É neste período que os alunos, sob a responsabilidade de um tutor, "põem a mão na massa", vivenciam o que foi falado durante o período técnico.

> A gente sempre busca que eles vão para uma área mais operacional para pegar o dia a dia, para tentar experimentar o que foi falado aqui, porque aqui é mais a parte, que a gente poderia dizer assim, expositiva de conteúdo do curso, que é feita em vídeos, pela fala do profissional, slides, conteúdos, demonstrações em sala de aula. Durante o vivencial não, [...] é prática, ele vai para o campo, ele vai fazer uma sintonia de malha na prática, na indústria, na planta industrial. Então, ele vivencia. É por isso que a gente chama de vivencial, ele vivencia na prática aquilo que ele ouviu falar aqui, quando estava aqui, na sala de aula. (Filipe)

Exemplificando, Felipe Figueiredo Cardoso[115], ingressante na Petrobras e participante da última versão do CFAI diz que deve ter cursado em torno de 24 matérias (disciplinas),

> Fiquei aqui de maio até setembro no curso de formação. Em final de setembro, todo outubro e três semanas de novembro, fiz o vivencial [...], e depois do final de novembro até agora [30/01/2014] estou no curso de formação, que termina semana que vem. (Felipe)

Felipe ficou 8 (oito) semanas na Refinaria Gabriel Passos, em Betim/MG, e o seu tutor o colocou para ajudar em uma obra de construção de uma nova unidade de HDS (Hidrodessulfurização) – para tratamento de diminuição de enxofre do Diesel –, na parte de empreendimentos, sendo uma de suas atividades a fiscalização de instrumentos (vendo, por exemplo, se os instrumentos estavam funcionando).

Após voltarem do período vivencial, cada aluno faz uma apresentação do que vivenciou para os demais alunos. Esse momento de apresentações é importante,

[115] Felipe Figueiredo Cardoso foi entrevistado no dia 30 de janeiro de 2014. Refiro-me a ele como Felipe, por não haver outro entrevistado com esse nome.

porque depois delas os alunos fazem uma lista, por ordem de prioridade, de possíveis lugares em que desejam atuar na Petrobras. Como eles não vivenciaram diversas áreas de negócio, as apresentações contribuem para a confecção dessa lista e para obtenção de uma visão maior do que ocorre na empresa.

Apesar de Felipe ter feito o vivencial em uma Refinaria, acabou sendo lotado na própria UP, para trabalhar com os cursos de formação. A lotação de cada aluno é dada de acordo com os critérios definidos pela área de negócio que tem disponibilidade de vaga, podendo ser a nota do aluno durante o curso, entrevistas ou outros critérios.

Não há uma disciplina de matemática no CFAI. Essa foi a resposta obtida por mim de todas as pessoas que eu entrevistei na Petrobras, mas elas disseram que a matemática aparece no curso de modos diferentes.

Em uma entrevista com André Domingues Quelhas[116], eu perguntei para ele como a Petrobras lida com certas culturas que as pessoas trazem para dentro da empresa e que podem não ser desejáveis. Ele brincou dizendo “eu costumo falar assim, se eu encontrar essa Petrobras um dia eu pergunto para ela. Porque não existe a Petrobras, assim como não existe a matemática, [...]” (Quelhas). O entrevistado quis mostrar com essa fala que, por mais que a empresa seja única, ela é composta por pessoas envolvidas em diferentes contextos de atividades e por isso as interpretações sobre as ações desenvolvidas na Petrobras podem variar. Especificamente, sobre a matemática, o entrevistado disse que ela “[...] é uma coisa genérica demais, o que é a matemática? Ela é um conjunto de coisas, mas a matemática em si, eu não saberia te dizer o que ela é”. (Quelhas)

A questão da conceitualização ou suspeita em relação ao conceito de matemática esteve presente em diversos momentos das entrevistas. Quando eu perguntei ao Entrevistado X em que sentido ele me falou que antes da Petrobras ele usava mais matemática do que hoje, ele responde

> Uma coisa que não é exatamente matemática, é mais programação, lógica de programação. Tem tudo a ver com matemática, não é, mas tem tudo a ver com. Ou é, né? Depende. É matemática, não deixa de ser, mas o que eu quero dizer..., chegar e escrever código não é necessariamente fazer um cálculo. Nesse sentido que eu quis dizer que não é exatamente matemática,

[116] André Domingues Quelhas foi entrevistado no dia 03 de fevereiro de 2014. Quando conheci este entrevistado, as pessoas o chamaram de Quelhas e passei a chamá-lo assim também, tanto na entrevista quanto na tese.

> mas rigorosamente eu acho que é. Você deve estar pensando o que eu acho que seja matemática. (Entrevistado X)

Há uma dificuldade em conceitualizar matemática, uma dificuldade antiga[117], e que até hoje influencia não só no modo como os matemáticos produzem matemática como também no modo no qual pesquisas em áreas como a Educação Matemática veem a matemática, em particular, pesquisas relacionadas à matemática no mundo de trabalho[118]. Ainda sobre a problemática da conceitualização, e já entrando no modo como os entrevistados falam sobre o papel da matemática no CFAI, Filipe afirma que

> Eu não sei o que você entende por matemática em si. Os nossos cursos de engenharia têm um conteúdo bastante denso de matemática, de matemática aplicada, que eu chamaria, usa todas as operações, usa derivada, integral, usa tudo isso. Vou te dar exemplos de disciplinas aqui que usam diretamente integral, transformadas de Laplace, que é o curso de controle, curso de sintonia de controladores e o curso de controle avançado. São dois cursos que usam muito Laplace. Isso é dado como requisito para o curso, não é ensinado nele. O que é ensinado é: dado que eu sei isso, como que eu aplico às técnicas de controle. Utiliza isso como requisito. Então, ninguém aqui, nenhum curso ensina matemática. O curso aplica as ferramentas da matemática em um determinado assunto. É assim que a matemática é aplicada no nosso curso. [...] Ele usa direto conceitos de derivada e integral e conceito de transformada de Laplace. Quando vai fazer uma sintonia de uma malha de controle, de um controlador, ele usa isso. Isso já tem que estar enraizado nos alunos; se não tiver ele vai ter um pouco de dificuldade. [...]. Normalmente [os alunos não têm], por quê? O concurso é concorrido, os alunos, via de regra são muito bons tecnicamente, principalmente nessa área de Eletrônica. [...]. Esses alunos que fizeram o [último] curso são muito bons tecnicamente e não tiveram problemas de requisitos, de não saber alguma coisa que precisassem como base para o curso. (Filipe)

O entrevistado X, falando sobre matemática no CFAI, disse que

> Matemática pura não. Teve matemática financeira, [...], mas que eu considero uma matemática simples. O difícil não é a matemática, é a interpretação do problema e modelar ele, não a conta em si, [...]. As contas são simples. Mas disciplinas que chegaram a mencionar mais matemática, cálculo, são as disciplinas de controle: alguma coisa de teoria, a parte de válvulas. Ah, [a disciplina de] metrologia [usa] estatística; manutenção usa bastante estatística, confiabilidade. (Entrevistado X)

Já Carlos, diz que

---

[117] Isso pode ser visto em Barker (1967) ou em Julio (2007).
[118] Exemplos são as pesquisas desenvolvidas por Noss, Hoyles e Pozzi (2002), Lins (2004) e Miguel (2014).

> Não tem um Cálculo, não tem uma Física I, Física II, Física III, mas vai ter, às vezes, aplicado ao modelo dos equipamentos, a qual modelo mais comum apareceu nesses equipamentos. A pessoa vai ver qual o comportamento que tem se opta por uma válvula ser de certo tipo. Na verdade, tem muito mais utilização de gráfico do que conta em si. As pessoas vão visualizar, porque o curso de formação, eu digo que ele até acaba sendo muito mais qualitativo do que quantitativo. A gente calcula pouca coisa, mas a gente acaba estudando mais quais tipos de válvulas, de sensores, que são mais utilizados; em qual faixa de pressão, qual faixa de temperatura que eu posso usar em tal sensor; quais são as regulamentações legais que estão se seguindo em certo ponto. Então, a parte da matemática em si, no curso de formação, ela às vezes pode se resumir a poucas coisas, por ter soluções já prontas, e às vezes você está estudando só como aplicar esse conjunto de soluções prontas. Se você pegar esse bloco aqui e ligar lá naquele seu processo, ele vai funcionar? Então acaba sendo mais assim. E se ele não funcionar? O que pode estar afetando ele? Por que ele está operando fora das faixas de pressão? Que temperatura que ele deveria estar? No caso, não do engenheiro eletrônico, mas tem materiais de inspeção, se ele está operando fora, deu um defeito, o pessoal de material de inspeção vai parar para ver que "ah, ele desgastou porque estava em uma faixa que não estava especificada", ou então acontece alguma coisa e eles vão dizer "corroeu porque você colocou um material que não era compatível com aquele produto, então reagiu, teve uma reação química lá dentro com o material do seu equipamento e estragou o equipamento por causa disso". Você vê um conjunto de experiências anteriores para você não repetir os mesmos erros que já aconteceram. (Carlos)

Dessas falas, eu vejo matemática aparecendo como disciplinas (Cálculo, Estatística), como conjunto de conteúdos (derivada, integral, transformadas de Laplace) e de forma adjetivada (matemática pura, matemática financeira, matemática simples, matemática aplicada), mas a matemática também aparece em um contexto de uso, o uso das ferramentas matemáticas para modelagem de processos e sintonia de controladores. A matemática aparece não como um fim, mas como um meio para falar de coisas relacionadas à prática profissional de engenheiros.

Em um aspecto mais específico, Filipe que trabalha com as disciplinas de Instrumentação Industrial e Controle de Processos, diz que:

> Como o curso tem um cunho um pouco mais prático, a tendência é você falar com menos rigor da parte teórica, é uma tendência. Você que é matemática, você vai entender. Rigor é uma coisa mais formal, tem as definições todas, das variáveis, do por que, da notação, e tudo. A gente não entra muito nesses detalhes; a gente vai mais para o lado prático e usa a teoria focada mais na prática. É assim que a gente costuma trabalhar. Os nossos professores que vêm aqui, todos eles costumam trabalhar dessa forma. Então, é menos rigor do que na faculdade [...]. O que é um pouco o foco de várias de nossas disciplinas, você entrar mais no aspecto qualitativo. Como eu fico mais no qualitativo, eu acabo entrando na teoria, que poderia ser chamada de matemática, mas não tão a fundo quanto você entraria se você fizesse uma coisa mais, um cálculo, mais quantitativa, que aparece em algumas disciplinas aqui. Disciplina de medição de vazão entra no quantitativo, de dimensionamento das válvulas de controle e tudo, mas ainda acaba não mexendo nem com derivada e integral, fica só na linha das quatro operações

> básicas, [...] mas com conceitos por trás, de dimensionamento de válvulas e tudo, que os alunos também aprendem no curso. (Filipe)

Tentando ser ainda mais específica sobre o uso da matemática no curso, peço a Quelhas, professor da UP dos cursos de Formação de Engenheiros de Processamento e do CFAI, que me exemplifique sua prática e diga como a matemática participa delas.

> No curso de Engenharia Eletrônica, as disciplinas que eu dei não envolvem tanto a matemática, porque são descrições um pouco mais qualitativas. Só que, como eu sei que o pessoal tem um *background*, muitas vezes eu puxo a discussão para isso, porque o pessoal está muito familiarizado com os conceitos de controle de processos e, em controle de processos, a base para o cara entender tem que se passar pela matemática. Então, nesse curso específico de processos de refino, ela não é explícita. No curso, na ementa dele, não contém isso. Contém nos cursos de controle de processos, [...] para formação de engenheiros de Processamento[119], aí se baseia em resolver sistema de equações diferenciais, colocar o problema de controle lá dento, ver as questões de estabilidade, [...] matemática de forma explícita, transformadas de Laplace. (Quelhas)

Quando questionado sobre essa forma implícita, Quelhas diz:

> Você não escreve as equações, mas, às vezes, para o cara chegar em um resultado ele tem que mentalmente fazer as relações necessárias [...]. O aluno internamente já sabe os conceitos, o que é estabilizar ou instabilizar um controlador, o que é sintonia de um controlador [para manter uma planta funcionando adequadamente], e esses conceitos, que estão por trás, envolvem uma necessidade de visualização matemática. Muitas vezes a descrição é qualitativa, mas, por trás disso, como o aluno está preparado, ele sabe juntar os pedaços. (Quelhas)

Entrando no aspecto de prática de sala de aula, já foi dito que no CFAI há aulas expositivas de conteúdo do curso, uso de vídeos, falas de profissionais, uso de slides e demonstrações em sala de aula, ou seja, uso de diferentes recursos metodológicos. Uma abordagem que se apresentou interessante foi a utilizada por Quelhas:

> Tenho usado, mais ultimamente, escrito e desenvolvido alguns *softwares* para fazer o pessoal visualizar, chegar na hora lá e mostrar: vamos ligar aqui, a planta está funcionando, se a temperatura do petróleo estiver mais alta, vamos ver o que acontece? Acontece isso, isso e isso. Aí a gente tentar traçar, mas com a chance deles poderem visualizar, ou às vezes eles poderem pôr a mão na massa também. [...]. Muitas vezes a gente dá aulas em salas que os alunos têm um computador para cada um [...] e eu sempre

[119] Esse curso é para engenheiros que tem formação em Engenharia Química.

> tento usar algum tipo de apoio, de simulação, para poder fazer o cara ter mais sensibilidade, principalmente nesses cursos em que a matemática não aparece explicitamente. Nos outros, em que ela aparece de forma explícita, é essencial, eu sempre uso. (Quelhas)

Há uma série de *softwares*/programas desenvolvidos por Quelhas para exercitar conhecimentos de aspectos chave de suas disciplinas. Um exemplo é um programa que exibe o funcionamento de uma coluna de destilação de petróleo, muito próximo de uma refinaria da Petrobras, com o painel onde o operador tem liberdade de atuar (Figura 9). Nesse *software* existe um conjunto de variáveis que podem ser observadas e, dentre outras coisas, se pode tentar explicar relações de causa e efeito como: “por que é que aumentando a temperatura da carga essa pressão, no topo da coluna fica 6% maior? Por que essa variável aqui diminui?” (Quelhas). Isso contribui para falar sobre os princípios físicos e químicos que regem a destilação do petróleo e discutir as alterações que um operador executa e que gera consequências para o lucro da empresa, pois o programa inclui um lucrímetro, que é um medidor de lucro.



Figura 9. Foto do *software* que simula o funcionamento de uma coluna de destilação de petróleo[120].

Outro *software* utilizado em suas aulas é um controle interativo que se aproxima de um jogo (Figura 10)

> Muitas vezes você tem um sistema que é um controle automático. Esse sistema você coloca na planta para tentar fazer uma variável do seu processo ficar constante, “eu quero que a temperatura do reator seja tantos graus”. Então, ele tem que se esforçar para manter a temperatura naquele valor. Se ele perceber que a temperatura se desviou, ele vai em alguma válvula, mexe nessa válvula continuamente até conseguir fazer com que a temperatura volte. E aqui [nesse *software*] a gente vê alguns aspectos de como é que você

[120] A resolução da Figura 9 não está boa porque foi uma captura de imagem da filmagem da entrevista. Eu a deixei no texto para se ter uma ideia da tela do *software*.

parametriza esses controladores e, também, acaba tendo uma espécie de um jogo onde o aluno se coloca na posição do controlador. Ao invés do controlador ser automático, ele passa a ser manual, [o aluno] passa a ter acesso a essa válvula onde ele vai mexer e o processo vai recebendo perturbações que vão tentando desviar ele do ponto que deveria ficar. O aluno tem que ficar mexendo essa válvula para tentar fazer, no papel de controlador, sempre que essa setinha [que estou apontando] fique lá no zero. [...]. Primeiro, o aluno tem a percepção de como o controle funciona, e segundo, para ele ver que tem algumas leis matemáticas que ficam por traz que são intransponíveis. Ele pode achar “ah, esse controlador é mal feito”, mas se ele for o controlador, se ele se colocar no papel de ficar mexendo na mão, tentando fazer essa setinha ficar no zero, ele também não vai conseguir. [...]. Existem restrições, existem inviabilidades matemáticas que não permitem que o controle seja perfeito, ou seja, essa variável teria que ficar sempre naquele valor, mas dada a constituição do processo, o modo como ele se expressa matematicamente, não tem jeito, o processo vai ser desviado. E não tem como: no exato instante em que ele foi perturbado, por exemplo, aconteceu alguma coisa e a temperatura do reator tinha que ser 100 graus, [...] mas a temperatura dele começou a cair. Ao ver isso o sistema de controle tem que chegar lá e mexer em alguma válvula, por exemplo, uma válvula que aqueça ou resfrie de modo a compensar. [...]. O controlador perfeito seria aquele onde ele fizesse aquilo de forma tão rápida, tão eficiente, que nunca se percebesse: se você estivesse monitorando a temperatura, ela estaria a 100 graus para sempre. Como o processo é com massa considerável, tudo tem uma certa inércia. Quando você expressa as equações diferenciais, você vai ver que não tem como eu projetar um controlador que seja perfeito, que eu consiga fazer a temperatura ficar exatamente no valor que eu queria, qualquer que seja a perturbação que ocorra. E essas dificuldades, que estariam matematicamente expressas em um controlador automático, também vão se expressar quando [o aluno] assumir o papel de controlador, porque ele vai estar sujeito às mesmas leis. Não é automático, mas o automatismo agora é ele quem faz, a instrumentação é o olho dele. Ele percebe o que acontece, toma uma decisão na cabeça dele e depois atua, mexendo a mão no *mouse*. Só que, nesse processo dele perceber, formular uma forma de agir e atuar, vão estar envolvidas as mesmas leis que limitariam a perfeição a ser atingida, caso tivesse um controlador automático. E aí essa frustração que ele percebe ao fazer isso acaba ajudando ele a poder entender melhor o problema matemático que está por trás. E isso coloca aspectos lúdicos, porque quando você coloca isso para a turma inteira fazer, cada um com seu computador, como eu tenho aqui um índice de desempenho que vai andando, cada um pode ver quem é o melhor, [...], esse aspecto lúdico acaba ajudando a pessoa a se motivar mais para o problema, acaba dando uma dimensão diferente que ajuda. (Quelhas)



Figura 10. Tela do controle interativo no qual o aluno deve manter a seta onde o dedo está apontando

Quelhas mostrou, ainda, um programa utilizado por ele em suas aulas do primeiro equipamento – separador –, que tem em uma plataforma de petróleo – que recebe o petróleo advindo de um poço na terra ou no mar. Esse separador é basicamente um sistema – com, dentre outras coisas, válvulas, instrumentos e controladores – que tenta separar da mistura o petróleo, a água e o gás.

Durante o curso de formação o aluno passa não somente pela descrição desse sistema, como também pelos modos de atuar nele, por meio de telas que lhe permitem ver o que está acontecendo ao longo do tempo com as variáveis (pressão do gás, nível da água e nível do petróleo) que ele quer controlar. Além disso, o aluno pode modificar, no próprio programa, a parametrização dos controladores para melhorar o desempenho do sistema, quando ele for perturbado, e ver os efeitos dessa manipulação.

A matemática aparece nesse processo porque o sistema possui uma representação matemática, há uma equação matemática do controlador que está inserida em uma equação diferencial. Então, uma atuação ruim do aluno, no caso, uma sintonia malfeita de um controlador pode fazer o sistema ficar instável, o que significa que matematicamente o sistema pode ficar instável. Existem dezenas, centenas de formas sugeridas de sintonização de controladores, mas Quelhas afirma que o aluno tem que ter alguma percepção matemática do que está por trás do sistema, porque essas equações diferenciais possibilitam propostas de parametrizações de controladores para que eles tenham a performance desejável, isto é, não instabilidade e possibilite um bom desempenho do sistema.

A justificativa de Quelhas para o seu modo de proceder é feita do seguinte modo

> Eu gosto de tentar colocar algum subsídio que permita ao aluno perceber de uma forma que aquela matemática não fique tão abstrata. Se você sai colocando no quadro aquelas equações e transpõe para cá, transpõe para lá, ele pode até se adestrar para resolver bem um problema, fazer uma prova, mas muitas vezes ele não vai ter sensibilidade de, num problema real, colocar aquilo em ação, ou ter ideias. (Quelhas)

Na abordagem didática de Quelhas, fortemente baseada em programas desenvolvidos por ele e que se aproximam do campo de atuação profissional, a matemática aparece em sua prática de formação de engenheiros ingressantes na Petrobras de uma forma que os possibilitem a compreensão das regras da área de eletrônica e de processamento do petróleo na empresa. Isso é feito por meio de

atividades que propiciem os alunos entenderem o funcionamento do que precisam medir e controlar, para que tenham boas atuações e ao mesmo tempo que consigam propor outras boas atuações durante suas atividades profissionais.

Dadas as especificidades cada vez maiores do universo empresarial e as dificuldades de os cursos de graduação em engenharia atenderem a essas crescentes especificidades, as empresas têm oferecido cursos de formação para seus ingressantes e até mesmo cursos de formação continuada para seus funcionários. Esse é o caso da Petrobras, através da UP, que fornece cursos direcionados aos seus objetivos. Eu abordei o CFAI, para engenheiros de equipamentos (eletrônica) recém-contratados na Petrobras, que gentilmente abriu suas portas para que eu pudesse ter uma visão de como a matemática participa dele e da atividade profissional de alguns engenheiros eletrônicos, nas suas atividades profissionais diárias na Petrobras.

Em relação à matemática, mesmo sendo problematizada pelos entrevistados em termos de seus significados, isso não os impediu de falar sobre ela e dizer, de forma clara, que não há uma disciplina específica de matemática, porém ela aparece no decorrer de disciplinas relacionadas com o campo de atuação dos engenheiros eletrônicos, de acordo com as demandas dessas disciplinas. Diferente do que ocorre nos cursos de graduação em engenharia, como discutirei no próximo texto.

Aqui não se entra se não tem formação em engenharia e dela não sai se não passar pela matemática: formaação[121] de engenheiros

Rejane: [Paulo[122]], você falou que a UP foi fundamental no seu processo de formação, no seu processo de atuação profissional hoje, porque teve muita coisa que você não viu [na graduação], por exemplo, essa parte de química. Então, é... Foram essas disciplinas de lá que te dão hoje um know how para você fazer o que você faz hoje?

Paulo: Sim, é verdade, eu não conseguiria desempenhar minha atividade aqui se não fosse a UP.

Rejane: E se tivesse a UP e não tivesse o curso de graduação, você conseguiria desenvolver sua atividade aqui?

Paulo: Não, [...] para você fazer o curso da UP, você tem que ter conhecimento mínimo de Eletrônica, de Circuitos Elétricos, que é uma coisa da graduação. [...] O concurso que eu fiz para a Petrobras, era um concurso [...] aberto não só para engenheiro eletricista, outras carreiras também poderiam fazer esse curso. São alguns títulos que permitiam você prestar esse concurso [de engenheiro de equipamentos – eletrônica]. [...] O que que tem de comum nesse pessoal todo? Cálculo I, Cálculo II, Cálculo III, Cálculo IV. É isso! Física I, Física II, as disciplinas básicas. O básico da engenharia é matemática e física. Então, quem passou por isso na graduação está habilitado para prestar o concurso da Petrobras e, se aprovado, fazer UP.

Não é possível fazer o Curso de Formação em Automação Industrial (CFAI) da Universidade Petrobras (UP) se não for aprovado em concurso público para o cargo de engenheiro de equipamentos (eletrônica).

Aliás, nem é possível realizar o concurso público para esse cargo se não possuir curso de graduação em engenharia, na modalidade exigida pelo concurso[123].

---

[121] O erro é proposital: os dois "as" consecutivos dão lentidão à leitura da palavra formação, parecendo uma junção de forma e ação.

[122] Entrevista realizada com Paulo Mario dos Santos Dias de Moraes, no dia 05 de fevereiro de 2014. Por não ter outro entrevistado com esse nome, refiro-me a ele por Paulo no decorrer da tese.

[123] No Anexo II (Quadro de cargos, requisitos, exemplos de atribuições e remuneração) do edital de processo seletivo público para o preenchimento de vagas e formação de cadastro em cargos de nível superior e médio da Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.), Edital nº1 da Petrobras/PSP-RH-1/2012, de 21 de março de 2012, consta que, para o cargo de engenheiro(a) de equipamentos júnior (eletrônica), o(a) candidato(a) à vaga tem que ter: "Certificado de conclusão ou diploma, devidamente registrado, de curso de graduação de nível superior, bacharelado, em Engenharia Eletrônica, Engenharia de Computação, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia de Telecomunicações ou Engenharia Elétrica com ênfase/habilitação em Eletrônica, Computação, Controle e Automação ou Telecomunicações, reconhecido pelo Ministério da Educação, Secretarias ou Conselhos Estaduais de Educação. Outras formações nessas áreas serão aceitas, desde que acompanhadas de certidão emitida pelo respectivo Conselho de Classe, atestando a posse de todas as atribuições profissionais

E é muito menos possível, obter um diploma em engenharia se for reprovado em disciplinas de Matemática[124].

Hoje, quando alguém quer passar da parte continental do País de Gales para a Ilha de Anglesey, pode usar a Menai Suspension Bridge, uma ponte suspensa, construída em 1826 por Thomas Telford. Chega a dar um frio na barriga passar de ônibus por ela, porque é estreita, bem como passar a pé, porque os ventos são fortes – o que causou vários danos, já reparados, à ponte.



Figura 11. Fotos da Menai Suspension Bridge

Thomas Telford (1757-1834) foi o construtor da Menai Suspension Bridge e de diversas outras construções no Reino Unido. Ele é considerado um dos maiores engenheiros de todos os tempos – o pai da engenharia[125] – e foi o primeiro presidente do Instituto de Engenheiros Civis de Londres – o primeiro corpo profissional de engenharia do mundo[126]. Suas habilidades multidisciplinares vieram de seu autodidatismo e de sua experiência como pedreiro.

Telford não passou pelas exigências de fazer um concurso público para supervisionar obras britânicas e nem de fazer um curso de graduação em Engenharia, no caso, Civil, para começar a trabalhar, pois, na época, a Engenharia Civil ainda não

---

de uma das Engenharias exigidas. Registro no respectivo Conselho de Classe". Disponível em: http://www.cesgranrio.org.br/pdf/petrobras0112/petrobras0112_edital.pdf. Acesso em: 16 de abril de 2015, p. 38.

[124] Aqui eu não estou considerando casos como diplomas comprados ou fraudes relacionadas a aprovações em disciplinas como ocorreu recentemente na Universidade Federal de Uberlândia. Sobre este último caso, a reportagem pode ser encontrada em: http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2015/06/estudantes-da-ufu-serao-indiciados-por-invadir-sistema-e-alterar-notas.html. Acesso em 16 de setembro de 2015.

[125] PENFOLD, Alastair, B.A., PHIL, M. 1983.

[126] Disponível em: https://www.ice.org.uk/About-us/our-history. Acesso em: 16 de setembro de 2015.

tinha se tornado uma profissão oficial. Essa realidade é diferente da dos engenheiros atuais. Telford se encontra em um período de transição para o que os textos sobre história da engenharia[127] chamam de o aparecimento formal do engenheiro.

O aparecimento formal do engenheiro resultou de um longo processo de desenvolvimento de atividades que foram se estruturando, "fruto fundamentalmente do desenvolvimento da matemática, da explicação dos fenômenos físicos, dos experimentos realizados – em ambiente controlado –, da prática de campo, da sistematização de cursos formais"[128]. Essa estruturação foi tomando características que acabaram possibilitando aos historiadores da engenharia falar em engenharia do passado e engenharia moderna. A engenharia do passado

> [...] foi aquela caracterizada pelos grandes esforços do homem no sentido de criar e aperfeiçoar artefatos que aproveitassem os recursos naturais. Foram estes primeiros engenheiros os responsáveis pelo aparecimento de armamentos, fortificações, estradas, pontes, canais etc. A característica básica destes indivíduos foi o empirismo, pois trabalhavam com base na prática ensinada pelos que os antecediam, na sua própria experiência e no seu espírito empreendedor e criador.[129]

Em um artigo[130] sobre a performance da ponte suspensa de Menai antes e depois de sua reconstrução, os autores dizem que, talvez, Telford nem tenha feito os cálculos exibidos no artigo, mas que ele fez testes para o desenvolvimento empírico de cabos de forças da ponte. Essa fala também marca a distinção entre o trabalho empírico e o trabalho da engenharia moderna, caracterizada

> Por uma forte aplicação de conhecimentos científicos à solução de problemas. Ela pode dedicar-se, basicamente, a problemas da mesma espécie que a engenharia do passado se dedicava, porém, com uma característica distinta e marcante: a aplicação de conhecimentos científicos. Se antes os artefatos eram construídos com base em determinantes estéticos e operacionais, tomando sempre como referência a experiência pregressa do construtor, agora um projeto teórico – baseado em conceitos científicos, em teorias formalmente estudadas e em experiências de laboratório metodologicamente controladas – antecede a construção. Conhecimentos sistematizados a respeito da natureza – por exemplo a estrutura da matéria, os fenômenos eletromagnéticos, a composição química dos materiais, as leis da mecânica, a transferência de energia, as modelagens matemáticas dos fenômenos físicos – passam a fazer parte da prática dessa nova engenharia.[131]

---

[127] TELLES (1984); BAZZO e PEREIRA (2006).
[128] BAZZO e PEREIRA, 2006, p. 69.
[129] BAZZO e PEREIRA, 2006, p. 70.
[130] BILLINGTON e DEODATIS, s.d.
[131] Ibid.

Telles, em sua historiografia, afirma que

> Pode-se dizer que a engenharia científica [ou moderna] só teve início quando se começou a chegar a um consenso de que tudo aquilo que se fazia em bases empíricas e intuitivas, era na realidade regido por leis físicas e matemáticas, que importava descobrir e estudar. Leonardo da Vinci e Galileu, nos sécs. XV e XVII, podem ser considerados como os precursores da engenharia científica. [...] daí por diante, aos poucos a engenharia foi se estruturando, à medida também que se desenvolviam as ciências matemáticas, mas somente no séc. XVIII foi possível chegar-se a um conjunto sistemático e ordenado de doutrinas, que constituíram a primeira base teórica da engenharia.[132]

Leonardo da Vinci com a aplicação da estática para determinar forças atuando em uma estrutura; Galileu com a resistência dos materiais; lei de Hooke para explicar a resistência dos materiais; Newton e Leibniz com o cálculo infinitesimal; General Belidor com estruturas dos arcos e dos muros de arrimo; e Bernoulli, Euler e Navier com a hidrodinâmica, são nomes com algumas exemplificações desse primórdio cientificista da engenharia[133]. Outro exemplo é sobre a área naval.

> A partir de meados do séc. XVIII, a engenharia naval começou a passar por profundas transformações, adquirindo bases científicas e deixando assim de ser uma arte inteiramente empírica. O desenvolvimento da Matemática e da Mecânica permitiu que se pudesse calcular, com bastante precisão, o peso e o volume dos navios, assim como a sua estabilidade, em repouso e sob a ação das ondas e do vento. Passou-se também a dar maior atenção à resistência ao deslocamento dos navios, e com isso os barcos de formas bojudas dos séculos anteriores foram substituídos por novos modelos de formas afiladas nas extremidades. Para dar maior conforto ao pessoal embarcado, e também para melhorar a estabilidade, aumentou-se o comprimento e a boca dos navios até onde possível, e diminuiu-se a altura dos castelos. Com tudo isso, apareceu uma nova ciência, a *Teoria do Navio*, da qual um dos primeiros livros foi o de 1746, do francês Bouguer, o introdutor da noção de *metacentro*.[134]

Para Telles[135], a engenharia moderna, ou a engenharia propriamente dita, nasceu no exército, que a partir do século XVII passou a exigir profissionais habilitados para atender suas necessidades, e coincidiu com dois acontecimentos: o advento do Iluminismo e a Revolução Industrial.

---

[132] TELLES, 1984, p.2.
[133] TELLES, 1984.
[134] Ibid., p. 237.
[135] TELLES, 1984.

> A *revolução industrial*, com o aparecimento da máquina a vapor e de uma série de outras máquinas, forçou o desenvolvimento tecnológico e o estudo e pesquisa das ciências físicas e matemáticas, tendo em vista suas aplicações práticas, isto é, da própria engenharia. O movimento do *Iluminismo*, dos enciclopedistas e de outros filósofos da época, consequência do Renascimento e das ideias de Descartes, libertou o espírito humano dos estreitos limites da escolástica tradicional e valorizou a observação da natureza, experimentação, o estudo das ciências físicas e naturais e suas aplicações, tendendo a terminar com o desprezo e a situação de inferioridade a que eram relegadas as chamadas *artes mecânicas*, desde a Idade Média.[136]

O interessante das historiografias é o modo como elas explicam o desenvolvimento das ciências, em particular o da matemática, vendo-a como um critério demarcador da distinção entre engenharia moderna e engenharia do passado.

Para Bourdieu[137], a matematização das ciências conferiu forte autonomia a elas em relação a outros campos, como o da sociologia, produzindo efeitos como: separação entre os profissionais e os amadores com base no critério de maior ou menor domínio da matemática, redefinindo as fronteiras das ciências a quem tem esse domínio; substituição da ideia de explicação do mundo, não por explicações mecânicas ou ontológicas, mas por explicações matemáticas baseadas, por exemplo, no cálculo de probabilidades, que permite prever medições posteriores a partir dos resultados das medições iniciais.

Em termos de ensino de engenharia e significado da profissão,

> A *École Nationale des Ponts et Chaussés*, fundada em Paris em 1747, por iniciativa de Daniel Trudaine, parece ter sido o primeiro estabelecimento de ensino, em todo o mundo, onde se ministrou um curso regular de engenharia, e que diplomou profissionais com esse título. Da mesma época é a *École Nationale Supérieure des Mines*, também em Paris, que formava engenheiros de minas. O nome *engenheiro civil* teria sido usado, pela primeira vez, pelo engenheiro inglês John Smeaton – um dos descobridores do cimento *Portland* – que assim se autodenominou em fins do séc. XVIII. Em 1818 fundou-se em Londres o *Instituto de Engenheiros Civis*, com a principal finalidade de defender e prestigiar o significado da profissão, ainda desprezada e mal compreendida, mesmo nos centros mais avançados do mundo.[138]

Também no século XVIII, em 1794, foi fundada em Paris a *École Polytechnique*, que se tornou modelo para outras escolas de engenharia pelo mundo.

---

[136] Ibid., p. 3.
[137] BOURDIEU, 2004.
[138] TELLES, 1984, p. 1. [grifos do autor]

Telles[139] afirma que o século XIX foi o mais importante para a consolidação da engenharia em termos de importância e impacto econômico e social.

A engenharia entrou no Brasil Colonial por meio dos oficiais-engenheiros, responsáveis por obras de defesa, demarcações de fronteiras, mapeamentos, formação de engenheiros no Brasil e de obras em geral e dos mestres de risco (antepassados dos arquitetos), responsáveis pelas edificações civis e religiosas. Até o início do séc. XIX, a palavra engenheiro designava engenheiros militares. Telles observa que no Código Civil de 1900 há referência apenas "ao empreiteiro, ao construtor e ao arquiteto, quando trata dos direitos, obrigações e responsabilidades de quem faz uma obra; diante da lei, a figura do engenheiro, como hoje a entendemos, ainda não existia"[140].

A palavra engenheiro chegou até a causar confusões no Brasil. Ela tinha o sentido de dono de engenho. Engenheiro, em inglês podia significar maquinista ou mecânico, o que causou fraudes de documentação dos estrangeiros que vieram para o Brasil. Além disso, os engenheiros militares que vieram de Portugal foram designados indistintamente como engenheiro-mor, engenheiro-arquiteto, arquiteto-mor de Sua Majestade, mestre-pedreiro devido a uma confusão de funções[141].

No período Colonial, Telles[142] afirma que Portugal tinha escassez de recursos e engenheiros, assim muitos oficiais foram designados engenheiros sem ter formação técnica, outras pessoas chegaram a assumir atividades da engenharia militar e muitos brasileiros foram estudar na Europa.

Hoje,

> A profissão de Engenheiro tem sido assegurada "aos que possuam, devidamente registrado, diploma de faculdade ou escola superior de engenharia oficiais ou reconhecidas, existentes no País", registro este que ocorre junto ao sistema CONFEA/CREAs. No Brasil, as exigências são distintas das condições para registro profissional em outros países, como Estados Unidos, Inglaterra e Portugal, onde, concluído o curso de Engenharia, os egressos devem ser aprovados em exames complementares para, assim, estarem habilitados para o exercício profissional. No Brasil, basta possuir o diploma de engenheiro para estar habilitado a requerer registro profissional junto ao sistema CONFEA/CREAs.[143]

---

[139] Ibid.
[140] Ibid., p. 4.
[141] TELLES, 1984.
[142] Ibid.
[143] PINTO, PORTELA, OLIVEIRA, 2003, p. 7.

Telles[144] coloca que os engenheiros brasileiros do séc. XIX eram quase todos enciclopédicos, exercendo atividades em diversos campos, tais como ferrovias, portos, estradas e serviços públicos:

> A fase das especializações só veio mais tarde, como consequência não só da vinda de profissionais de países de técnicas mais avançada, mas também, e principalmente, da iniciativa de alguns engenheiros proeminentes que se especializaram, de forma autodidata e depois fizeram escola: Francisco Saturnino de Brito foi justamente um dos iniciadores dessa fase, que, se pode dizer, começou de forma remota com a fundação da Escola de Minas de Ouro Preto, em 1876.[145]

De certa forma, Telles acredita

> [...] que seja possível estabelecer-se três épocas distintas, a partir de meados do século passado, em que houve um grande avanço da engenharia no Brasil: primeiro por volta de 1860, quando se iniciou o ciclo ferroviário, depois por volta de 1910-1920, quando começou o emprego do concreto armado nas construções, e finalmente, por volta de 1960, com o aparecimento e desenvolvimento das modernas especializações da engenharia. É interessante notar que, em todas as três ocasiões, os engenheiros brasileiros foram em boa parte autodidatas, porque a aplicação prática das novas técnicas iniciou-se antes que tais assuntos fossem formalmente ensinados em nossas escolas[146].

Em relação à formação de engenheiros no Brasil, houve *Aulas de Fortificação* em Salvador e no Rio de Janeiro, desde o início do século XVIII, destinadas ao ensino de engenheiros militares. Das *Aulas de Fortificação* do Rio, criadas em 1710 e destinadas ao ensino da arte de desenhar e erigir fortificações, em 1792 houve sua ampliação e transformação em *Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho*, posteriormente substituída pela *Academia Real Militar* no Rio de janeiro, em 1810.

A *Academia Real Militar* é considerada a primeira escola de formação de engenheiros no Brasil, da qual descende a *Escola Politécnica* do Rio de Janeiro, atualmente Escola Politécnica[147] da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Telles afirma que antes das *Aulas de Fortificação*, não significa que não existiam escolas de formação de engenharia, dando como exemplos de antecedentes

---

144 TELLES, 1984.
145 Ibid., p. 475.
146 Ibid., p. 476.
147 Disponível em: http://www.poli.ufrj.br/politecnica_historia.php. Acesso em 03 de setembro de 2015.

a Escola de Santo Antão, em Lisboa, ou a contratação, por volta de 1640, do holandês Miguel Timermans para ensinar sua arte e ciência para os trabalhos de fortificações no Brasil. E diz, ainda, que

> [...] não devem ter sido poucas as resistências opostas à criação da Academia, não só por parte do chamado "partido português" do Governo de D. João VI – que não via com bons olhos qualquer progresso no Brasil – como principalmente pela sociedade da época em geral, dominada por uma cultura humanístico-literária, na qual estudar Matemáticas e Ciências Físicas era um ato heróico[148].

A *Academia Real Militar* fornecia

> um curso regular das Ciências Exatas, e de Observação, assim como de todas aquelas que são aplicações das mesmas aos Estudos Militares e Práticos, que formam a Ciência Militar em todos os seus difíceis e interessantes ramos, de maneira que dos mesmos Cursos de estudos formem hábeis oficiais de Artilharia, Engenharia, e ainda mesmo Oficiais da classe de Engenheiros Geógrafos e Topógrafos, que possam também ter o útil emprego de dirigir objetos administrativos de Minas, de Caminhos, Portos, Canais, Pontes, Fontes e Calçadas[149].

A influência francesa no Brasil, principalmente no ensino, foi grande durante o século XIX até 1950.

> Quase todos os livros em que se estudavam eram franceses, ou traduzidos do Frances; os programas da Escola Politécnica [do Rio de Janeiro] eram também baseados em modelos franceses, e alguns professores franceses ensinaram nessa escola, sem falar da Escola de Minas de Ouro Preto, que era inteiramente uma escola francesa. Essa influência traduziu-se, também, em procedimentos de cálculo e de trabalho, e em terminologia técnica. Por outro lado, foi relativamente pequeno o número de engenheiros franceses que por aqui vieram.[150]

No curso oferecido pela *Academia Real Militar,* havia ênfase nas disciplinas básicas e no ensino prático. O curso tinha duração de 7 anos, podendo ainda haver um oitavo ano. A Carta de Lei de 4 de dezembro de 1810, discriminava as disciplinas obrigatórias durante o curso[151].

O primeiro ano era de preparação, devido à pouca existência do que hoje podemos chamar de Ensino Médio. Nesse ano, os alunos teriam lições de matemática

---

148 TELLES, 1984, p. 69.
149 Ibid., p. 483-484, apêndice.
150 TELLES, 1984, p. 476.
151 Ibid.

e de desenho. Em relação à matemática, o professor deveria ensinar: Aritmética, Álgebra até as equações do terceiro e quarto graus, Geometria, Trigonometria Retilínea e as primeiras noções de Esférica,

> abrangendo assim princípios do Curso Matemático muito interessante, no qual procurará fazer entender aos alunos toda beleza e extensão do cálculo algébrico nas potências, quantidades exponentivas, logaritmos e cálculo de anuidades, assim como familiarizá-los com as fórmulas da Trigonometria de que lhes mostrará suas vastas aplicações, trabalhando muito em exercitá-los nos diversos problemas e procurando desenvolver aquele espírito de invenção, que nas ciências matemáticas conduz às maiores descobertas.[152]

Os segundo, terceiro e quarto anos eram de disciplinas básicas. Em termos de matemática, se pede uma ampliação das noções do primeiro ano, Cálculo Diferencial e Integral, Geometria Descritiva, Trigonometria Esférica[153].

Em relação ao ensino de Cálculo Diferencial e Integral, ou das Fluxões e Fluentes, os professores deveriam mostrar

> suas aplicações até onde têm chegado nos nossos dias nas brilhantes aplicações à Física, à Astronomia e ao Cálculo das Probabilidades. [...] terá cuidado de ir adicionando todos os métodos e novas descobertas que possam ir fazendo-se. Sendo notável de quão poucos princípios deduzidos, de experiência se deduzem as teorias da Mecânica, Hidrodinâmica e Óptica, estará ao cuidado do professor apontar no compêndio a facilidade com que se deduzem as consequências que formam as mesmas ciências e abrir assim o caminho que se deseja; o que lhe conseguirá, se procurar dar aos seus discípulos o conhecimento íntimo dos princípios de cálculo, mas sem lhe ensinar o modo de adivinhar o que luminosamente aponta e que muitas vezes o olho pouco conhecedor não sabe distinguir, nem entender em toda sua extensão.[154]

A matemática assumiu um papel importante na profissionalização da engenharia brasileira[155] e desde as primeiras confecções curriculares, baseadas no modelo francês, já estava presente em forma de disciplinas básicas e mesmo com as alterações curriculares exemplificadas por Telles, as disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral e, posteriormente, sob influência positivista, Cálculo Diferencial e Integral e Geometria Analítica permaneceram[156].

---

[152] Ibid.
[153] TELLES, 1984, p. 485-486.
[154] Ibid., p. 485.
[155] Em Oliveira (2005) há uma descrição mais detalhada do crescimento do número de Cursos de Graduação em Engenharia, assim como do aumento de modalidades da Engenharia no Brasil.
[156] TELLES, 1984.

Franchi[157], em sua tese de doutorado, afirma que os cursos de engenharia foram se modificando com o passar dos anos devido a interesses políticos e econômicos, assim como a regulamentação da profissão do engenheiro e o aparecimento de diferentes habilitações/modalidades de engenharia. Nessa trajetória de mudanças, ela menciona a Resolução 48/76, de 27 de abril de 1976, do Conselho Federal de Educação (CFE), que estabeleceu as habilitações da Engenharia em seis áreas (Civil, Mecânica, Elétrica, Metalurgia, Química e Minas) e definiu currículos e carga horária mínimos para os cursos de Engenharia, sendo esses currículos divididos em matérias de formação básica, geral e profissionalizante:

> A resolução estabelece ementas para cada matéria e essa indicação foi interpretada como o desdobramento das matérias em disciplinas[158]. Embora a própria resolução coloque que estas referências devem ser entendidas como recomendações, cabendo a cada instituição a análise e adaptação à sua realidade, elas foram tomadas como padrão e adotadas por praticamente todos os cursos, imprimindo uma certa rigidez aos currículos de Engenharia que permaneceu até poucos anos.[159]

A partir de 2002, foram estabelecidas as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia[160] – que chamarei no restante do trabalho de Diretrizes –, que definem "os princípios, fundamentos, condições e procedimentos da formação de engenheiros, [...], para aplicação em âmbito nacional na organização, desenvolvimento e avaliação dos projetos pedagógicos dos Cursos de Graduação em Engenharia [...]."[161].

---

[157] O trabalho de Franchi (2002) investigou as necessidades dos profissionais de engenharia, as possibilidades de estruturação do currículo de matemática para atender a essas necessidades, os objetivos da disciplina "matemática" nestes cursos e as formas de trabalho com a disciplina de modo a atingir estes objetivos, tentando responder a questão: "Como construir um currículo de Matemática para cursos de Engenharia que contribua para o desenvolvimento das competências desejáveis ao profissional de Engenharia da atualidade?". Nesta pesquisa, Franchi (2002) retomou como as atividades de Engenharia se manifestaram ao longo da história, focalizando as mudanças ocorridas no perfil do engenheiro e as características importantes da formação do engenheiro atual, abordou o ensino de Engenharia no Brasil e a organização curricular dos cursos de Engenharia brasileiros. A autora faz uma proposta de currículo de Matemática para cursos de Engenharia, discutindo os objetivos da Matemática nestes cursos e colocando as concepções de currículo que fundamentam sua proposta. Além disso, ela propõe a *Modelagem Matemática* e a *Informática* como ambientes de aprendizagem da Matemática e apresenta sugestões de trabalho nesses ambientes. Por fim, Franchi (2002) descreve uma proposta de organização de currículo de matemática para os cursos de engenharia da UNIMEP (Universidade Metodista de Piracicaba) e a experiência de implantação dessa proposta.

[158] A matéria Matemática tinha como ementa: Cálculo Vetorial, Cálculo Diferencial e Integral, Geometria Analítica, Álgebra Linear, Cálculo Numérico e Probabilidade e Estatística (Disponível em: www.crea-rs.org.br/crea/documentos/TabelaComparativa.doc. Acesso em 24 de julho de 2014), o que sugere que a ementa das matérias se constituísse em disciplinas.

[159] FRANCHI, 2002, p. 19.

[160] BRASIL, 2002.

[161] Ibid., p. 1.

Pinto, Portela e Oliveira[162] apresentam as características da legislação anterior (Resolução 48/76 do CFE) e a atual legislação pela tabela comparativa abaixo, adaptada por mim.

	Resolução 48/76 do CFE	Brasil (2002)
Característica predominante	Impositiva	Diretiva
Áreas da Engenharia	Seis áreas	Em aberto
Habilitações	Estabelece várias	Não menciona
Perfil do egresso	Não estabelece	Engenheiro com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva. Sólida formação técnico-científica e profissional geral, etc. Adquirir competências e habilidades.
Projeto de curso	A principal exigência era a Grade Curricular	O projeto político pedagógico é uma exigência e deve deixar claro como as atividades acadêmicas levam à formação do perfil profissional delineado.
Organização Curricular	Currículo Mínimo - Grade de disciplinas com pré-requisitos.	Fim do Currículo Mínimo - flexibilização curricular, nova concepção de currículo.
Currículo	Parte comum: formação básica e formação geral. Parte diversificada: formação profissional geral e específica. Disciplinas exigidas por legislação específica.	Núcleo de conteúdos básicos (30%). Núcleo de conteúdos profissionalizantes (15%). Extensões e aprofundamentos dos conteúdos do núcleo profissionalizante (demais 55%).
Foco do currículo	Centrado no Conteúdo	Habilidades e Competências
Projetos integralizadores	Não previa	Prevê realização de trabalhos de integralização de conhecimentos, sendo obrigatório o Trabalho de Conclusão de Curso.
Duração do curso	4 a 9 anos (média de 5 anos), com um mínimo de 3.600 horas de atividades.	Não estabelece[163].
Estágio	Obrigatório, com o mínimo de 30 horas.	Obrigatório, com o mínimo de 160 horas e supervisão sob responsabilidade da IES.
Metodologia de Ensino e aprendizagem	Não menciona	Prevê que o curso deve utilizar metodologias de ensino/aprendizagem, capazes de garantir o desenvolvimento de habilidades e competências.
Foco do processo de Ensino e aprendizagem	Centrado no professor	Centrado no aluno
Avaliação	Não menciona	Determina que os cursos devem possuir métodos e critérios de

[162] PINTO, PORTELA e OLIVEIRA, 2003.

[163] Na Resolução nº 2, de 18 de junho de 2007 que dispõe sobre carga horária mínima e procedimentos à integralização e duração dos cursos de graduação, bacharelados, na modalidade presencial, estipulam como carga horária mínima para os cursos de Engenharia 3600 horas. (Disponível em: http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2007/rces002_07.pdf. Acesso em: 24 de julho de 2014).

		avaliação do processo de ensino/aprendizagem e do próprio curso.
A Instituição de Ensino	Administração com foco em documentação e registro acadêmico./ Órgão de referência para o aluno era o departamento.	Administração de caráter mais pedagógico prevendo avaliação, acompanhamento, inclusive psico-pedagógico./ O principal órgão, pelas atribuições, é a coordenação do curso.
Papel do aluno	Predominantemente passivo	Predominantemente ativo.

Tabela Comparativa entre Resolução 48/76 e as Diretrizes[164].

Uma formação generalista, humanista, crítica e reflexiva já é colocada pelas Diretrizes[165] e reforçadas pela maioria dos entrevistados. As Diretrizes[166] ainda adicionam que essa formação deve capacitar o engenheiro a "absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais"[167]. Além de considerar esses aspectos, a atuação de um engenheiro tem de ser feita "com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade"[168].

Esse tipo de formação, centrada no aluno, humanista, coloca o sujeito racional, autônomo e autotransparente, neste caso o aluno, "no centro da análise e da teoria, vendo-o como a origem e a fonte do pensamento e da ação"[169] para atuar nas demandas da sociedade. Peters afirma que esse modo de ver o sujeito tem sido colocado em suspeita por estruturalistas e pós-estruturalistas que sustentam "um ceticismo para com a concepção que vê a consciência humana como autônoma, como diretamente acessível e como a única base da compreensão e da ação"[170].

O humanismo, na era moderna, para Peters, remonta a Bacon e a Descartes,

> [...] enfatizando uma forma "científica" de conhecimento – um conhecimento produzido por um eu racional e objetivo, um conhecimento de fornecer verdades universais sobre o mundo. Esse conhecimento científico poderia supostamente ser aplicado a todas as práticas e instituições humanas, sendo considerado a base última daquilo que é verdadeiro e, portanto, daquilo que é certo e daquilo que é bom.[171]

[164] Adaptada de: PINTO, PORTELA e OLIVEIRA, 2003, p. 3.
[165] BRASIL, 2002.
[166] Ibid.
[167] Ibid., Art. 3º, p.1.
[168] Ibid., Art. 3º, p.1.
[169] PETERS, 2000, p. 31.
[170] Ibid., p. 35.
[171] Ibid., p. 35.

Mesmo que se tenha esse discurso humanista, Pinto e Oliveira, afirmam que “ainda hoje, na grande maioria dos cursos de graduação em engenharia prevalece a visão da relação ensino/aprendizagem baseada na transmissão do conhecimento, na qual o aluno seria um mero agente passivo”[172], ainda que a base última daquilo que é “verdadeiro” e, portanto, daquilo que é “certo” e “bom” permaneça.

Wittgenstein disse: “Somos prisioneiros em nossa pele”[173], o que não significa que sejamos somente seres racionais, autônomos e autotransparentes, mas, também, que estamos imersos em formas de vida, o que significa que podemos produzir conhecimentos não de uma única maneira. Nesse sentido, tendo a concordar com Miguel quando ele diz que

> Práticas formativas são sempre práticas interativas de gestão e autogestão do corpo humano em e por jogos de linguagem. O processamento de tais jogos pode estar sujeito a regimes de normatividade provenientes de diferentes formas naturais de vida [...]; tais jogos podem também estar sujeitos a regimes de normatividades provenientes de diferentes formas culturais de vida humana [...][174].

No jogo normativo das Diretrizes[175], uma das várias formas culturais de vida humana, a formação de engenheiros, atualmente, tem o objetivo de fazê-los exercitar as seguintes competências e habilidades gerais:

> I - aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;
> II - projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;
> III - conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;
> IV - planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;
> V - identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
> VI - desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;
> VI - supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;
> VII - avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas;
> VIII - comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;
> IX - atuar em equipes multidisciplinares;
> X - compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;
> XI - avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;
> XII - avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia;
> XIII - assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.[176]

---

[172] PINTO E OLIVEIRA, 2012, p. 3.
[173] WITTGENSTEIN, 2010, p. 57.
[174] MIGUEL, 2014, p. 1.
[175] BRASIL, 2002.
[176] Ibid., p. 1.

Lendo-as, vejo que não é de se estranhar que a matemática apareça nos primeiros anos, como base ou como fundamentação, ou como o que é comum nos diversos cursos de engenharia no Brasil, pois além dela aparecer em termos de desenvolvimento de competências e habilidades, ela também aparece em outros momentos. Um deles é no Art. 6º, §1, como um item da listagem do núcleo de conteúdos básicos. E o outro está presente no Art. 6º, §3, do núcleo de conteúdos profissionalizantes, que versa sobre um subconjunto dos tópicos discriminados nas Diretrizes a ser definido pela IES, por meio do tópico Matemática Discreta. Nesse núcleo também aparecem como tópicos Métodos Numéricos e Pesquisa Operacional[177], que podem ser considerados assuntos matemáticos. Não há uma listagem de tópicos e muito menos se encontra a palavra Matemática no núcleo de conteúdos específicos[178], que fica a critério dos cursos de engenharia, de cada modalidade de Engenharia[179].

Não é de se estranhar, também, que não é possível obter um diploma em engenharia se for reprovado em disciplinas de Matemática, por elas estarem enraizadas nos currículos, tanto em termos de tradição quanto em termos de disciplinas do núcleo de conteúdos básicos, principalmente as disciplinas de Cálculo, que funcionam como pré-requisitos para outras disciplinas dos núcleos de conteúdos profissionalizantes e de conteúdos específicos da engenharia. Como diz o Prof. Dr. Ely Carneiro de Paiva, a matemática “é a base né? Por isso que a gente fala que é a

---

[177] Aqui já surge um problema relativo àquilo que podemos considerar como "Matemática". Até que ponto tópicos como *Algoritmos e Estruturas de Dados* ou *Modelagem, Análise e Simulação de Sistemas*, por exemplo, podem, ou não, ser considerados “matemática”? Por ora, não discutirei esta questão. Meu objetivo é exemplificar que a Matemática, de acordo com as Diretrizes, participa tanto do núcleo de conteúdos básicos quanto do núcleo de conteúdos profissionalizantes, o que me faz questionar algumas críticas às ditas disciplinas básicas, sendo a matemática inserida nelas, enquanto que ela é considerada também profissionalizante, ou seja, questionar a dicotomia disciplinas básicas/profissionalizantes.

[178] O núcleo de conteúdos específicos “constitui em extensões e aprofundamentos dos conteúdos do núcleo de conteúdos profissionalizantes, bem como de outros conteúdos destinados a caracterizar modalidades. Estes conteúdos, consubstanciando o restante da carga horária total, serão propostos exclusivamente pela IES. Constituem-se em conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais necessários para a definição das modalidades de engenharia e devem garantir o desenvolvimento das competências e habilidades estabelecidas nestas diretrizes.” (BRASIL, 2002, p.3).

[179] No artigo “Crescimento do número de cursos e de modalidades de engenharia: principais causas e consequências” (OLIVEIRA, 2005), podemos ver, aproximadamente, 50 modalidades diferentes de engenharias.

base, é investimento, é o pedágio." (Ely[180]) que se paga para se ter uma formação em engenharia.

Um exemplo do que ocorre no Brasil pode ser visto na sugestão de cumprimento do Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp[181], adaptados nas Figuras 12 e 13, abaixo. Este Curso tem

> [...] caráter essencialmente multidisciplinar, [...] envolvendo as áreas de mecânica, eletrônica, informática, computação, modelagem matemática aplicada, instrumentação, controle de sistemas, planejamento e controle da produção e automação[182].

Mesmo com o caráter multidisciplinar[183], sua estruturação segue a ordem de pré-requisitos e a matemática serve de sustentação para a maioria das disciplinas.

---

[180] Entrevista realizada com o Professor Doutor Ely Carneiro de Paiva, no dia 17 de abril de 2014. Farei referência a este professor somente por Ely.

[181] Disponível em: http://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2015/proposta/sug49.html. Acesso em: 16 de setembro de 2015.

[182] Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2011, p. 10.

[183] O curso é dividido em seis módulos: Ciclo básico que tem "Matemática, Física, Química, Engenharia e Humanas. Transmitem-se os fundamentos de Cálculo Diferencial, Álgebra Linear, Mecânica Clássica, Eletromagnetismo, Química, Engenharia, Economia, Direito e Ciências do Ambiente" (Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2011, p. 12); Bloco Mecânico, que envolve "conhecimentos quanto aos processos e materiais de fabricação, a dinâmica e as propriedades das estruturas mecânicas que compõem as máquinas e os conceitos termodinâmicos e fluídicos que envolvem a operação dos sistemas mecânicos de modo geral. (ibid., p.13) ; Bloco Eletroeletrônico, que deve fornecer "conhecimento básico referente aos circuitos elétricos e eletrônicos analógicos e digitais, ao processamento analógico de sinais visando a instrumentação, a aplicação do eletromagnetismo às máquinas elétricas e o controle eletrônico dos diversos tipos de motores elétricos existentes" (ibid., p. 14); Bloco Computação, que "Deve transmitir aos alunos as noções básicas de programação de computadores, desde as linguagens de montagem até as mais abstratas, métodos numéricos, estruturas de dados e o desenvolvimento de sistemas computacionais. (ibid., p. 14); Área de Controle, que "compreende o conhecimento matemático aplicado, básico e avançado, exigido para modelar e controlar sistemas lineares e não lineares, no tempo contínuo e no tempo discreto. Engloba os sistemas de aquisição de dados, o processamento digital de sinais, os métodos tradicionais de controle básico e os mais atualizados de controle avançado. Além de constituir a área que exige um profundo conhecimento aplicado, envolvendo controle robusto, redes neurais, lógica nebulosa e sistemas não lineares, deve ainda assim fornecer experiência prática capaz de exercitar tais conceitos em sistemas de laboratório didáticos, porém realistas e efetivos" (ibid., p. 14); Área de Automação, que "compreende o conhecimento aplicado para projetar sistemas automáticos associados à produção, o que envolve máquinas, produtos e processos industriais. É uma área de integração do conhecimento, onde são estudados métodos de planejamento e controle da produção e o desenvolvimento de sistemas controlados, seja uma máquina automática, seja um conjunto de células de produção. Engloba, portanto, o desenvolvimento de sistemas de computação em tempo real, baseados em microprocessadores e microcontroladores, os dispositivos eletromecânicos usados para automação, as redes de computação e de instrumentação industriais e os sistemas automáticos de modo geral, além de sua integração com os métodos de planejamento essenciais a uma cadeia de produção. Também é administrada uma carga experimental que envolve robótica, sistemas hidráulicos e pneumáticos, além do controle dos diversos tipos de motores elétricos" (ibid., p. 14).

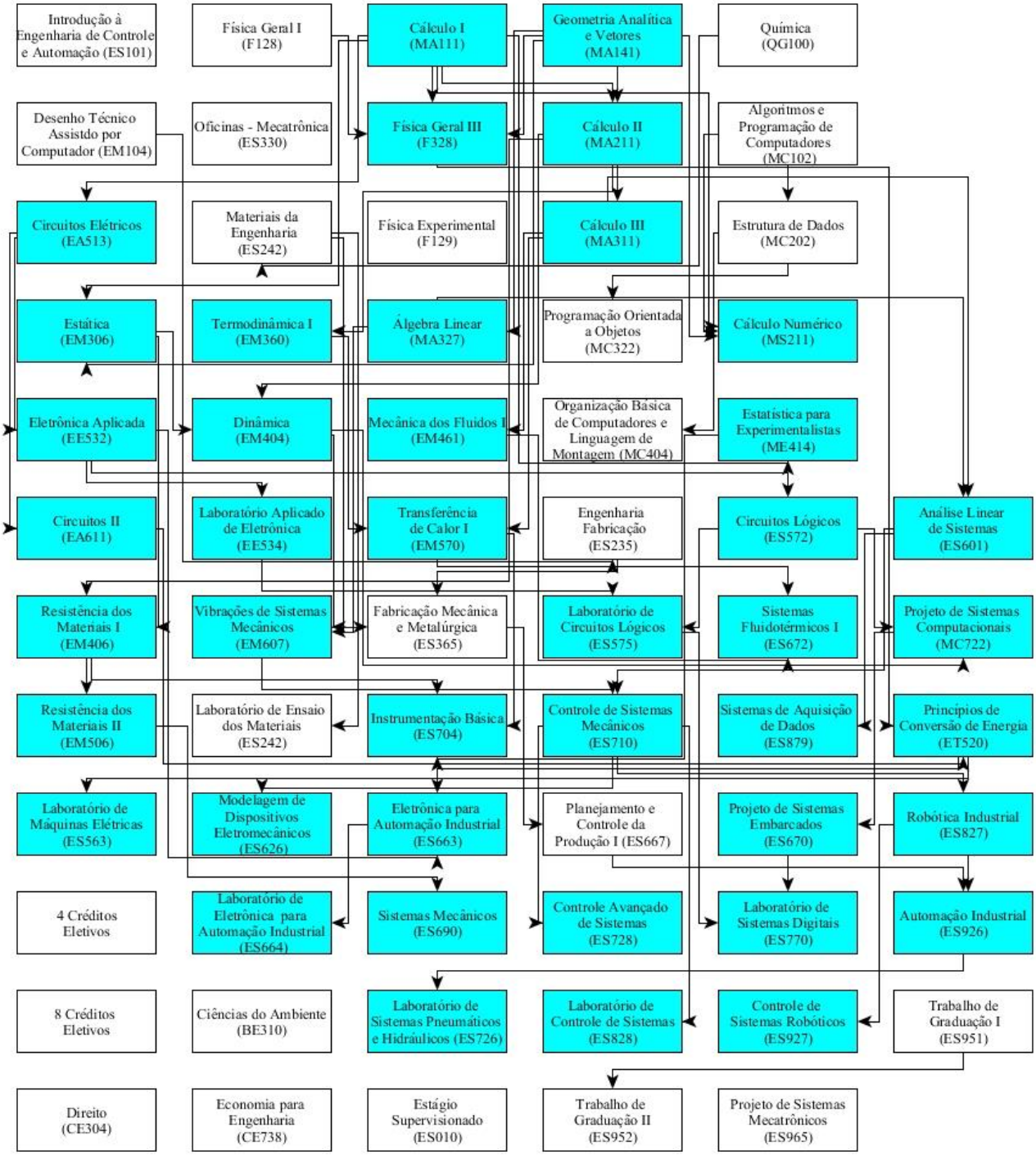


Figura 12. Sugestão de cumprimento de disciplinas por semestre[184].

[184] Essa figura foi criada por mim de acordo com a sugestão de cumprimento de carga horária do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Unicamp. Cada linha da da figura corresponde a um semestre. (Disponível em: http://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2015/proposta/sug49.html. Acesso em 16 de setembro de 2015.

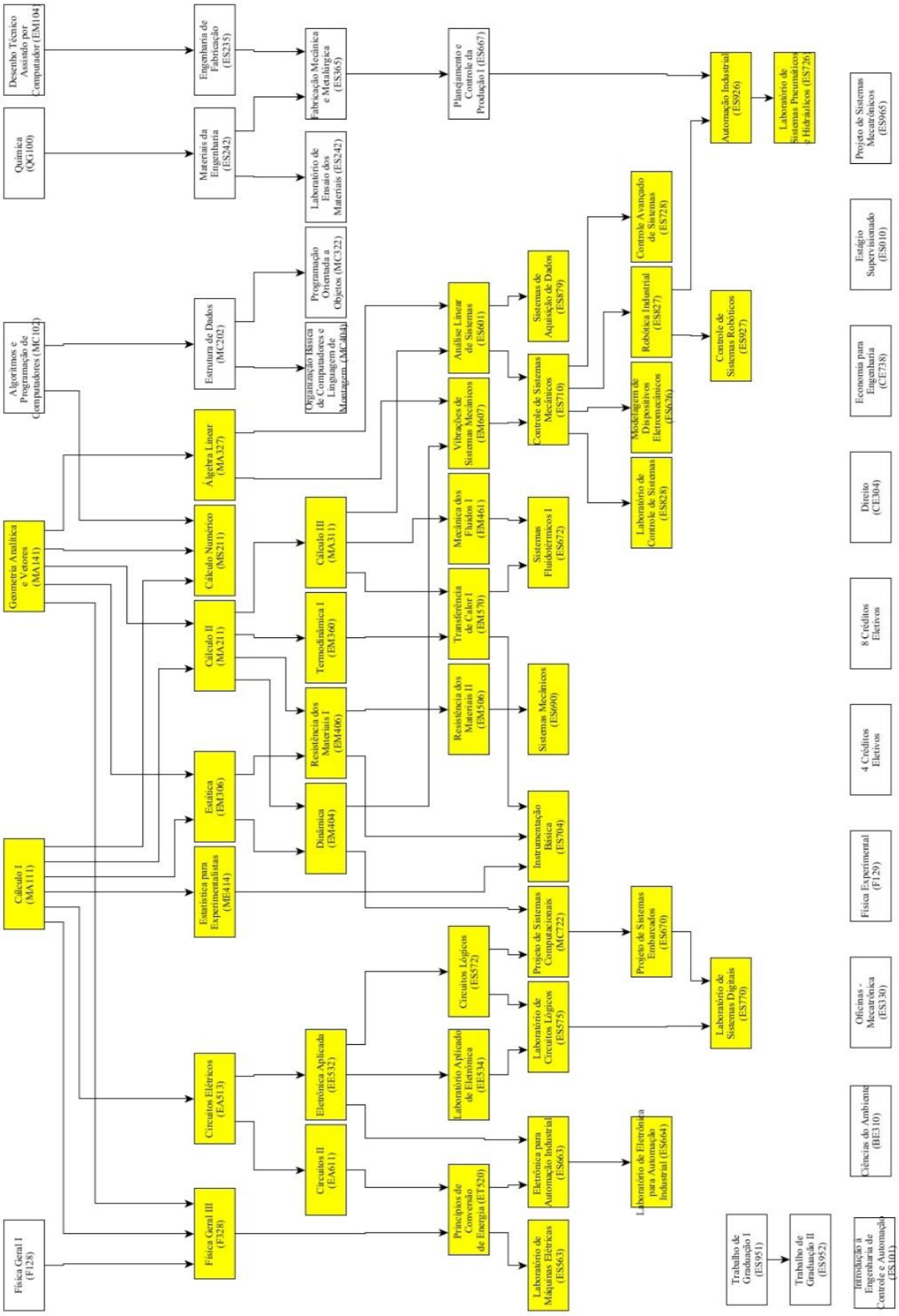


Figura 13. Hierarquização de disciplinas do Curso de Engenharia de Controle e Automação da UNICAMP[185].

[185] Essa figura foi criada por mim tendo como base a Figura 12.

Pelas Figuras 12 e 13 se pode ver o uso propedêutico da matemática pelo Curso, pois todas as disciplinas coloridas de azul, na Figura 12, ou de amarelo, na Figura 13, dependem de Cálculo Diferencial e Integral I e Geometria Analítica, disciplinas que também foram coloridas. Como disse o Professor Eurípedes Guilherme de Oliveira Nóbrega[186], da Unicamp, "Todo curso é baseado nos cálculos, inclusive álgebra linear, mas álgebra linear ficou um pouco de lado aí na história." (Eurípedes[187]).

Essa grande presença da matemática foi influenciada, segundo Silva[188], pela Filosofia Positiva de Auguste Comte. Ele colocou a matemática como ponto de partida de sua Filosofia Positiva, empregada por ele como "o estudo das generalidades das diferentes ciências, concebidas como submetidas a um único método e como formando as diferentes partes de um plano geral de pesquisas"[189].

Nesta filosofia, ele fez uma classificação das ciências, colocando a Matemática em primeiro lugar, seguida por: Física, Química, Biologia e Sociologia, para estabelecer uma dependência entre elas, começando o ensino pelo "estudo dos fenômenos mais gerais ou mais simples, até que se chegue, sucessivamente, aos fenômenos mais particulares e mais complicados"[190] que constituem o estado positivo, no qual

> [...] o espírito humano, reconhecendo a impossibilidade de obter noções absolutas, renuncia a procurar a origem e o destino do universo, a conhecer as causas íntimas dos fenômenos, para preocupar-se unicamente em descobrir, graças ao uso bem combinado do raciocínio e da observação, suas leis efetivas, a saber, suas relações invariáveis de sucessão e de similitude. A explicação dos fatos, reduzida então a seus termos reais, se resume de agora em diante na ligação estabelecida entre os diversos fenômenos particulares e alguns fatos gerais, cujo número o progresso da ciência tende cada vez mais a diminuir[191].

O cálculo infinitesimal era importante para Comte porque possibilitava a redução da totalidade do sistema de uma ciência a um número reduzido de fórmulas

---

186 http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4793197T1
187 Entrevista realizada com Professor Doutor Eurípedes Guilherme de Oliveira Nóbrega, no dia 03 de abril de 2014. No restante do texto referir-me-ei a este professor como Eurípedes.
188 SILVA, 1999.
189 COMTE, 1969, p. viii, apud SILVA, 1999, p. 35-36.
190 SILVA, 1999, p. 43.
191 COMTE, 1978, p.4.

analíticas, mas, “não é nada mais que um meio da conclusão lógica, e estaríamos tendo uma ideia errada dele se o utilizássemos para garantir fatos fundamentais”[192].

Silva coloca que, para Comte, a Geometria analítica era a parte mais importante da Matemática, por representar a combinação de um modelo de método e sua aplicação, a combinação de empirismo e lógica: “A Geometria vem do empirismo e o Cálculo ou a Álgebra é pura lógica [...], existe uma harmonia quase perfeita nessa relação entre Álgebra e Geometria”[193].

Um exemplo dessa influência positivista no Brasil, surgiu em uma das entrevistas que realizei.

> Eu ingressei no curso de engenharia em Porto Alegre, [hoje Universidade Federal do Rio Grande do Sul] [...], em 1956, e basicamente a matemática que eu tive foi uma disciplina de Geometria Analítica e outra de Cálculo. O resto depois foram outras disciplinas já de Mecânica, coisas aplicadas. [...]. Eu fico até com pena dos alunos de hoje, da quantidade de coisas que a gente manda eles estudarem, que naquele tempo não se estudava. Por exemplo, meu curso de Cálculo era um curso de Cálculo Diferencial e Integral, no qual se ouvia falar que Equações Diferenciais eram importantes, mas não se sabia o que que era. Às vezes, nas férias um professor dava um cursinho de Equações Diferenciais, que era para resolver coisas mais simples, mas não se tinha nenhuma aplicação no curso de Matemática que exigisse Equação Diferencial; era Cálculo Integral, no máximo alguns gráficos e a Geometria Analítica era feita, inclusive, sem vetores: era feita na base de coordenadas, não tinha nada vetorial. Mas havia, na escola de engenharia, aquela ideologia positivista de que primeiro se faz a teoria e depois se faz a aplicação na prática. Então eu me movi por essa ideologia positivista [...]. Eu fiz engenharia civil e elétrica. [...]
> Eu acho que essa coisa da engenharia pôr a matemática como fundamento foi a falácia em que eu caí quando entrei na engenharia, porque era positivismo. Rio Grande do Sul era dominado pelo Júlio de Castilhos, Borges de Medeiros, era positivista. [...]. A matemática era a rainha das ciências no positivismo, [...] era o fundamento. [...] provavelmente eu fui contaminado por essa ideia durante um tempo e quando eu me insatisfiz com o resultado – devia ser fundamento, mas o fundamento era mal feito, porque a matemática era dada de maneira insuficiente para ser fundamento daquilo tudo –, aí eu larguei a engenharia, larguei a ideia de ser engenheiro e passei para a ideia de ser matemático, “eu quero ver quais os fundamentos disso”. [Isso] está ligado com a minha trajetória, quer dizer, foi por um descontentamento de que a matemática pudesse ser fundamento que me levou a estudar mais matemática, exatamente para que ela pudesse eventualmente ser fundamento, hoje eu passei da matemática para educação matemática, e reconheço que ela poderia jamais ter sido um fundamento, foi uma ilusão minha durante um tempo [...]. (Baldino).[194]

[192] SILVA, 1999, p. 146.
[193] Ibid., p. 206.
[194] Entrevista realizada com o Professor Doutor Roberto Ribeiro Baldino, no dia 03 de maio de 2014. Irei me referir a este entrevistado por Baldino, no restante da tese.

O positivismo de Comte teve um declínio do Brasil, por volta de 1882[195]. Por ser antimetafísico, o positivismo foi de encontro à religião oficial no país (catolicismo), gerando várias manifestações de repúdio a ele. Os erros encontrados na Matemática de Comte também contribuíram para o declínio do positivismo. Ainda assim, podemos ver a valorização das disciplinas de Geometria Analítica e de Cálculo Diferencial e Integral nos cursos de engenharia no Brasil.

Nas entrevistas que eu realizei, várias foram as falas de que tudo na vida do engenheiro tem matemática. Em uma conversa informal com uma pessoa da engenharia, ela chegou a se irritar quando eu tentei aprofundar a discussão sobre matemática na prática profissional dela. Para esta pessoa, não haveria a possibilidade de ela ter feito tudo o que fez se não tivesse a matemática, pois não tem como nem falar em dados sem usar números. Disso se vê o poder que a matemática assume nas práticas, colocando-se em uma posição privilegiada para o conhecimento da sociedade e da natureza. "É como se o selo da incontestabilidade houvesse sido oficialmente impresso na proposição matemática. Ou seja: 'Disputai outras coisas; *isso* é firme, é uma dobradiça sobre a qual a vossa disputa pode girar'"[196].

Para Wittgenstein[197], a possibilidade de as proposições matemáticas serem petrificadas, é a mesma para as proposições empíricas ou proposições do tipo "Eu me chamo...", por serem inabaláveis por pessoas que têm evidência esmagadora delas e por faltarem motivos para duvidar delas. Isso não decorre de uma falta de raciocínio, e sim do fato de que não temos de ceder a qualquer evidência contrária, por elas serem convencionalmente aceitas e formarem o pano de fundo de nossas vivências. O que não significa que essas proposições fiquem solidificadas o tempo todo, pois os usos que fazemos delas podem colocá-las em movimento. Evidências, convencimentos, convenções, crenças fazem parte dos jogos de linguagem, é uma característica deles.

A proposição matemática "é obtida por meio de uma série de ações que não são de modo algum diferentes das ações do resto da vida e estão igualmente sujeitas ao esquecimento, à negligência, ao equívoco"[198]. Se isso ocorre, como

---

[195] SILVA, 1999.
[196] WITTGENSTEIN, 2012, p. 355, §655.
[197] Ibid., §657.
[198] Ibid., §651.

colocamos, ainda assim, a matemática, as proposições matemáticas, como fundamento de algo, de um curso de graduação?

> [...] matemática como fundamento da maneira de pensar sim, agora matemática como fundamento da engenharia, [se] a engenharia tiver um fundamento puramente matemático, como é que fica o mundo? [...] não tem como. A engenharia seria redutível à matemática. [...] não tem como, quer dizer, na engenharia você vai ter que lidar com o mundo, você vai ter que modelar. O fundamento não está na matemática. Aí a matemática vai nesse sentido de ferramenta, [...] como uma teoria que você vai usar para modelar, mas não como fundamento. O que seria a matemática como fundamento? Que a matemática poderia ser como fundamento do quê? [...] o que estaria fundado na matemática? Nada mais que a própria matemática. [...] a engenharia vai estar fundada na relação do homem com o mundo, da sociedade toda. O engenheiro tem que estar resolvendo problemas, tem que estar ligado ao mundo. A matemática é uma maneira dele acessar isso, nesse sentido mais como ferramenta e aí eu concordaria [em ver a matemática] como ferramenta no sentido geral, é mais no sentido de você usar alguma coisa, um modelo, uma maneira de pensar para tentar entender uma realidade. [...]. A engenharia tem que estar ligada com o mundo, com a economia também, o engenheiro que não pensar em termos econômicos não faz engenharia, pode arranjar uma solução maravilhosa que custa muito caro ou que não tem valor nenhum. (Baldino).

A questão do fundamento pode gerar outra: se a matemática é vista como um fundamento, o que fundamenta o fundamento? Essa questão moveu filósofos da matemática, principalmente das últimas décadas do século XIX até as primeiras do século XX, para tentar solucionar a 'crise dos fundamentos da matemática' "desencadeada por uma série de paradoxos – alguns reais, outros aparentes – descobertos na teoria dos conjuntos e na lógica que pareciam por em questão a confiabilidade dos métodos matemáticos"[199].

Wittgenstein teve considerável interesse pela filosofia da matemática, tanto que a segunda parte das Investigações Filosóficas[200] seria sobre esse tema, mas não se sabe, de acordo com Engelman[201], o que o levou a abandonar esse projeto.

Há uma série de divergências sobre leituras dos escritos de Wittgenstein e de sua filosofia da matemática[202]. Alguns autores o apontam como um construtivista, outros não. Outros autores contestam uma visão de que a filosofia da matemática de Wittgenstein caracteriza-se por situar-se entre a defesa da objetividade das verdades

[199] SILVA, 2007, p. 26-27.
[200] WITTGENSTEIN, 2009.
[201] ENGELMAN, 2009.
[202] WRIGLEY (1977), DUMMETT (1959), GERRARD (1991) e ENGELMAN (2009)

matemáticas (platonismo, Frege e Hardy) e a negação desta objetividade. Wrigley diz que:

> Além de compartilhar a concepção de filosofia da matemática como uma atividade crítica e de revisão, os logicistas, os formalistas e os intuicionistas também compartilharam uma imagem de matemática como uma única estrutura homogênea e sólida (uniforme). Em contraste a isso, Wittgenstein enfatiza que os cálculos que constituem a matemática são extremamente diversos e heterogêneos – o que ele chama "motley" (variedade) da matemática. Desde que a filosofia é uma atividade descritiva, isso deveria fazer justiça a este fato sobre matemática.[203]

Wittgenstein se distingue das posições das escolas hegemônicas da filosofia da matemática do século XX, "que se encontram unidas pela ideia de que as proposições matemáticas se referem a algum tipo de realidade, seja a signos físicos (formalismo), seja a processos mentais (intuicionismo) ou entidades abstratas (logicismo)".[204]

> Wittgenstein não somente discorda dessas três diferentes escolas, como também questiona toda empreitada em relação à qual elas representam contribuições alternativas: a tentativa de fornecer à matemática fundamentos seguros.[205]

Sobre a fundamentação da matemática, Wittgenstein diz:

> Para quê a matemática precisa de uma fundamentação? Ela necessita tão pouco, creio, como as proposições que tratam de objetos físicos ou as que tratam de impressões dos sentidos necessitam de uma análise. Embora necessitem, sim, tanto as proposições matemáticas como as outras, de uma clarificação de sua gramática. Os problemas matemáticos a respeito do que se denomina fundamentos são para nós a base da matemática tão pouco quanto a rocha pintada sustenta um castelo pintado.[206]

Wittgenstein também diz: "Na base da crença fundamentada está a crença não fundamentada"[207] e isso gera uma dificuldade que é "reconhecer a não-fundamentação da nossa crença"[208]. Por exemplo, os matemáticos utilizam axiomas como fundamentação de suas teorias, e o que eles são? Eles são o ponto de partida

---

[203] WRIGLEY, 1977, p. 58.
[204] GLOCK, 1998, p. 243.
[205] Ibid., p. 245.
[206] WITTGENSTEIN, 1978, VII, §16.
[207] WITTGENSTEIN, 2012, p. 199, §253.
[208] Ibid., §166

do fazer dos matemáticos, não são fundamentados, requerem uma crença, requerem que sejam aceitos, por mais que possam parecer estranhos. Exemplificando,

> O axioma da escolha diz que, dado qualquer conjunto, você pode escolher um elemento. Com esse axioma, podemos pegar uma laranja[209], dividir em várias partes e formar duas laranjas com a laranja que foi pega. Isso não é brincar de Deus? Mas a gente aceita, suporta e toca a vida.[210]

O "a gente" da fala acima, são os matemáticos, a comunidade de matemáticos que aceitaram o axioma da escolha e o tornaram o substrato para a produção de suas teorias e teorizações. Axiomas, definições e teoremas também se tornam substratos para fazeres acadêmicos da engenharia. Eu já mencionei o entrevistado Marcelo, do CENPES. Ele é engenheiro eletricista, com mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG e doutorado em Engenharia de Automação e Sistemas pela UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina)[211]. No doutorado dele, concluído em 2013, ele trabalhou com controlador multivariável, propondo estratégia distribuída:

> A ideia era que a gente fizesse controladores menores em vez de um grande controlador e eles se comunicassem e esse conjunto de controladores menores se comportasse como se fosse um grande porque é mais fácil você fazer menores do que fazer um grande. Inicialmente você poderia fazer um menor, um a um mês depois, [outro] um ano depois e juntar. Você pode programar melhor esse desenvolvimento. (Marcelo)

A vantagem do controlador multivariável se dá pelo fato de haver controladores que não pegam as interações de uma planta,

> é *single loop*: tem uma medição e uma atuação, só que essa atuação aqui, influencia aqui, essa vazão influencia nessa temperatura, essa temperatura influencia nessa pressão. Para otimizar essa planta, para que ela fique mais estável, você tem que tomar conta das interações que existem, [...]. Então a gente precisa de um controlador multivariável que pegue, que lê muitas variáveis e atue em outras variáveis. (Marcelo)

---

[209] Disponvel em: http://en.wikipedia.org/wiki/Banach%E2%80%93Tarski_paradox. Acesso em: 04 de setembro de 2015.

[210] Essa fala é do Professor Doutor José Claudinei Ferreira, da Universidade Federal de Uberlândia/Faculdade de Matemática (UFU/FAMAT), em um contexto de conversa informal comigo.

[211] Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/122752/325382.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 04 de setembro de 2015.

Os controladores multivariáveis podem ser aplicáveis em qualquer processo, “mas tem que estudar o processo, porque tem que definir o modelo do processo [...]. Geralmente a gente aplica testes na planta [...], aí você tem uma relação de causa e efeito e existe um modelo que *linca* essas coisas”. (Marcelo).

O que isso tudo tem a ver com a discussão de axiomas, definições e teoremas serem substratos para fazeres na engenharia? É que, no doutorado de Marcelo, ele teve que provar, usando matemática, que o controlador dele nunca instabiliza[212], como você pode ver no trecho abaixo da entrevista.

Rejane: Então seu doutorado foi isso. Usou bastante matemática?

Marcelo: Foi. [...]. Aí vem a questão acadêmica mesmo, no caso do acadêmico a gente tem que provar coisas. [...] O caso do controlador mesmo, o controlador multivariável, ele primeiro foi proposto por um cara de indústria. Acho que inicialmente não levaram em consideração as restrições, porque aí o problema de otimização ficava mais simples, mas, por exemplo, ele não se preocupava em provar estabilidade. Ele colocava o controlador lá e o controlador, ao invés dele estabilizar sua planta, podia fazer com que as variáveis instabilizassem, mas só que na prática o que ele fazia era sintonizar para que isso não acontecesse. Ele não conseguia, não tinha como dizer, ele não provava que em todos os casos a instabilização nunca ia acontecer. Não provava, mas para fins práticos estava bom, porque na prática ele não observava isso. Mas, na academia não basta você propor, você tem que provar que seu controlador não instabiliza do jeito nenhum. O requisito acadêmico é outro, é muito mais matemático e baseado muito em prova. Então, você prova que o seu controlador não instabiliza e aí não instabiliza nunca para aquelas condições lá de controle. [...]. Então, é... existe essa diferença.

Rejane: E lá você teve que provar que o seu...

M: Lá eu tive que provar que meu controlador nunca instabiliza [...]. Você vai para a academia e tem que provar que estabiliza. Para provar que estabiliza a pessoa acaba colocando algumas restrições, fazendo algumas considerações que diminuem a aplicabilidade. Eu tenho que adicionar uma restrição que não existia, uma restrição matemática. [...]. A gente tem vários controladores rodando por aí, inclusive tem um grupo na outra gerência que trabalha exclusivamente para isso, fazendo, implantando controladores multivariáveis e aí tem trabalho com universidade [também], porque melhor se a gente tiver um controlador com garantia de estabilidade. Então a gente vai buscando isso. Só que muitas vezes o controlador com garantia de estabilidade é muito restrito, então a gente vai tentando ampliar os...

Rejane: Eu estou tentando entender, por exemplo, para o controlador estar funcionando, para que ele não tenha esse problema de instabilidade você vai lá e coloca uma restrição. Que tipo de restrição seria essa?

---

[212] Marcelo explica que um controlador instabiliza quando o modelo que foi desenhado é muito diferente do modelo real, ou seja, quando um modelo feito não representa muito bem a planta.

Marcelo: No caso específico do controlador multivariável, a restrição comum é definir uma... É difícil falar isso sem falar mais do controlador multivariável, [...]. O que o controlador multivariável faz? Ele tendo o modelo da planta, ele sabe como vai ser a unidade lá na frente. Ele faz esse raciocínio porque ele sabe o modelo, ele sabe que se ele colocar as ações assim assado, num horizonte de tempo, como a unidade vai responder, justamente porque tem o modelo. Então, ele projeta lá para o futuro como vai estar a unidade. O que o controlador, com garantia de estabilidade, faz é obrigar ele a projetar uma trajetória que termine num conjunto que garanta que ele é estável. Por exemplo, vamos supor que o ponto de equilíbrio estável é x=0. Ele projeta um caminho para o controlador, para que o x, lá no futuro, seja igual a zero. É algo mais ou menos assim. É difícil explicar essas coisas assim sem conhecer o controlador multivariável, falar assim de maneira que as pessoas entendam, justamente porque existe uma matemática pesada por trás disso. Por exemplo, essa questão de provar estabilidade. As pessoas já usavam o controlador e a prova de estabilidade só veio depois porque era um certo desafio provar, até que alguém achou um caminho. Agora todo mundo usa esse mesmo caminho [risos]. Esse caminho é uma estratégia, [...], chamada de restrição terminal, é você levar a planta para uma região que você conheça, naquela região, um controlador que estabiliza e, uma vez a planta estando naquela região, você [inaudível] aquele controlador que estabiliza. O caminho é mais ou menos esse, mas é muito difícil, só falando, explicar. Mas enfim, envolve matemática, envolve um problema de otimização e existem provas matemáticas e tudo mais.

Voltando à questão da matemática como fundamento, se o fundamento do fundamento repousa num não fundamento, como pode a matemática, ainda, possuir uma posição central em cursos de graduação em engenharia, pesquisas e fazeres profissionais de engenharia?

Para Wittgenstein: “O pedestal, sobre o qual, para nós, está a matemática, se tem conseguido graças ao papel concreto que suas proposições desempenham em nossos jogos de linguagem”[213], em particular nos jogos de linguagem da engenharia. Calcular é uma prática recorrente na engenharia, há métodos e métodos matemáticos que os engenheiros usam, por exemplo, para calcular os parâmetros de sintonia de um controlador. Nesses cálculos, e em cálculos como 2+2=4, as pessoas acreditam que os números escritos no papel ou inseridos em algum *software* não vão mudar de repente, e essa certeza é levada para os modos como os resultados são lidos e o modo como as pessoas lidam com os números.

Problematizar a matemática como base ou fundamento para os cursos de engenharia, não significa ignorar o poder que a matemática desempenha em nossas vidas, mas tentar entender como esse poder e a força dele influenciam a formação de

[213] WITTGENSTEIN, 1978, VII, §6.

engenheiros e as práticas profissionais deles. Problematizar também ajuda a olhar em outras direções que colocam outros aspectos a se levar em consideração.

> [...] quando está só na matemática [...] você operacionaliza 2+2 e dá 4; você tem total confiança de que esses dois operando são dois [...] e [que] o sinal que relacionou eles é de soma. O problema nosso, na engenharia, é o acesso real à informação. Então, por exemplo, o dois que eu vou ter é um dois com uma certeza limitada: eu acho que talvez seja dois. O outro pode ser dois mas, ser dois mesmo eu não tenho certeza absoluta. [...] a consequência dessa soma é que eu tenho que me precaver. Eu não tenho certeza total, certeza inequívoca de que essa conta vai dar isso, porque a natureza das informações sobre as quais eu processo as minhas decisões é uma natureza incerta. Esse é o grande aspecto da prática da engenharia. Por que ela é incerta? Porque eu dependo de intermediários entre mim e o conhecimento, dependo de sensores, sensores dependem de calibração, dependem de um monte de fatores que podem corromper a informação dele. Eu dependo, muitas vezes, de relatos de pessoas e esses relatos podem estar vinculados a outras questões que atrapalham a apropriação do conhecimento. Então, as decisões dos engenheiros são sempre baseadas em informações imprecisas, incertas, e que vão tornar inviável o direcionamento completo dessa ação inequívoca. [...] ele pode tentar prover o máximo de precauções, de modo que as consequências [de suas decisões] possam estar restritas a uma região muito confinada, mas ele sempre vai ter uma certa incerteza a respeito das consequências daquela decisão que ele vai tomar. O grande trabalho dele é confinar as incertezas dessas decisões a níveis bastante restritos, de modo que consequências não sejam graves. O engenheiro está mais para uma atuação probabilística, estocástica, que uma ação puramente matemática [...]. Embora normalmente o engenheiro, no dia a dia, não se dê conta. [...] A natureza da ação dele é uma ação estocástica: ele é um processador de informações incertas. A grande maioria deles não vai perceber essa noção, [...] porque muitas vezes ele lida com informações. Ele vai pegar um simulador de processos, vai rodar ali, o simulador é alimentado com um monte de números, a vazão do petróleo é 1000, a temperatura é 50 [e vários outros] e o simulador vai rodar e produzir números fixos também. A natureza real da incerteza está expropriada daquilo que ele fez, então ele não tem esse *feedback* para perceber a incerteza das decisões, porque muitas vezes ele fica trabalhando com informações que têm aspecto determinístico, quando na verdade não são. (Quelhas)

Problematizar também não significa negar a base ou o fundamento.

> A "base" é importante, mas – pergunto a você – quantas vezes você já se sentou na base do seu prédio? Quantas vezes já varreu ela? Ou, ainda, quantas vezes "olhou diretamente" para ela? Nenhuma, né? Em algum sentido você poderá dizer que eu "uso" a minha base simplesmente porque moro em um prédio assentado sobre ela. Mas isso seria como "usar" a base binária para usar o "computador"…. (Vianna[214])

Problematizar essa base pode ajudar a pensar outras formas de formação. Quando Marcelo estava me falando sobre matemática na folha de um projeto básico

[214] Entrevista realizada com Carlos Roberto Vianna – que chamarei somente por Vianna –, por e-mail, enviado dia 13 de maio de 2014

de uma unidade de tratamento de água ácida, depois de um tempo eu perguntei a ele se as coisas que ele estava me falando vieram da formação universitária dele, dessa base que ele forneceu, e ele respondeu:

> Eu diria que a base da universidade é boa, mas no caso da Petrobras, para trabalhar aqui, para entender isso, eu tive que passar por um curso. Mas só foi possível fazer esse curso porque eu tinha graduação. [...] a gente sai de lá [da graduação] com uma base. Por exemplo, se eu saísse de lá e fosse trabalhar na CEMIG ou então aqui na Light, numa empresa de energia elétrica, talvez eu tivesse saído mais preparado, [...] porque como te disse, me formei em engenheiro eletricista, então se eu fosse para uma área de Engenharia Elétrica, uma empresa de Energia Elétrica, eu estaria mais adaptado, vamos dizer assim. (Marcelo)

Na engenharia, diferentes demandas de trabalho possibilitam o exercício de diferentes atividades profissionais. Essas atividades foram se organizando, se estruturando, a ponto de, para exercê-las, ser necessário a obtenção de um curso de graduação específico. No entanto, as demandas não são estáticas e os cursos acabam se tornando generalistas. Mesmo que uma pessoa tenha um curso de graduação em engenharia, por exemplo, muitas empresas, como é o caso da Petrobras, criam universidades corporativas, movidas pela necessidade de preparar seus profissionais para uma realidade específica: a realidade da empresa.

Um engenheiro que entrou no cargo de engenheiro de equipamentos (eletrônica) da Petrobras pode ir para uma refinaria ou para outras áreas de negócio da empresa, o que significa desempenhar diferentes funções e, se na Petrobras “já é difícil prever onde o engenheiro vai trabalhar, porque a empresa é muito grande, na universidade é pior ainda” (Quelhas). E por ser pior, acaba que um curso de graduação em engenharia se mantém generalista, com uma estrutura que divide as disciplinas em básicas, profissionalizantes e específicas, e forma engenheiros que, dependendo da atuação deles, podem trabalhar em determinada área, mesmo não tendo afinidade com ela. Um exemplo disso pode ser visto no seguinte trecho de entrevista.

> Eu sou formado em Engenharia de Computação, [...]. Em 2010 teve concurso para REFAP [Refinaria Alberto Pasqulini]. Eu fiz, mas só fui chamado em 2012. [...]. Eu entrei no último concurso que teve especificamente para a REFAP (que era outra empresa, era uma subsidiária do sistema Petrobras) antes dela voltar a ser parte da Petrobras. [...]. Me chamaram logo antes de reincorporarem a empresa ao sistema Petrobras. A REFAP admitiu o pessoal e não tinha o curso de formação, porque não tinha UP, eram coisas separadas. [...]. Eu tive cursos mais da parte de RH, no início, ambientação, e depois fiquei um tempo junto com os técnicos de manutenção. [...]. Fiquei quase dois meses na manutenção, acompanhando os técnicos, indo para

> campo, vendo o que eles faziam. Eu, pelo menos, não conhecia nada de nada, não sabia nada de processo, não sabia nada de instrumentação; eu mal sabia o que era um CLP – Controlador Lógico Programável –, [...], um computador específico para aplicação industrial. Eu sabia só o conceito do que era, nunca tinha visto um CLP. [...]. Foi meio difícil. Como eu não conhecia nada daquilo, ficava difícil saber no que eu tinha que prestar atenção, o que era importante, o que não era. Eu entrava no meio daquele monte de tudo, não conseguia reconhecer o que era o quê. Os instrumentos para mim eram todos iguais, porque todos eles por fora parecem iguais. Eles têm um invólucro para serem protegidos contra explosões, então todos pareciam iguais. [...]. Como formou uma turma do curso de formação e a REFAP historicamente envia quem não tem curso de formação para fazê-lo, ela me convidou e eu aceitei. Durante o ano que fiquei trabalhando lá, antes de vir para o curso de formação, eu cheguei a fazer dois cursos na UP e outros na REFAP mesmo. [...] Eu acho que cheguei lá [na REFAP], depois do curso de formação, com uma visão muito melhor do geral, com uma noção mais ampla do que estou fazendo lá. Não é uma coisa pontual. Antes era "ah, a gente vai lá ver tal instrumento por causa disso e disso". Mas eu ficava me perguntando: "o que é esse instrumento?", "qual é esse processo?", "o que tem antes, o que tem depois?", "por que a gente tem que ver isso?". [...]. Agora, tendo uma visão do todo, se tem alguma coisa que eu não entendo, eu sei o que perguntar ou onde procurar. (Entrevistado X)

As falas do entrevistado X me remetem a outro trecho de entrevista:

> A graduação é muito mais um rito de passagem e disciplina. Há anos a Acácia Kuenzer pesquisa indústrias aqui em Curitiba (e no Brasil) e ela constatou que as empresas não querem – e até pedem que não seja feito! – que as Universidades sequer tentem dar uma "formação prática" para técnicos e engenheiros. Elas dizem: isso nós fazemos dentro da empresa! E, de fato, elas fazem... e fazem muito melhor que a Universidade, pois fazem isso "em ação". Não sei quanto ao curso [da Universidade Petrobras] que você fala, ele pode ser "a barreira final" antes do camarada ingressar na "prática". Penso, sim, que as Universidades devem manter um papel generalista, sem "utopias" de práticas. Mas essa é uma questão muito importante a se discutir, e implica em discutir qual é o papel da Universidade NO PLANETA (não apenas no Brasil ou no mundinho das industrias). É algo semelhante a discutir o papel da ESCOLA. (Vianna).

Então, formar um engenheiro significa um ato de passagem e disciplina? O que significa formar um engenheiro? O que significa uma formação matemática de um engenheiro?

> Formação... E... Forma-ação... E... Formar-a-ação... E...
> Ação de formar? Ação de formar para ação? Uma ação de dar fo(ó)rma, de colocar na fo(ô)rma? Que fo(ó)rma? Que fo(ô)rma? Que formação? Uma fo(ó)rma definitiva, que se constitui a partir da fo(ô)rma, do padrão. Identidade. Formação? Con-formação.[215]

Clarice Lispector diz que:

[215] CLARETO, et al., 2013, p. 399.

> Uma forma contorna o caos, uma forma dá construção à substância amorfa – a visão da carne infinita é a visão dos loucos, mas se eu cortar a carne em pedaços e distribuí-los pelos dias e pelas fomes – então ela não será mais a perdição e a loucura: será de novo a vida humanizada.[216]

Imagine um curso de engenharia sem uma forma. Os estudantes entrariam nesse curso e poderiam fazer o que quisessem, inclusive fazerem nada. Avaliações, notas para aprovação, frequência, disciplinas, estágios, atividades extracurriculares, trabalho de conclusão de curso perderiam suas obrigatoriedades. No final de um tempo estipulado pelos estudantes, cada um obteria um diploma de graduação em Engenharia, na modalidade em que eles se inscreveram ou desejaram. Talvez nem precisasse de um tempo e um diploma, o simples dizer “eu sou engenheiro eletrônico” já o tornaria engenheiro eletrônico. Ou então, imagine um curso de Engenharia como um grande e variado supermercado, no qual os estudantes, em um período de tempo, poderiam escolher o que desejassem e necessitassem para suas formações.

Esses cursos imagináveis de engenharia ainda, pelo o que eu saiba, não existem no Brasil. A forma traz organização a um caos ou a um aparente caos. No Brasil, essa forma não é tão livre; há interesses e regulamentações que são usadas como regras, como normas, que regem os cursos de engenharia.

A questão que fica é se há ou pode haver outras formas culturais de vida humana nas quais os estudantes vivenciam regimes de normatividades diferentes dessa base, principalmente matemática, que os cursos de engenharia fornecem aos estudantes. Um possível exemplo é o da Olin College of Engineering[217].

A Olin College recebeu, em 1997, permissão para poder formar engenheiros, iniciando suas atividades em 2002[218], com o objetivo de ser um importante e constante contribuinte para o avanço da engenharia na América e no mundo. O currículo desta universidade[219] é baseado na ideia de que a engenharia começa com pessoas e termina com pessoas. Os estudantes começam com experiências da engenharia assim que ingressam, trabalhando em projetos, resolução de problemas, por meio de trabalho interdisciplinar e colaborativo. Há um único departamento no qual estão professores da engenharia, matemática, artes e

---

[216] LISPECTOR, 2009, p. 12.
[217] Disponível em: http://www.olin.edu/. Acesso em: 16 de setembro de 2015.
[218] Disponível em: http://www.olin.edu/about/history/. Acesso em: 16 de setembro de 2015.
[219] Disponível em: http://www.olin.edu/academics/curriculum/. Acesso em: 16 de setembro de 2015.

humanidades, empresários, *designers*, cientistas sociais e não é incomum ter aulas ministradas por mais de um professor em diferentes disciplinas, caracterizando-se por uma experiência acadêmica integrada.

Para a Olin College, as disciplinas de matemática e ciência servem a dois propósitos: fornecer aos estudantes um entendimento das ideias profundas e precisas, que as caracterizam, e ensinar suas ideias e técnicas fundamentais, cujas aplicações tornam a engenharia possível. Por isso, os estudantes começam com a disciplina de Modelagem e Simulação do Mundo Físico e continuam sua experiência com a matemática com disciplinas integradas de Cálculo Vetorial, Álgebra Linear, Equações Diferenciais e Probabilidade e Estatística. Disciplinas adicionais de matemática podem ser feitas de acordo com um programa particular de estudos dos alunos.[220]

Ainda não ficou claro para mim o que o termo “disciplinas integradas” significa; se elas são integradas dentro da matemática ou com outras disciplinas. Na minha leitura, Cálculo Diferencial e Integral talvez não esteja no currículo por ser um assunto que é trabalhado em algumas escolas de Ensino Médio, nos Estados Unidos da América. Apesar de haver disciplinas que não diferem das disciplinas que há nos cursos de engenharia do Brasil, há disciplinas que dificilmente se veem no Brasil, tais como: Cultura e Diferença: uma abordagem antropológica; O que é “eu”?; Identidade da mente e do cérebro; A orquestra dos engenheiros; Seis livros que mudaram o mundo[221].

Uma crítica que a Olin College faz aos cursos tradicionais é que os alunos, interessados em engenharia, gastam os primeiros semestres tendo pré-requisitos em matemática e ciência antes de fazerem qualquer engenharia, e isso os desencoraja.

A crítica que a Olin faz aos currículos tradicionais e o modo como essa universidade tem trabalhado pode abrir caminho para uma possível discussão de um curso de engenharia indisciplinar ou transgressivo. Tomo o termo indisciplinar e transgressivo do livro “Por uma Linguística Aplicada Indisciplinar” organizado por Moita Lopes[222] como algo que desafia o modo disciplinar tradicional de organização do conhecimento, no qual se convive com verdades únicas, transparentes e imutáveis

[220] Disponível em: http://www.olin.edu/course-catalog/goals-pedagogy-and-curriculum/. Acesso em 16 de setembro de 2015.
[221] As disciplinas da Olin College estão disponíveis em: http://www.olin.edu/course-catalog/course-listings/. Acesso em: 17 de setembro de 2015.
[222] MOITA LOPES, 2006.

e contribui para pensar alternativamente a questão da produção de conhecimento por meio de diferentes visões de mundo, ideologias, valores, etc. Visões estas que possuem limitações e são mutáveis e contingentes nesse nosso mundo de grande ebulição sócio-cultural-político-histórica. Nesse possível modo de ver a formação do engenheiro, práticas problematizadoras poderiam ser uma estratégia de educação.

Uma discussão na linha das práticas problematizadoras pode ser vista em Aravena-Reyes, que

> [...] propõe um deslocamento de ênfase para tratar o tema da educação em engenharia. Para tal, [ele] aponta as dificuldades de formar aspectos essenciais dessa profissão, como é o caso da "inventividade técnica", quando a engenharia é entendida como resolução de problemas. Como forma de superação dessas dificuldades, explora-se a ideia da "problematização", num contexto em que, para além de representar uma ação para estabelecer um enunciado que revela uma ruptura com uma vida antecipada (um obstáculo), ela exprime um complexo processo de invenção de novos modos de existência.[223]

Esse autor trabalha mais no sentido da problematização como possibilidade de invenção, inventividade técnica, considerada uma característica fundamental da engenharia e que pode orientar o processo de formação de engenheiros, visando a autonomia dos estudantes por meio de articulação de saberes novos ou tradicionais, inventando problemas e trabalhando não somente com a realidade dada, mas com mundos possíveis.

Ainda não conheço, no Brasil, cursos de engenharia que estejam na direção transgressiva ou indisciplinar de práticas problematizadoras ou trabalhem de modo similar a Olin College. E, mesmo que esses cursos sejam, de certa forma, desconectados de certos tipos de práticas profissionais, sem eles e o registro de diploma no CONFEA/CREAS, as pessoas não poderiam exercer diferentes atividades ditas da área de Engenharia.

Antes de abordar um pouco mais sobre a matemática na formação de engenheiros, apresento, a seguir, o texto baseado na entrevista realizada com o Professor Doutor Niederauer Mastelari, no qual ele falará sobre aspectos relacionados com à formação de engenheiros e sua atuação nesse processo.

---

[223] ARAVENA-REYES, 2014, p. 1.

Um dia a ficha cai, o que era um problema hoje é uma ferramenta, se inventaram alguma coisa que seja melhor que a matemática para expressar nossos problemas eu não sei[224]

Eu fiz o curso de Engenharia Elétrica na Unicamp, o mestrado e o doutorado em Engenharia Mecânica também na Unicamp e atualmente estou como Coordenador do Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Na minha época de graduação, o curso básico era de dois anos, tinha muita matemática. Os Cálculos e as Físicas não davam uma visão de para que aquilo serviria [risos]. Havia uma certa angústia ali, porque a gente via muitas coisas, aqueles teoremas, Teorema de Stokes, aquelas integrais de superfície, rotacionais, divergentes e aquilo não fazia o mínimo de sentido, porque, na verdade, não tinha aplicações práticas.

O engenheiro é muito ligado à aplicação. É próprio do engenheiro querer construir, fazer coisas, e a matemática não é o objetivo: ela é um meio. Quando ela é colocada de forma tão direta, e sem o porquê daquilo, fica muito estranho. Realmente foi uma fase difícil!

Quando a gente chegou à engenharia, também não foi fácil, porque a gente teve contato com os problemas. Mas é dado que você sabia a matemática muito bem. Toda a formulação dos problemas era de forma matemática, usava a linguagem matemática e presumia-se que você tinha um entendimento e domínio daquilo, o que para o aluno não é verdade. Então, a matemática era mais vista como um problema enquanto, na verdade, ela é uma ferramenta. A gente usa ela e se expressa através dela, mas havia muita dúvida, havia muitas brechas, coisas para serem fechadas. Um ou outro parecia que se saia melhor, mas a turma tinha muita dificuldade com a linguagem matemática de todo o processo e eu não me excluía desse pessoal.

Na verdade, o engenheiro recebe muitos conceitos durante o curso e ele vai descobrir o que fazer com isso aí depois. É um pouco estranho, é muito angustiante. Eu acho que se eu fosse um psicólogo eu diria isso [risos], porque você aprende uma coisa e descobre depois onde que aquilo se aplica, como trabalhar com isso. Então, eu fui descobrir muito da utilidade de toda matemática depois que eu fiz mestrado, doutorado, depois que eu entrei na carreira docente. Então, muitos anos depois que a coisa se fechou.

---

[224] Este texto é uma composição baseada na entrevista concedida pelo Prof. Dr. Niederauer Mastelari, no dia 25 de março de 2014. Os três pontos correspondem a pequenas pausas. O que está entre os símbolos [ ] são falas minhas durante a entrevista, ou fala minha que depois será retirada por ser tratar de comentários, dúvidas ou pedidos. As notas de rodapé são inserções minhas.

Hoje, eu vejo assim, o avanço da tecnologia facilita o uso e a aprendizagem da matemática, dos conceitos e da aplicação dos conceitos, porque existem *softwares*. Na minha época não havia tanto *software*. O computador, como a gente conhece, surgiu depois que eu me formei. Eu me formei em 1985.

[*Como eu li sobre a golfada e o projeto sobre esse tema está relacionado à uma empresa petrolífera, como o Senhor diria que as coisas se fecharam neste projeto ou algum projeto que o Senhor queira citar sobre o fechamento desses conceitos em sua vida, inclusive os matemáticos*?]

Antes de entrar no Projeto de Golfadas[225], que é um projeto interdisciplinar, porque envolve mecânica dos fluidos, a gente escreveu um trabalho matemático onde a gente via a possibilidade de otimizar a produção, a partir do desenvolvimento de um sensor de detecção de golfadas.

Primeiro, o poço de petróleo é modelado matematicamente como um sistema de primeira ordem, equações diferenciais que são de primeira ordem. Então, a partir desse modelo eu consigo otimizar ele, aí eu faço um modelo da golfada, período de injeção de acumulação de líquido, tudo isso é feito matematicamente. Tudo formulação matemática. Não sei se você me entende.

O que nos deu argumento para chegar à empresa petrolífera e dizer "isso aqui tem potencial para aumentar a produção de vocês", foi um trabalho formulado matematicamente.

A gente imagina o petróleo como um líquido, né? Mas na verdade é muito mais: ele é uma mistura de hidrocarbonetos, que depende da temperatura e da pressão. Dependendo do estado que ele está, ele toma uma forma diferente. Então, lá perto do poço, em alta pressão e alta temperatura, o petróleo... é difícil descrever. Conforme ele começa a escoar, o gás se desprende do líquido – que nem uma garrafa de Coca-Cola, quando você abre e o gás se separa do líquido – e vai subindo e formando as tais golfadas, que é um regime, um padrão, que se desloca em uma tubulação, vem na forma de líquido e depois, seguindo, vem uma câmara de gás. Se o escoamento estiver na horizontal, o gás vem por cima, então forma esse escoamento

[225] Disponível em: http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4783923T6. Acesso em: 04 de setembro de 2015. Uma das produções deste projeto se encontra em http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000901087. Acesso em 04 de setembro de 2015.

que a gente chama de multifásico: tem areia, tem alguma coisa sólida ali, mas é basicamente líquido e gás.

Na produção de petróleo isso é muito importante, porque o projeto dos risers[226] que são os tubos que ligam o poço de petróleo até a plataforma, tem que levar tudo isso em consideração: o regime que está ali, quais as pressões, as temperaturas.

A gente desenvolveu um sensor, instrumento de medida elétrico que, na verdade, é uma haste que gera um campo elétrico. Ele fica na saída do poço. Basicamente é o seguinte: o líquido tem uma característica elétrica que é diferente do gás. A gente detecta essa diferença, a gente consegue detectar quando é a bolha de gás que está passando ou quando é o cilindro de líquido que está passando e, a partir daí, dá para fazer uma série de inferências, até estimativas de quanto de volume está sendo transportado naquela tubulação e se está havendo ou não algum problema, porque a tubulação pode se fechar, acumular resíduo e se fechar, então... O interessante é que isso é *online*, está ali, você pega aquela informação elétrica, tudo sinal elétrico, transforma em dado, aquilo entra em alguma rede – porque hoje em dia está tudo conectado em rede –, e consegue obter informações de uma produção de uma plataforma.

Esse protótipo de sensor está num poço de terra na Bahia. Aí tem o controlador, que é o que abre e fecha a válvula que injeta um gás e que faz o petróleo sair lá do fundo do poço e vir para a superfície.

Para elevar o petróleo para a superfície você usa o Gas-Lift[227]. O poço tem uma força e forma uma coluna de líquido; você injeta gás na base. Aquele gás funciona como um pistão, empurra aquela coluna de líquido e produz.

A gente percebeu que, a partir do sensor, conseguia orientar o sistema a otimizar a produção de um poço. Tínhamos o sensor desenvolvido, um sensor que mede o escoamento. A partir dele, se consegue otimizar a produção, porque nessas regiões esse gás não é um recurso ilimitado. É sempre assim, você quer extrair o máximo de petróleo no tempo. Então, tem toda uma teoria atrás, de tal forma que, abrindo e fechando a válvula de Gas-lift, você pode dar períodos maiores e produzir golfadas maiores ou produzir golfadas menores no tempo para tirar menos petróleo por vez, porém em maior número de vezes. Qual é a melhor estratégia?

---

[226] Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAejF0AC/risers. Acesso em 06 de setembro de 2015.

[227] Gas-Lift "é um método de elevação artificial que utiliza a energia contida em gás comprimido para elevar fluidos (óleo e/ou gás) até a superfície. O gás é utilizado para gaseificar a coluna de fluido (gas-lift contínuo) ou simplesmente para deslocá-la (gas-lift intermitente) de uma determinada profundidade até a superfície. É um método muito versátil em termos de vazão (1 a 1700 m^3/d), de profundidade (até 2600 metros, dependendo da pressão do gás de injeção), e é propício para poços que produzem fluidos com alto teor de areia, elevada razão gás-líquido, além de exigir investimentos relativamente baixos para poços profundos". (THOMAS, 2013)

Com o desenvolvimento do sensor, consegue-se estimar a produção, medir quanto está produzindo e fazer o sistema ir caminhando para o lugar do ponto ótimo, “ah, eu vejo que se eu tirar mais golfadas no tempo, mesmo sendo golfadas menores, eu aumento a produção”. Eu vou medindo a produção, “vou aumentar o período”, vai aumentando e chega uma hora que começa a cair, porque passou do ótimo. Com o desenvolvimento do sensor pode-se entrar em um processo de otimização.

Você tinha perguntado, lá no começo, como integrar; agora a gente integra esses conhecimentos todos de controlador, sensor, circuito elétrico, eletrônica, mecânica dos fluidos, otimização. Então, hoje, agora, depois de muito, muito tempo, a gente tem uma visão mais integrada e aplicada da matemática, agora faz sentido.

[*Aí vocês entraram com a ideia na empresa petrolífera e foi aceita*.]

É... eles concordaram que aquilo lá... aquela ideia de otimizar o processo... que é um pouco intuitiva também, mas eles viram o potencial do projeto.

Eu acho que a todo momento eles sabiam que aquele processo lá (produção por Gas-lift) podia ser otimizado e que não era otimizado. Os operadores, simplesmente, no início da produção configuravam um tempo de injeção de gás, “ah, injeto um minuto de gás a cada quinze minutos”. Isso aí está dando uma produção, mas ela é a melhor? Havia esse questionamento. “Não dá para fazer melhor com isso? Injetando mais gás ou diminuindo gás, qual o custo dessa injeção?” Tem um custo nisso tudo aí. Intuitivamente, o pessoal dessa empresa percebia que é possível otimizar, era preciso ter muita sorte para o processo estar no ponto ótimo, mas existia a dúvida e a possibilidade de ter muito azar e do processo estar no ponto de mínimo, o provável era não estar no ótimo.

[*Agora eu vou fazer uma pergunta de curiosidade, já fugi do roteiro: o ponto ótimo que para eles era intuitivo teve semelhança com os estudos de vocês ou não? Ou eles viram que algo que era intuitivo, agora é mais fundamentado ou, digamos assim, agora tem mais dados, parâmetros, para falar de um ponto ótimo?*]

Olha, a partir dessa questão, a gente começou a aprofundar. Por exemplo, uma coisa que a gente não levou em consideração, no início, é que o gás tem um custo. Depois que a gente começou a conversar com o pessoal da Empresa de Petróleo, “ah, a gente tem o recurso e é só ir lá e injetar gás”, mas eles falaram “não, o gás para a gente tem um custo porque o gás é

vendido". Então, o programa começa a ter nuances, ganha mais detalhes. A princípio nosso ótimo seria assim: "vamos produzir a maior quantidade de petróleo, tirar a maior quantidade de líquido lá do fundo e...", aí eles falaram "é... mas a gente quer que tire a maior quantidade de líquido, mas usando o mínimo de gás possível". Não sei se foi nesse sentido sua pergunta...

[*É... eu quis perguntar assim, o que eles faziam intuitivamente era uma regra para eles e quando veio o sensor e começou a medir, a gerar um monte de informações ali, ele também vai dizer algo ótimo. Mas como a Empresa de Petróleo não quer ter lucro cessante, mesmo eles agindo intuitivamente, o negócio deles era estar no ponto ótimo e o que eu quis dizer é se esse intuitivo deles estava ou não de acordo com esse ponto ótimo de vocês, que foi gerado a partir de mais informações.*]

Eu vejo que sim, eu vejo um processo que tende ao refinamento. Eles tinham atingido um ótimo lá; aquilo que eles faziam é muito bem feito. Em nenhum momento a gente questionou. Eles iam lá e faziam as medições deles, só que dava muito mais trabalho do que com o sensor. Eles achavam lá "ah não, o bom aqui é a cada quinze minutos injeta um minuto de gás aqui", por exemplo. Aí eles achavam aquele ponto de trabalho, mas eles ficavam congelados no tempo, e sempre havia o questionamento: "será que a produção ainda está no ótimo, realmente está no ótimo?".

Quando a gente coloca um sensor lá, ele fornece mais informação, você conhece mais sobre o processo e ele pode atingir uma melhoria. Eu vejo assim: de um ótimo a gente passa para um outro ótimo que sofreu uma melhoria. E ele é mais fácil, ele é automatizado, o custo dele direto de mão de obra, de...

Na área de petróleo é tudo muito caro, tudo é muito grande, é longe, tem uma logística louquíssima para se chegar lá, muito campo. Uma coisa é fazer no laboratório, outra coisa é se trabalhar no campo: lá não tem uma tomada que você possa ligar seu equipamento. Quando você consegue automatizar um processo para uma empresa dessas é uma conquista muito grande, a gente leva a automação, que proporciona diminuição do custo da informação e aumento de produção.

Quando se colocou o sensor, o sistema de automação ficou mais robusto. O sensor passa a guiar, ele mede o que está saindo do poço. Antes eles usavam cartas de pressão, eles faziam uma medição, mas não era tão... Essas cartas de pressão, na verdade, eram sensores de pressão que, quando a golfada passava pela saída do poço, formava uma curva. A pressão mudava: ela subia, depois descia. Então, existem essas cartas, parecem umas ondinhas, que a

gente estudou. No entanto, eles não usavam eficazmente essas cartas, elas eram mais para manter um histórico do que para controle do processo.

Eles já tinham instalado os controladores, eles têm as válvulas, tem os medidores de pressão, tanto na saída, quanto lá embaixo. São duas pressões: uma na saída do poço e uma que eles chamam de revestimento do poço de petróleo. É assim: você tem o poço, que saí aqui o óleo [Figura 14]. Isso aqui são dois quilômetros [risos], que é um poço que eles acham pequeno. E o que eles fazem aqui? O gás é injetado em alta pressão, é feita uma medida de pressão p1 e p2, o que eles mediam era a pressão na saída da tubulação [p1] e a pressão aqui na coluna de produção [p2], essa pressão aqui... é do encamisamento, é uma coluna que vem em volta da coluna de produção e essa válvula abre automaticamente, de acordo com um determinado valor que está associado à altura da coluna e pressão do gás. Então, quando tem determinada coluna e determinada pressão, ela abre automaticamente e o óleo que está no fundo do poço vem para a superfície. Eles mediam essas pressões, havia o controlador que fazia a abertura de válvula aqui, mas não havia uma utilização disso. Colocamos o sensor na saída, aí esse sensor passa a orientar o controlador, que também se chama CLP [Controlador Lógico Programável], que passou a controlar a válvula de gás, e pode-se otimizar o processo. Então é isso aí o projeto.

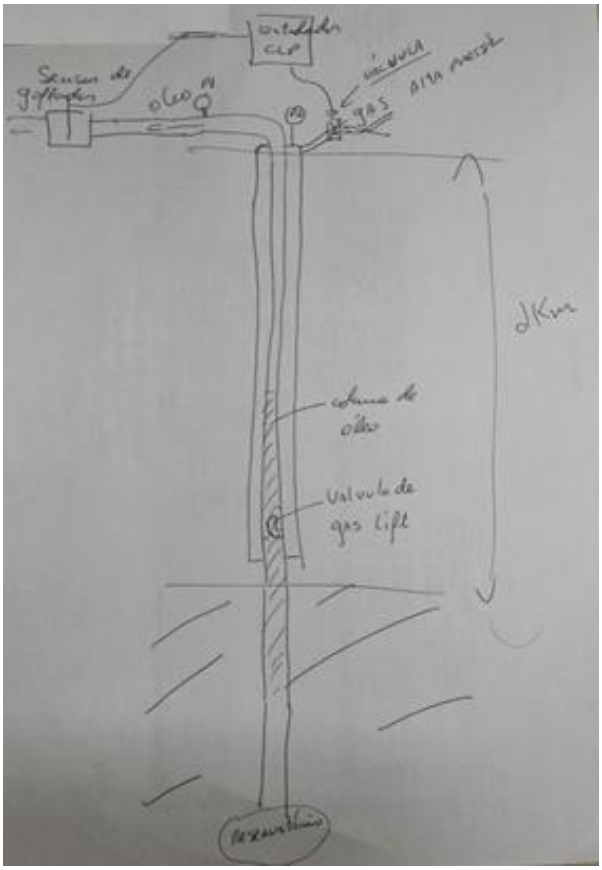


Figura 14. Desenho explicativo do projeto de golfadas

[*Agora vamos falar do curso: que disciplinas leciona?*]

Eu leciono Eletrônica para Automação Industrial (ES663), que tem o Laboratório ES664 (Laboratório de Eletrônica para Automação Industrial), e já dei várias vezes Instrumentação. Basicamente são essas, e ES916 (Redes para Automação), que é uma disciplina eletiva.

[*Vou misturar a parte de docência com coordenação de curso. Eu fiz uma montagem das disciplinas do curso e fiz o exercício de olhar para as disciplinas e quais dependem das disciplinas de matemática. Após ir filtrando, vemos que a maioria das disciplinas acaba dependendo de Cálculo I e Geometria Analítica e Vetores. Se tirar elas, o que ficaria? Como o Senhor vê essas disciplinas de matemática no curso e, quando eu faço essa montagem, o que vem para o Senhor?*]

É a base, né Rejane? Eu acho que Cálculo I e GA, para a engenharia, nossa, é... É como você descreveu, todas elas, na verdade, acabam convergindo para essas disciplinas aí que junto com as físicas básicas formam a base mesmo. Tem até esse nome: são as disciplinas básicas.

Voltando lá, na minha experiência como aluno, se a gente tivesse, mas eu não sei se isso é possível, problemas de engenharia mais simplificados – que nem o poço de petróleo que a gente modelou como um sistema de primeira ordem – sendo usados lá na matemática, o curso de matemática ficaria mais, em termos didáticos, mais interessante. Não que não sejam interessantes. Quando eu fiz o curso de Cálculo, achei muito legal, gostei de Cálculo I, II, mas muitas coisas que eram dadas, da matemática, a gente ficou meio sem saber para que aprendeu os conceitos. Quando chegamos na engenharia, teve um salto, não foi uma coisa muito linear. O pessoal fala que uma coisa linear é uma coisa meio quadrada [risos], mas foi um salto que para o aluno é difícil. Eu acho que hoje ainda tem esse salto sim, continua, acho que não mudou muito não.

[*E nas suas disciplinas? Por que essas disciplinas têm como pré-requisito o Cálculo? Como ele aparece?*]

A linguagem que a gente usa em sala de aula é uma linguagem matemática. Os problemas são formulados matematicamente. Todo aquele ferramental, lá da matemática, a

gente usa direto na sala de aula. Quem olha uma aula de eletrônica e uma aula de cálculo pode, dependendo do jeito que você olha, não achar muita diferença.

Estou dando essa disciplina Eletrônica para Automação Industrial, que basicamente é assim: eu tenho máquinas, motores, e quero calcular esses motores. Eu preciso mandar potência para eles e, para isso, eu tenho os conversores, que transformam a energia da rede, que está na forma senoidal – começa aí a matemática – e a joga para um motor elétrico de corrente contínua, por exemplo. Então, pega a potência elétrica que tem uma forma e joga a potência para o motor de outra forma, no meio tem um conversor que faz isso aí. Toda teoria do conversor usa integral. O valor médio da potência que está entrando é uma integral, você faz a integral lá. Você vai disparar o tiristor – ele é disparado em um ângulo alfa que vai até π – e aí você faz a integração e acha o valor médio, valor RMS, também outra integral. Tem a fórmula lá, raiz quadrada do período da integral da função ao quadrado, e...

O motor elétrico é formulado através de duas equações: a equação do torque e a equação da força contra-eletromotriz. Então, o que é o motor? O motor acaba virando duas equações. Trabalho isso direto. Os nossos alunos têm uma boa base matemática – essa é a grande vantagem –, e eu tento, na verdade, e eu acho que as vezes consigo, fechar um pouco esse ciclo. Muitas coisas que eles viram lá no Cálculo eles falam "ah, agora estou aplicando aqui".

[*Eu até trouxe um exemplo. Eu tinha lido uma reportagem sobre o problema das disciplinas básicas no curso de engenharia. Nos Estados Unidos tem a Olin College of Engineering*[228] *que critica o modelo de pré-requisitos. É um curso que começa com pessoas e termina com pessoas. Nos primeiros semestres os alunos já têm experiências em muitas áreas de engenharia. É um ensino baseado no trabalho colaborativo e na interdisciplinaridade, e os professores não se dividem de forma departamental.*]

Eu vejo assim: é um outro paradigma, eles até falam aqui: baseado na ideia de que a engenharia parte das pessoas e termina com as pessoas. É uma abordagem interessante. Eu teria que ler com calma. Há resultados desse trabalho?

Olha, é muito interessante a abordagem, eu gostaria de ler... porque é muito radical, muda muita coisa, mas assim, precisaria ver os resultados dela, se a gente tivesse como aferir,

[228] Disponível em: http://www.olin.edu/academics/curriculum/. Acesso em: 17 de setembro de 2015.

pegar uma escola convencional e uma escola que usa essa filosofia e ver a comparação dos resultados... seria muito legal.

Quando eu fiz o doutorado, eu não sei se era mestrado ou doutorado, uma vez o professor falou... achei meio forte, mas ele dizia assim, “o engenheiro é um cara que tem um martelo e sai procurando um prego para bater” [risos], que é bem isso.

Na verdade, o pessoal (da *Olin College)* inverte um pouco a questão, partem do problema. Aqui a gente ensina as ferramentas e as pessoas saem procurando no mundo onde é que vão usar essas ferramentas e no exemplo que você trouxe não, tem problemas, descobre os problemas, vê quais são os problemas importantes e aí você vai procurar as ferramentas que você vai ter que aplicar nesse problema. Inverte, né? E eu acho que as duas abordagens são interessantes. Eu não sei dizer qual é a melhor, sinceramente. A segunda eu acho que tem um apelo didático mais forte; eu acho que você mantém e atrai mais o interesse do aluno. Eu vejo que esse é o ponto forte. Eu não estudei o problema, mas olhando de forma rápida, eu acho que o grande impacto dela é essa objetividade: você já traz o aluno, já motiva ele, porque do modo convencional, você leva muito tempo. E, eles estão certos, porque você leva dois anos para chegar nos problemas; fica dois anos aprendendo coisas que você não sabe direito onde vai usar.

Eu consigo imaginar um curso desse aqui, no curso de Engenharia de Controle e Automação. A gente, na verdade, tenta, de certa forma, contornar esse problema dando bastante laboratório, porque o laboratório é isso: você pega o aluno, apresenta os problemas e eles vão ter que resolver. É um pouco essa filosofia, você tem um problema e agora você vai ter que pegar o seu conhecimento e resolver aqui em tantas horas no laboratório e de forma prática. Pode aplicar ferramenta matemática, teórica, é para aplicar, mas é um problema objetivo, prático, aqui e agora, tanto que, na nossa página WEB, a gente fala que é um curso que tem uma grande carga de laboratório, de aulas práticas, que é um pouco o que a gente sente que é importante. Não é um curso tão radical quanto essa proposta, mas é nesse sentido de motivar o aluno, de inverter um pouco a lógica. Então, eu acho que é possível um curso aqui assim. Poderíamos até propor, desde que a gente tenha dados que nos indiquem que essa metodologia é mais eficaz no ensino didaticamente. Com certeza, eu pelo menos seria um que discutiria o assunto e se me convencesse nessa parte de dados, eu toparia fazer esses movimentos de reforma da estrutura sim.

Agora... eu vejo assim, isso não exclui a matemática, viu? Talvez mude ela de lugar ou a forma como ela é dada, mas certamente não exclui[229]. A matemática é ferramenta... é uma linguagem, eu vejo, e é uma linguagem usada na engenharia, eu não vejo outra forma, ou forma melhor. Se inventaram alguma coisa, que seja melhor que a matemática, para expressar esses nossos problemas, eu não sei, eu desconheço, é isso [risos]!

Sobre o que você falou, de não ter a disciplina de matemática, da matemática no contexto de atividades, de resolução de problema, no fim das contas os alunos acabariam pedindo um curso de matemática [risos], eu acho que no fim: "pô, a gente trabalha tanto com esses conceitos, será que não seria bom uma disciplina?". Talvez ela não aparecesse tanto no início, mas para o meio? Não sei... porque em tese a base é a matemática e a física, como seria um curso sem essa base[230]? Normalmente, a gente tem aquela figura de que a base é o que sustenta, é a estrutura, ficaria um curso sem os alicerces, como é isso? Se fosse um prédio ele cairia, mas no caso não é um prédio, não sei... há uma questão aí.

[*As disciplinas de matemática apresentam um problema no curso de Controle e Automação? O curso discute a matemática, como isso tem sido feito, se tem muita reprovação, se não tem, como lida com isso?*]

A matemática é dada pelo Instituto de Matemática, que dá as disciplinas que se chamam disciplinas de serviço. A física, a química, a matemática nos oferecem essas disciplinas. A gente não discute muito, porque a gente entende que eles são melhores matemáticos que a gente. São disciplinas que têm reprovação grande, mas a gente entende também que o pessoal da matemática tem seus argumentos. São argumentos fortes lá, para dar o curso como ele é dado, e a gente respeita, mesmo porque eles estão com essa missão. Mas eu não vejo muito os alunos reclamando não; eles reclamam mais nesse sentido: que é um curso duro, difícil, uma coisa um pouco vaga, essa questão de não ver aplicação "pô, onde eu vou aplicar isso", às vezes fica um pouco obscuro para eles.

---

[229] No link a seguir pode-se ver a listagem das disciplinas que são oferecidas na Olin College of Engineering: http://www.olin.edu/course-catalog/course-listings/. Acesso em: 17 de setembro de 2015.

[230] Até o momento da entrevista com o professor Niederauer, não estava claro para mim como a matemática aparecia na Olin College of Engineering. Pelos links nas notas de rodapé anteriores, pode-se ver que existem disciplinas de matemática no curso. Mesmo não tendo muito claro o funcionamento dessa universidade na época, a ideia foi explorar, durante a entrevista os limites, as possibilidades, de pensar um curso sem as disciplinas de Cálculo ou um curso de engenharia de outra forma.

[*Quais são os maiores problemas do curso hoje, que o Senhor vê no curso de Controle e Automação?*]

Bem, a gente é cobrado por competitividade, de ser um curso competitivo, de formar engenheiros que consigam, na verdade resolver bem os problemas que eles vão encontrar pelo mundo, né... [risos]. É bem isso.

Hoje em dia, tem muito curso extracurricular. Eu não sei se você sabe, mas estão surgindo muitas competições, competições de veículos elétricos, de guerra de robôs que, na verdade, é um pouco a competição dos cursos também, do conhecimento, de como eles aplicam bem esses conceitos. Eu não vejo como um problema, mas a gente tem que melhorar nisso. Torná-lo mais competitivo, esse é um desafio que a gente tem.

A gente ainda tem problema de laboratório, infraestrutura. Os nossos laboratórios ainda não atendem bem os alunos, no sentido de serem laboratórios mais amplos, com acesso aos kits para eles testarem mais. Isso eu vejo como um problema nosso, problema no bom sentido, é uma coisa que a gente tem que melhorar para chegar num estágio que eu consideraria de ótimo, para os alunos aproveitarem bem, mas é uma particularidade. Eu acho que, com o tempo, a gente vai chegar lá, vai ter bons laboratórios.

O nosso curso é de 98, não é muito novo e não é muito antigo. Eu acredito que ele está em formação ainda. A primeira turma entrou em 98, então são 15 anos. Não é aquele curso que está abrindo as portas, mas não é um curso que atingiu a maturidade, eu acredito. A gente ainda tem muito que evoluir.

O pessoal fala que a gente é muito teórico, por incrível que pareça. O aluno que a gente forma vai para o mercado e o mercado vê... Não é uma estatística muito bem elaborada, mas as pessoas às vezes falam isso para a gente, que o curso é muito teórico. Isso tem um pouco a ver com o que a gente estava conversando. O aluno chega para trabalhar com esse ferramental matemático, tal, mas aí vê um controlador e alguém fala para ele "vai lá e faz" e ele não tem tanto conhecimento disso, porque não mexeu muito com isso. Por outro lado, nosso aluno é conhecido por ser um aluno que se "vira" sozinho e que resolve o problema [risos]. Então, bom, né? Esse ferramental matemático ajuda muito o aluno a se virar sozinho e a não se abater facilmente, mesmo não tendo conhecimento, mesmo sendo teórico, não tendo mexido muito na prática.

Tem cursos que formam o aluno na prática. Ele trabalha muito com equipamentos. Então, ele já sai dali "eu sei usar equipamento tal, os controladores tais, as redes tais". Tem cursos que dão um treinamento, são mais treinadores. Neles, o aluno esse perfil mais voltado

para a indústria, vamos dizer assim. A indústria gosta mais desse perfil inicialmente, porque é um cara que já vem treinado, ele consegue colocar esse aluno lá na linha de produção dela. O nosso aluno não tem muito esse perfil. Ele não sai daqui "ah, entendo do equipamento tal". Ele vai ter que sair e aprender a usar as coisas de lá, do ambiente dele, mas por outro lado é um aluno, como um empresário com quem eu conversei disse, que mesmo não conhecendo, ele aprende rápido. É o que eu ouço sobre os nossos alunos.

[*E que também difere desse curso que você está falando que seria um curso mais de utilização de equipamentos... É...*]

Nesses cursos que eu falei, o aluno é quase que treinado, você tem tais e tais equipamentos que usa na indústria. Ele faz esse curso, chega lá, a indústria adora, porque você pega o cara e ele está ali, mas por outro lado a tecnologia muda muito, com o tempo tende a ficar desatualizado, a ter dificuldade, daqui a pouco ele vai ter que mudar de equipamento, de problemas. Não sei se você me entende. Eu acho que ele acompanha a tecnologia, mas talvez ele não tenha tanta facilidade se ele tiver que criar uma tecnologia nova, uma coisa muito diferente de se adaptar a ela, porque este ensino, a meu ver é mais... Não sei como explicar isso, é no sentido de treino, e não tanto de desenvolver coisas novas.

Tem escolas que fazem isso, que são muito boas para pegar os alunos e trabalhar um certo conjunto de problemas e de equipamentos que são usados no mercado. Tinha até uma universidade que falava assim "pouco tempo na escola, mas sempre na escola". É uma coisa assim: os alunos faziam um curso que, ao invés de ser em engenharia, faziam um curso de tecnologia, três anos, só que o aluno se formava e ele precisaria se especializar, porque como a tecnologia, o conhecimento vai mudando. Ele estaria sempre se atualizando, que é muito dessa linha aí do pessoal das escolas que formam para o mercado.

[*A matemática tem participação nesses problemas que o Senhor aponta?*]

Tudo... Eu acho que sim. Eles usam modelos matemáticos, a linguagem, a formulação é matemática. Quando os alunos apresentam o problema, normalmente entram equações, esquemas, deduções e explicações que, muitas vezes, envolvem a análise, a prova matemática. Não é muito comum tratar os problemas de forma textual; é um modo mais difícil para argumentar, necessita escrever muito e, muitas vezes, pode apresentar as questões de forma

ambígua. Então, se usa muito a matemática, por ser mais sintética, direta e objetiva. Ela é um modo mais direto de se apresentar e resolver os problemas.

[*Como o Senhor você vê a necessidade, por exemplo, da Petrobras em ter uma Universidade Petrobras como uma espécie de ponte entre a universidade e a empresa?*]

A Petrobras sentiu esse *gap* e o que ela fez? Eu vejo assim: ela criou a Universidade Petrobras para pegar esse aluno e trabalhar ele para os equipamentos e as tecnologias que ela usa, treinar eles para a realidade deles. E eu acho que ela faz muito bem em fazer isso. Eu acho que é complementar; a academia e esse conhecimento prático da indústria são complementares.

Agora, em 5 anos e conhecendo a estrutura... Eu estou olhando, agora, o nosso curso, que é de uma instituição pública e que tem suas particularidades. A gente tem limites de recursos, tem toda uma dificuldade por falta de flexibilidade ou de facilidade de fazer uso deles. Se eu pensar, hoje, em abrir um laboratório novo, eu diria que eu levaria aí uns 3 anos para colocar isso em prática, com os recursos que eu tenho.

Então, se a Petrobras instalar em suas plantas industriais uma rede de automação nova e eu quiser ensinar sobre essa rede, eu levaria provavelmente de 3 a 5 anos para formar o meu aluno para a Petrobras. Não sei se você entende a dificuldade. Imagina se eu for formar para todo o mercado, que é muito mais amplo. Se a gente for tentar cobrir toda essa realidade de forma prática a universidade não aguenta, não teria capacidade para isso, e o que acaba acontecendo, ao meu ver, onde que temos maior flexibilidade?

Trabalhar a teoria, usar o conhecimento de pesquisa que a gente tem. No caso da nossa realidade Unicamp, a gente tem professores que são de tempo integral, que na sua carreira é exigido fazer pesquisas, procurar coisas novas, e a gente, de certa forma, acaba passando problemas para os alunos, técnicas e novidades, mas muito no aspecto teórico que é onde há um diferencial.

Os alunos saem daqui com a cabeça cheia de modelos, modelos matemáticos, de algoritmos, de soluções teóricas e de como lidar com isso matematicamente. Daí eles vão para o mercado. Eu acho que o nosso aluno sente um pouco isso, sofre um pouco até, no sentido de que ele vai ter que chegar lá e aprender a tecnologia que eles têm lá e lidar com aquilo lá.

A Petrobras, ao meu ver é uma empresa de excelência. A gente deveria ter mais empresas como a Petrobras no Brasil. As indústrias, ao meu ver, elas não geram muita tecnologia, consomem tecnologia e a Petrobras não, é diferente. Ela tem esse cuidado de pegar o aluno que vem para ela de diversas instituições e trabalhar esse aluno para o mundo dela e

para depois colocá-lo efetivamente para trabalhar lá. Eu acho que ela faz muito bem, são coisas complementares.

[*Tem alguma matemática que o Senhor aprendeu que não tenha sido na Universidade?*]

Matemática... das que eu uso... estatística, os cálculos, as teorias que eu usei muito, que eu lembre não, todos foram na universidade. Eu dei muita aula também, inclusive de cálculo, aquela parte de eficiência de algoritmo, sabe? Era uma matemática mais voltada para a computação e que eu aprendi depois. Você gera os algoritmos e vê qual a dificuldade dele, *n* fatorial, porque tem algoritmos que são muito complexos. Então, o número de interações para você resolver o problema seria *n* fatorial. As entradas, você tem os números de variáveis, quando é fatorial a coisa cresce muito rapidamente, uma enormidade, aí vão surgindo os algoritmos mais eficientes. Isso eu aprendi depois da engenharia, mas foi porque eu fui para o lado da computação uma certa época. Agora... é que tua pergunta me parece alguma coisa assim, se não existe uma matemática da prática, do mundo, não é?

[*Tem coisas que você pode colocar o nome de matemática, se quiser, que aprendeu não na formação universitária, mas na prática profissional de acordo com uma necessidade, é mais nesse sentido.*]

É... Eu diria que aprendi várias [risos], porque esse curso aqui, que eu sou coordenador, é interdisciplinar. Minha formação é em Engenharia Elétrica, mas fiz o mestrado e doutorado em Engenharia Mecânica, que é de outra área, e eu tive que aprender muita coisa nova. Eu também fui muito, em certa época, para a área da computação. Agora, assim... essas matemáticas estão muito baseadas nos cálculos, Cálculo I, Cálculo II, Equações Diferenciais, que na minha época era o Cálculo III, Estatística. Você aprende outras matemáticas, mas é mais especializada... como essa que eu falei, para algoritmos, na Engenharia Mecânica. Eu trabalho muito com escoamento, usa muito essa matemática de análise vetorial, elementos finitos. Eu tive que aprender isso aí depois que eu me formei, elementos finitos, simulações, uma outra área que eu tive que navegar um pouco. Às vezes aparece algo de estatística, de probabilidade... É isso.

[*O que é tão inequívoco na profissão dos engenheiros de Controle e Automação como 2+2=4. Há algo que seja tão inequívoco como a gente fala que a matemática seja, é... Tem algo para o Senhor?*]

Nossa, me parece que essa questão dos problemas. O engenheiro trabalha com problemas e eu acho que isso é inequívoco, é uma verdade para a área de engenharia. O engenheiro é aquele profissional que vai estar sempre lidando com problemas. Os problemas podem mudar de forma e serem de diferentes áreas, mas me parece que isso é verdadeiro, você vai estar sempre lidando. Eu não sei se é verdadeiro para todas as áreas do conhecimento, mas para a engenharia você é sempre demandado a resolver problemas.

Me parece que, quando é colocada a questão do novo paradigma, os alunos são chamados a resolver problemas, eu acho que os alunos são colocados na forma mais direta da engenharia. O que é engenharia? Engenharia é resolver problemas, então eles são colocados de cara com o que é a engenharia, isso é inequívoco.

Quando se usa esse modelo mais tradicional, utilizado atualmente no nosso curso, com toda uma estrutura de disciplinas, onde se ganha um certo conhecimento em matemática e física para depois ir lá resolver os problemas, a equação não é bem 2+2=4. [risos]. Eu acho que isso confunde um pouco os alunos no começo, não sei... Acabei usando o que a gente estava conversando para responder a sua pergunta.

Formaação de engenheiros: Modelagem

Rejane: [Marcelo], quando eu te perguntei se as suas falas de que o nível de um tanque envolve integração e que a análise de sensibilidade envolve derivadas vieram da sua formação universitária ou da sua prática aqui dentro da Petrobras, você acabou citando a Universidade Petrobras.

Marcelo: Pois é, [...] [na Universidade Petrobras] vai ter uma cadeira de bombas e aí, quando vai explicar bombas, começa a usar matemática. Mas essa matemática eu não aprendi lá na Universidade Corporativa, eu aprendi na graduação. Então, a graduação me deu condições de assistir o curso na Universidade Petrobras. [...]. Porque eles [os professores do curso] não vão dar a graduação toda.

Rejane: Voltando para a sua graduação, como você via a matemática nela?

Marcelo: Na graduação a gente é muito aberto, a gente é formado para o desafio que vier. Por exemplo, se eu fosse trabalhar com telecomunicações, os problemas são completamente outros, então talvez lá eu utilizasse outras ferramentas, outras ferramentas matemáticas. Na graduação [...] eu gostava da matemática, eu gostava de Cálculo. Por exemplo, no ciclo básico, quando você está trabalhando com Cálculo e tudo mais, mesmo que você não veja uma aplicação direta daquilo, você aplica na física, [...] você consegue explicar a física através da matemática. Eu achava interessante, mas a matemática sempre aplicada. Eu acho que é diferente [...] você pensar na matemática pela matemática, [...], estudar matemática e chegar num teorema que te explique uma coisa, [...], mas eu gostava mais da matemática porque ela explicava questões físicas, é uma linguagem que modelava, que modela isso, para mim. A matemática é uma linguagem que modela essas coisas todas.

Na seção “Aqui não se entra se não tem formação em engenharia e dela não sai se não passar pela matemática: formaação de engenheiros”, eu trouxe um pequeno histórico da engenharia e o modo como a matemática aparece nele, se tornando base para os cursos de engenharia. Entrando um pouco mais nessa temática da matemática como base, o tema modelagem matemática entrou em cena em diversos momentos das entrevistas realizadas para enfatizar ou justificar essa base. Para exemplificar, quando eu pedi ao Prof. Eurípedes para ele me dizer como a matemática participa de sua prática, ele falou:

> Bom... modelagem matemática são equações diferenciais, [...] ou seja, você estrutura um sistema através de suas equações diferenciais, equações diferenciais que modelam o funcionamento do sistema, [...]. Então, o conjunto de equações diferenciais está associado a essas disciplinas básicas, ou seja, você tem que conhecer todo o conjunto de Cálculos e de Álgebra Linear para poder fazer modelagem matemática de dispositivos da engenharia de maneira geral. Não pode fazer se não conhecer. (Eurípedes)

Desde o início da entrevista, o Prof. Eurípedes enfatizou que,

> [...] a gente só consegue utilizar aquilo que a gente conhece. Se conhece bem matemática, você sabe usar matemática na sua vida profissional. Se você fez curso de engenharia que conseguiu passar sem aprender matemática, você nunca vai poder usar ela na sua vida profissional. Essa é que é a realidade. A matemática é a linguagem universal, você representa qualquer tipo de efeito, qualquer tipo de sistema, processo de ocorrência, através de modelos matemáticos. Você usa os modelos matemáticos para fazer previsão. Fazendo previsão, através de simulações, você tem a possibilidade de estudar o desempenho de qualquer sistema, seja um sistema da engenharia ou econômico, por exemplo. Por isso que tem tantos engenheiros bons em matemática que vão trabalhar em bancos. Eles conseguem aplicar conceitos matemáticos ao comportamento econômico, aos processos econômicos, que são extremamente difíceis de serem simulados, porque são não causais. (Eurípedes)

Em relação às disciplinas do professor Eurípedes, mostrei uma figura semelhante à Figura 12 a ele e pedi para me falar sobre a linha de pré-requisitos de sua disciplina do 9º semestre do curso: *Modelagem de Dispositivos Eletromecânicos*, que acaba tendo como ponto de partida Cálculo Diferencial e Integral I e Geometria Analítica e Vetores.

> O objetivo em um sistema mais simples, mecânico, é esse aí, uma mola e um carrinho que está ali vibrando em relação a essa mola, por isso que a disciplina de Vibração [do 7º semestre] está aí e Dinâmica [disciplina do 5º semestre], porque a modelagem matemática é o que está por trás disso: como modelar sistemas mecânicos [...]. A forma mais genérica de modelar sistemas mecânicos é utilizando a formulação de Lagrange. A formulação de Lagrange, em última análise, é essa expressão aqui: $L(x,\dot{x}) = T(\dot{x}) - U(x)$. A equação final de Lagrange, a equação mais simples possível seria essa expressão aqui: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) = \frac{\partial L}{\partial x}$, a derivada em relação ao tempo da derivada em relação à velocidade é igual à derivada em relação ao deslocamento. Ela quer dizer o seguinte: a variação da energia cinética é igual à variação da energia potencial, que é uma lei universal.

No caso do sistema massa e mola, usando a formulação de Lagrange, em que $T(\dot{x}) = \frac{1}{2}m(\dot{x})^2$ é a energia cinética e $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$ é a energia potencial elástica, pode-se chegar na equação diferencial que modela esse sistema mecânico: $-m\ddot{x} = kx$, ou seja, a variação da quantidade de movimento é massa vezes aceleração, que é a segunda lei de Newton. Em relação a esse assunto, o Prof. Eurípedes continua:

> Não tem jeito de formular de maneira genérica isso aí e dar para os alunos entenderem essa questão, essa simulação, esse tipo de modelo, se não tiver um bom domínio das equações diferenciais e se não souber cada elemento que a gente está representando, cada elemento mecânico, e como isso vai entrar na formulação da equação. A partir disso, a minha disciplina é ensinar como modelar matematicamente sistemas complexos, sistemas que são compostos por diversos subsistemas e elaborar um modelo simples que pode ser usado com mais facilidade, envolvendo os diversos domínios da engenharia. Então, é fazer um modelo único que envolve todos os domínios. Por exemplo, eu tenho um orientando de mestrado que desenvolveu uma microbomba, uma bomba de membrana. A membrana é da ordem de 2 por 2 milímetros [...]. Para fazer essa membrana a gente tinha, primeiro, amplificadores, o sinal que estava aplicando a membrana para fazer ela vibrar, tem a parte de circuito elétrico respectivo, depois tem o campo magnético que a gente estava gerando através de um solenoide, para fazer a membrana vibrar também. Depois, a membrana vibrando, ela recebe uma força magnética que vai se transformar em uma vibração. Então, tem o modelo matemático da parte elétrica no início, depois da parte magnética, depois da parte de mecânica da vibração da membrana, depois da vibração da membrana vai se transformar em uma variação de pressão em uma câmara. Essa variação de pressão em uma câmara que vai provocar o fluxo de bombeamento da bomba, e aí tem o modelo hidráulico também, da parte da bomba. Você vê que num sistema tão simples quanto a microbomba, você tem que envolver modelagem matemática de eletricidade, de magnetismo, de mecânica dura, de mecânica da parte de vibrações e de hidráulica. [...]. Sem matemática é impossível você usar microbomba e uma microbomba como essa serve para você, por exemplo, administrar e controlar dosagem de remédio em pessoas que precisam dele continuamente, como é o caso de diabetes. [...]. Se você não conseguir modelar matematicamente o que está acontecendo, você pode fazer empiricamente, mas nunca vai ter certeza de que você está projetando uma coisa que vai dar um bom resultado. (Eurípedes)

As disciplinas de matemática estão, nesse caso, a serviço da modelagem matemática de sistemas, sendo que um dos objetivos do curso de Engenharia de Controle e Automação é modelagem matemática aplicada. Mas o professor Eurípedes fala também em modelos lógicos.

No início da entrevista, antes de entrar no aspecto da matemática nas disciplinas do professor Eurípedes, quando eu estava conversando com ele sobre suas atividades profissionais fora da universidade e sobre o modo como a matemática aparecia em suas atividades, ele falou do uso da eletrônica, mas não da matemática propriamente dita, em sua atividade profissional na área de telecomunicações. Falou em uso não evidente da matemática em projetos de eletrônica, na abstração que a matemática proporciona: “você pode pensar e raciocinar o desenvolvimento de sistemas” (Eurípedes). Isso porque, ele sempre trabalhou com o desenvolvimento de sistemas digitais, com microcontroladores, microprocessadores, com implementação de circuitos digitais e algoritmos. Eu peço exemplificação sobre essa questão da abstração e o professor responde:

> Além dos sistemas matemáticos propriamente ditos, existem os modelos lógicos, que também são baseados na matemática, a parte da lógica matemática. A matemática vem daí, de fato, do início do raciocínio lógico. O uso da lógica implicitamente faz eco ao seu conhecimento da matemática, da lógica booleana e também da lógica nebulosa ou fuzzy, que também vem a ser os fundamentos matemáticos que são abstratos e que estão por trás de todo tipo de raciocínio. Quando você faz uma inferência qualquer, a partir de determinados conceitos, você está implicitamente usando lógica que é a maneira de representar as inferências, os raciocínios de uma forma sistemática. Então, quando você tem um bom raciocínio abstrato, você tem capacidade de raciocinar, de se expressar, de avaliar, de resumir, ou seja, capacidade de entender modelos lógicos do que se passa ao seu redor de uma maneira geral, seja na sua vida cotidiana, seja nos sistemas profissionais, nos sistemas da engenharia. (Eurípedes)

Essa fala provoca em mim risos bem desconcertantes, por não estar entendendo bem o que o professor estava falando e por vergonha de, no início da entrevista, em uma parte que eu estava querendo saber da história de vida dele, eu já entrar com tantas dúvidas. Continuei a conversa dizendo que ele foi trabalhar com isso, um isso tão vago, na tentativa dele me salvar e ele continuou:

> A parte lógica está inerente ao fato de eu trabalhar com projeto de computadores, microcontroladores, microprocessadores, com algoritmos. Então, eu faço uso continuamente da lógica através do desenvolvimento de programação. Isso foi uma constante, tanto no mestrado quanto no doutorado e no trabalho que eu faço aqui dentro. (Eurípedes)

Tive a oportunidade de voltar a falar sobre modelos lógicos com o professor Eurípedes, em outro momento, quando tentei entender o que seria um fazer empírico, que é tido, para ele, como “fazer e ver o que acontece” (Eurípedes), quando ele falava sobre microbombas. Tentei dar exemplos desse fazer, tal como o conserto de celulares, e logo Eurípedes disse que, no conceito atual, isso é feito por substituição de partes. Depois falei em uso de controladores sem demonstração matemática, que validasse esse uso, e ele disse:

> Isso... mais ou menos, [...]. Alguns controladores historicamente surgiram há muitos anos, por exemplo, a abertura de portas em templos da antiguidade, que era um sistema de controle por vapor. A pessoa tocava fogo na fogueirinha escondida lá no [inaudível] e, de repente, a porta se abria e todo mundo ficava: “oh, o deus apareceu!”. Para esse tipo de coisa não havia um modelo matemático, mas eram só funções muito simples, que você não precisa de fato do modelo matemático para fazer o sistema funcionar. Agora, se você está fazendo uma coisa complexa como é pousar um avião por instrumentos no meio de um nevoeiro, se você não tiver um modelo

> matemático muito bom para prever isso aí tudo, seria totalmente impossível. (Eurípedes)

Esse modelo matemático é para automatizar o pouso de aviões e evitar cada vez mais erros humanos. Foi dessa fala sobre automatização e erros humanos que lembrei de uma entrevista que realizei na Petrobras, no qual foi falado de controladores fuzzy e aí Eurípedes disse,

> esse é um caso em que você não tem modelo puramente matemático, você tem modelo lógico, que é fundamentado na matemática [risos]. Em última análise, um modelo lógico também é um modelo matemático, você cria descrições lógicas do sistema e através de uma descrição criada por um determinado operador, que é um operador reconhecidamente com grande capacidade de trabalho, você transforma aquilo em um sistema matemático que vai repetir aquele procedimento que a pessoa faz. Então, no final das contas, continua sendo um sistema intrinsecamente matemático, só que, nesse caso, é intermediado por uma descrição lógica do sistema. (Eurípedes)

Novamente, me deparei com modelos lógicos na entrevista. Fiquei confusa e perguntei se um controlador fuzzy entraria no caso do avião também e o professor responde:

> No caso do avião, não seria comum usar lógica nebulosa. Se faz, normalmente, um modelo bem preciso do avião, que foi testado e ajustado, porque a gente sabe que vai trazer bons resultados, por experiência. Agora, quando você tem sistemas que são suficientemente complexos e quando o custo de um modelo matemático é muito alto, você produz um modelo lógico que pode trazer resultados tão bons quanto qualquer modelo matemático. É uma questão de custo e dificuldade de fazer o trabalho, porque se um dado sistema tem um comportamento muito complexo, para fazer um modelo matemático funcional daquilo ali vai ter que trabalhar demais e isso pode trazer um custo muito alto. Então, fica inviável e o mais prático é você desenvolver um modelo lógico. (Eurípedes)

A importância da matemática aparece no contexto da criação de modelos, mas, para Eurípedes, “a gente não consegue modelar qualquer coisa ainda; eu não sei se ainda vai conseguir modelar qualquer coisa, algum dia.” (Eurípedes). E continua:

> Veja bem, [...], o modelo tem a ver com o objetivo do modelo. Você não cria um modelo pelo modelo, você cria um modelo para atingir um certo objetivo, escrever uma certa gama de funcionamento daquilo que você está trabalhando. Se essa gama de funcionamento é suficientemente restrita, você monta o modelo mais simples possível, que atenda esses requisitos. Você não vai montar um modelo complicado para uma coisa que é simples: tem que montar um modelo que atenda à especificação do seu trabalho. [...]. Nesse sentido, se o modelo lógico satisfaz adequadamente, não tem porque

> ficar montando modelo matemático. Em muitos casos, o modelo tem uma complexidade grande e é mais simples fazer um modelo lógico. Tem uma tese que eu estou orientando nesse sentido. É sobre o controle de um forno de cal. Um forno de cal tem 96m de comprimento por 4m de diâmetro, tem uma infinidade de malhas de controle, todas interdependentes. Se eu fosse tentar modelar isso matematicamente iria passar uma quantidade de tempo enorme fazendo esse trabalho. O que se tentou fazer durante anos para isso, na prática, foi fazer modelos reduzidos, mas os modelos reduzidos não dão conta do funcionamento completo do forno, então, a saída que foi encontrada, já há uns 20 anos mais ou menos, é usar modelos lógicos, porque aí a gente concentra o funcionamento nos sistemas mais críticos. E o modelo lógico é, a princípio, o modelo de inteligência artificial, em que o termo inteligência artificial significa que a gente pode trabalhar com informações incompletas e chegar a resultados satisfatórios. Isso que é, na verdade, a inteligência não artificial [risos], é inteligência normal, capacidade de raciocinar, analisar e chegar a soluções quando você não tem informações completas, certo? É por isso que os seres humanos, os animais fazem isso continuamente. Para enfrentar uma situação, você toma uma decisão, uma pessoa que tenha um nível cultural, um nível maior de informação do que você, numa dada situação, poderia tomar uma decisão diferente, mas isso não quer dizer que qualquer pessoa que esteja enfrentando aquela situação não vai tomar uma decisão, ela vai tomar uma decisão e vai fazer alguma coisa. Então, essa que é a capacidade humana, que os animais também têm, chamada inteligência, de raciocinar com informações incompletas e tomar uma decisão. (Eurípedes)

Ainda falando sobre o uso de modelos matemáticos e lógicos, coloco as seguintes falas do professor Eurípedes:

> quando existe a dificuldade de um modelo matemático adequado que traga um bom resultado, você monta um modelo baseado em inteligência artificial, que seria modelo lógico, que além de trazer bons resultados para aqueles sistemas que você minimizou para montar o seu modelo, também vai trazer resultados para aquilo que você não colocou no seu modelo lógico, [...] porque é o mesmo raciocínio. Quando você está fazendo um raciocínio sem as informações que outra pessoa teria, você toma uma decisão, você acaba levando em conta apenas as suas informações, mas por instinto, ou pela maneira como a gente raciocina de uma forma geral, também está implícito, e vai trazer resultado a coisas que você não está levando em conta. As informações que você não possui, o sistema de inteligência artificial mimetiza essa situação também, naturalmente. Eu peguei o forno e teria 27 malhas de controle, daquelas 27 eu só vou levar em conta 5. Quando eu, levando em conta essas 5, tomo uma decisão de controle, essa decisão também é muito boa em relação às outras 22 que não foram levadas em conta [...]. É o procedimento da inteligência artificial, você toma decisão baseado naquilo que você não sabe. (Eurípedes).

Nas entrevistas, eu sempre conversei com os entrevistados sobre o caráter inequívoco da matemática e o que os regem inequivocamente em suas atividades. Sobre isso Eurípedes me disse:

> Não é completamente verídico que a matemática só lida com coisas precisas, não. A matemática lida com incertezas, principalmente com as incertezas, e uma das soluções importantes para lidar com as incertezas é usar modelos

> lógicos, que também é matemática. Então, o modelo lógico permite que as incertezas sejam computadas, analisadas, envolvidas, de uma maneira razoavelmente simples. Você precisa saber qual o nível de incertezas que os modelos matemáticos contêm para eles serem efetivos. A gente tem que garantir um desempenho robusto para o modelo, para uma dada avaliação da incerteza envolvida. [...]. O modelo de incerteza vai prever aquilo que você não pode prever, [risos]. Esse é que é o objetivo. Você tem que ter um comportamento do sistema, não um comportamento específico, na verdade tem uma família de modelos. Você apresenta um sistema através de uma família de modelos, ou seja, ele tem uma certa variabilidade nas curvas que você prevê. Você admite que ele vai ter uma certa variabilidade e quando a gente está tratando de sistema de controle, ele tem que garantir que, dentro daquela variabilidade, o sistema continua sendo controlado e a pressão da saída da tubulação vai ser sempre a mesma ou vai estar variando em uma faixa aceitável. (Eurípedes).

Precisa ou não, que garante certezas ou não, a matemática é o cerne para a criação de modelos matemáticos ou lógicos tão usados na engenharia, na visão de Eurípedes.

O professor Ely[231], do Curso de Engenharia de Controle e Automação, também fala sobre matemática em sua disciplina e sobre modelagem matemática:

> Semestre que vem [2º-2014] eu vou dar *Controle Avançado de Sistemas* [que na Figura 12 está no 10º semestre, 10ª linha da figura], *Laboratório de Eletrônica*, *Controle Neural*. Tinha lá [na Figura 12]? Ela vai passar para eletiva, [...]. Já dei *Circuitos Lógicos* [disciplina do 6º semestre], que é de teoria. Já dei [...] *Controle de Sistemas Mecânicos* – controlinho, Controle I, do 8º semestre – [...] e *Controle Avançado de Sistemas* – controlão, mais matemática ainda. A base dessas disciplinas de controle é *Análise Linear de Sistemas* [que na Figura 12 está no 6º semestre do curso]. Modelagem matemática você vê aqui em *Análise Linear de Sistemas*. Antes de ver controles você vê modelagem matemática. [...]. O fluxo para a nossa área é o seguinte: o cálculo é muito importante por causa das equações diferenciais, principalmente, porque a maioria dos modelos físicos, modelos de comportamentos de sistemas, sistemas que envolvem lei da termodinâmica, as leis básicas da física, as leis de Newton, enfim, elas são baseadas em equações diferenciais. Comportamentos físicos são descritos por equações diferenciais. [O aluno] tem que saber muito bem cálculo para saber descrever um sistema matematicamente, um modelo matemático, que ele vai usar em *Análise Linear de Sistemas*, porque em *Análise Linear* ele vai descrever como é um sistema térmico, como é um sistema fluídico, vazão, equação de Bernoulli, que vem lá da física, tudo equações diferenciais contínuas ou discretas. Então [...], o cálculo é extremamente importante e a modelagem é isso, modelar um sistema matemático que o controlador depois vai controlar. Para eu projetar bem um controlador, eu preciso conhecer o modelo matemático do sistema. Ou não, né? Porque se a gente falar de fuzzy e redes neurais, você não precisa conhecer bem o modelo matemático do sistema. Então, às vezes, tem esse caso particular que é uma forma de alguns [alunos] quererem fugir da reta da matemática é falarem: “não, fuzzy e redes neurais servem para tudo, eu não preciso conhecer meu sistema”. Mas há situações que eles não se aplicam, há situações que eles não são eficientes. Você não tem uma técnica boa para tudo. Outra coisa, a *Álgebra Linear* é muito

[231] http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?metodo=apresentar&id=K4723582P0, http://www.fem.unicamp.br/~elypaiva/index.htm

> importante para o controle por causa da descrição lá de subespaços e equação matricial. As equações matriciais são muito importantes para modelar sistema, principalmente para projeto de controle, [...]. E mesmo o cálculo vetorial vai ser importante para *Dinâmica* [disciplina do 5º semestre], por exemplo. Em *Dinâmica* você tem os efeitos das forças, produto vetorial, tem que imaginar os produtos, vetor de campo gravitacional, [...]. Os autovalores são a alma da estabilidade do controlador, [...] a gente trabalha com autovalores negativos – sistema é estável – e autovalores positivos – o sistema é instável –, tem uma relação assim, [...]. Quando você projeta um controlador de um processo, você pega o conjunto todo e esse conjunto todo tem que ser estável, na hora que eu mandar a temperatura variar, ela pode oscilar, mas tem que estabilizar. [...]. Então, *Álgebra Linear* é super importante para a gente. (Ely)

A área de atuação de Ely é controle, que serve tanto para a automação industrial quanto para outras áreas, como a aeronáutica: “as mesmas técnicas de controle que se usa para um balão [dirigível], você usa para um processo químico da Petrobras, por exemplo” (Ely). Dentro dessa área de controle, ele trabalha muito com modelagem, “por causa dos simuladores, [...], tanto a modelagem quanto o controle têm que ter matemática” (Ely):

> Para você modelar o comportamento de um processo físico, você vai usar equações da física, leis da física baseadas em equações matemáticas. [Para esse] processo, você vai determinar um algoritmo, um programa no computador que faz o controle, por exemplo, controle de temperatura, controle de pressão, [...]. Por isso que envolve muito modelo matemático, modelo de uma caldeira, modelo de um sistema mecânico, modelo de um dirigível – que entra forças aerodinâmicas, pressão, ar. A gente aqui trabalha muito com simulador. Eu tenho um simulador do dirigível robótico, com parceria com o CTI, onde eu trabalhei, e um simulador de um veículo elétrico também, os dois são de lá, [...]. Esse simulador, esse computador, é para quê? Para você, depois, projetar os controladores que quer fazer andar sozinho o carro autônomo, [...], e esse comportamento você testa tudo no computador primeiro. O simulador replica as condições do ambiente, do veículo e para você obter esse simulador, ele está baseado em modelo matemático, em equações matemáticas que descrevem o comportamento daquele sistema, do carro. Então, no simulador você projeta tudo antes de colocar no sistema real, isso é controle, isso é bem controle. Automação industrial é mais ligado ao que a gente fala ‘chão de fábrica’, processo, processo automatizado, uma esteira de linha de montagem, por exemplo na automobilística, [...]. No caso petroquímico, é automação dos processos, de caldeira, de temperatura, coluna de destilação, envolve sensores, os controladores industriais, que a gente fala que são equipamentos que ficam do lado dos processos, controlam abertura de válvula. Dentro dos controladores estão os programas que é o controle, é um programa baseado em equações matemáticas que estão dentro do sistema supervisório ou dentro do CLP, lá na automação industrial [...]. (Ely).

Tanto os programas dentro dos controladores, quanto a forma de sintonizar esses controladores envolvem matemática, como é o caso do controlador PID – já

mencionado nesta tese –, que, de acordo com Ely, tem uma ideia simples e é muito utilizado na indústria:

> A ideia do PID é um termo integral, um termo derivativo e um termo proporcional, e nisso tem 3 ganhos, 3 parâmetros para ajustar a intensidade do derivativo, do proporcional e do integral, que chama de sintonia. Como escolher esses 3 ganhos, o peso para cada um? Para escolher isso aí, existem métodos matemáticos para sintonizar o PID, existem mais de 100 métodos. O mais conhecido é o de Ziegler-Nichols, muito usado pelo pessoal do petróleo, da química. Ele foi desenvolvido em 1942 para calcular nível de reservatório, mas existem outros. [...]. A maioria da indústria faz essa sintonia que eu te falei na mão, como a gente fala, manualmente. O que é isso? O sujeito vai lá e – são três ganhos, três multiplicadores com esses 3 termos – aumenta um pouquinho ali, "ah, não ficou bom, diminui esse proporcional", "ah... agora aumenta um pouquinho do integral", "diminui um pouquinho do derivativo", "ah, parece que está bom", pronto. A maioria é feita assim, só que, existem métodos otimizados para chegar no valor ideal. [...]. Existem estatísticas que falam que 25% dos problemas de regulação de controle na indústria são por causa do PID com sintonia inadequada. [...]. A sintonia envolve métodos matemáticos, para você chegar nesses valores ideais dos ganhos para o seu processo, cada processo vai usar um ganho diferente. (Ely).

Conversando com Ely se ele conseguiria lecionar suas disciplinas sem que os seus alunos tivessem cursado as disciplinas de Cálculo Diferencial e Geometria Analítica e Vetores, ele diz que não. Para ele, seria até possível fazer um desvio da matemática falando-se, por exemplo, em controle neural e nebuloso, mas

> [...] aí não seria um engenheiro, seria um técnico, porque ele pode pegar o equipamento, [...] o próprio equipamento vai fazer otimização dos parâmetros, vai ficar ajustando sem poder ajustar, né? Mesmo para neural e fuzzy. Para engenharia, ele tem que conhecer bem matemática. (Ely).

Uma discussão sobre técnicos e engenheiros se assemelha a discussões entre enfermeiros e médicos. No primeiro caso, de acordo com a entrevista que realizei com Ely, a matemática pareceu ser o veio dessa distinção:

> A diferença do técnico e do engenheiro... Bela briga, aquela coisa mútua, eles brigam muito, [...]. O técnico fala que o engenheiro acha que sabe, mas não sabe nada, que quem põe a mão na massa é ele, é ele que fica carregando nas costas. E o engenheiro fala que o técnico não consegue ir longe. Isso é comum, clássico, mas o que acontece, o engenheiro, principalmente por causa do básico, da matemática, uma das coisas do cálculo importante, que os alunos às vezes falam: "professor eu não vou usar isso aqui para nada, por que estou estudando isso?" [...]. Eu falo "às vezes, você não vai usar isso aqui nunca na sua vida, mas o cálculo serve, ele abre sua cabeça, desenvolve sua capacidade de raciocínio fantástica. Depois que você faz o cálculo, você aprende a olhar para o problema de uma forma crítica, você aprende a ver o

> que é mais importante, onde é que está o foco", e essa capacidade, eu acho que tem técnicos e técnicos, mas o perfil do técnico é mais operacional, dia a dia, ele não vai chegar e projetar um controle para uma coluna de destilação. [...]. O engenheiro é treinado para isso, para ele poder fazer isso, é o básico. Na faculdade particular eles querem eliminar isso aqui, aí ele não vai ser um engenheiro, vai ser um técnico. Outra coisa, o engenheiro é capaz de abrir sozinho uma nova área de trabalho; o técnico até pode fazer um curso de aperfeiçoamento, mas é mais difícil ele criar, por causa da formação. (Ely).

Nas entrevistas que realizei, tanto com o professor Ely quanto com o professor Eurípedes, vejo a ênfase da matemática como base, incluindo a lógica como algo matemático, principalmente pelo uso de modelagem matemática. As justificativas deles não mencionam as Diretrizes[232], apesar de possuírem certas semelhanças com elas. Eles, também, não mencionaram a tradição, no sentido de dizer: "sempre foi assim, por que teria de ser diferente?". Elas estavam baseadas em aspectos de suas disciplinas e de suas práticas, dentro e fora da Unicamp, que se tornam inviáveis sem matemática e sem o uso de modelos matemáticos e lógicos, por eles possibilitarem modelar diversos sistemas e construir ferramentas importantes para o funcionamento de nossas vidas, como é o caso de controladores industriais utilizados na automação industrial.

Em diversos momentos de entrevistas surgiram falas como: "a matemática é uma linguagem que modela essas coisas todas" (Marcelo) ou "matemática é a linguagem universal, você representa qualquer tipo de efeito, qualquer tipo de sistema, processo de ocorrência, através de modelos matemáticos" (Eurípedes). Elas definem matemática como A linguagem ou UMA linguagem que contribui para modelar diversas coisas; mas há, também, uma visão de que a modelagem matemática é matemática, pois,

> As origens das ideias centrais da matemática são o resultado de um processo que procura entender e explicar fatos e fenômenos observados na realidade. O desenvolvimento dessas ideias e sua organização intelectual dão-se a partir de elaborações sobre representações do real. A linguagem, desde a natural até a mais específica e formal, permite compartilhar socialmente essas ideias, estruturando-as como teorias. Algumas dessas teorias são difundidas e incorporadas ao pensamento dominante, tornando-se instrumentos fundamentais para o desenvolvimento das ciências. Assim é a matemática acadêmica, desde suas origens mediterrâneas. Após uma ampliação, organização e crítica realizada durante a Idade Média Islâmica e Europeia, a matemática legada pelos gregos transformou-se a partir do final do século XVIII, no instrumental do Cálculo Diferencial, desenvolvido inicialmente por Isaac Newton e Gottfried W. Leibniz, criando o que poderíamos chamar de as bases do pensamento moderno. Muitos

[232] BRASIL, 2002.

> historiadores consideram a matemática a espinha dorsal da civilização moderna. A partir das teorias pode-se trabalhar outros fatos e fenômenos propostos pela realidade, elaborando modelos do mundo real. Mais ou menos precisos, esses modelos, devidamente calibrados e convalidados, permitem entender e explicar, com diferentes graus de precisão e detalhamento, esses fatos e fenômenos. Modelagem é, portanto, matemática por excelência.[233]

Se matemática pode ser conceitualizada e abordada de diferentes modos, o mesmo acontece no uso do termo 'modelagem matemática', na Educação Matemática[234]. Um modo de ver modelagem matemática pode ser visto em Bassanezi como a "[...] arte de transformar problemas reais em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real"[235], aliando teoria e prática e pressupondo a multidisciplinariedade e a remoção de fronteiras entre áreas de pesquisa.

Bassanezi chama de modelo matemático "um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado"[236] e a sua importância consiste

> [...] em se ter uma linguagem concisa que expressa nossas ideias de maneira clara e sem ambiguidades, além de proporcionar um arsenal enorme de resultados (teoremas) que propiciam o uso de métodos computacionais para calcular suas soluções numéricas.[237]

A matemática, nesse caso de modelagem, é vista como algo capaz de representar a realidade, de alguma forma, e sua eficiência, para Bassanezi, se dá a partir "do momento que nos conscientizamos que estamos sempre trabalhando com *aproximações* da realidade, ou seja, que estamos elaborando sobre representações de um sistema ou parte dele."[238]. Mesmo assim, ela participa do mundo com capacidade de influenciar mudanças nele.

> A modelagem não deve ser utilizada como uma panaceia descritiva adaptada a qualquer situação da realidade – como aconteceu com a teoria dos conjuntos. Em muitos casos, a introdução de um simbolismo matemático exagerado pode ser mais destrutivo que esclarecedor [...]. O conteúdo e a linguagem matemática utilizados devem ser equilibrados e circunscritos tanto ao tipo de problema como ao objetivo que se propõe alcançar. Salientamos que, mesmo numa situação de pesquisa, a modelagem matemática tem

[233] D'AMBRÓSIO, 2009.
[234] ALMEIDA, 2014; SOUZA e BARBOSA, 2014; BASSANEZI, 2009.
[235] BASSANEZI, 2009, p. 16.
[236] Ibid., p. 20.
[237] Ibid., p. 20.
[238] BASSANEZI, 2009, p. 24.

> várias restrições e seu uso é adequado se de fato contribuir para o desenvolvimento e compreensão do fenômeno analisado.[239]

Bassanezi[240] diz que um bom modelo é aquele que pode ser melhorado, porque podem ocorrer novas situações a serem incorporadas, novos questionamentos, novas ferramentas (teoria do caos, teoria fuzzy, etc).

Na educação, a modelagem matemática tem sido usada como uma estratégia de aprendizagem, "onde o mais importante não é chegar imediatamente a um modelo bem-sucedido, mas caminhar seguindo etapas onde o conteúdo matemático vai sendo sistematizado e aplicado".[241]

A modelagem acaba sendo, na educação matemática, um modo de os professores introduzirem conteúdos escolares[242], o que parece se distanciar, de certa forma, do trabalho de modelagem fora das escolas e das universidades. No entanto, a modelagem matemática pode assumir diferentes configurações.

> Nós podemos ponderar que a possibilidade de considerar diferentes configurações pode ser útil para o desenvolvimento da atividade de modelagem matemática, especificamente se nós podemos associá-las a características particulares ou um contexto particular.[243]

Um exemplo de uso de modelagem na Petrobras pôde ser obtido com Filipe, que me explicou um algoritmo que ele desenvolveu junto com o CENPES e uma das unidades da Petrobras, na área de Exploração e Produção.

> A gente elaborou um algoritmo para detecção de golfadas em plataformas, [...]. É o seguinte, como você trabalha com produção de óleo, você tem que, de alguma forma, extrair o óleo lá de baixo. Para extrair o óleo [...] você insere o que a gente chama de poço, no reservatório de óleo [...]. O reservatório de óleo é uma rocha. Ele não é uma piscina de óleo, ou seja, não é algo como se fosse uma casca que tem óleo dentro que você vai, joga o poço lá e tira óleo. Ele é uma rocha porosa que você coloca o poço nela e, pela alta pressão que tem nela quando você injeta o poço lá e estabelece a conexão com o reservatório, o óleo começa a fluir pelo poço. O que acontece é que o reservatório, por ser algo da natureza, ele tem quase que vida própria, ora a pressão é maior, ora a pressão é menor, e na plataforma que recebe esse óleo, ora ela pode receber muito óleo, ora pode receber menos óleo. Essa questão de receber muito óleo e menos óleo é o que a gente chama de golfada. Golfada é você receber uma grande quantidade de óleo de uma vez só. Quando você recebe essa grande quantidade de óleo de uma vez só, a plataforma tem que se preparar para receber essa quantidade de óleo [...], o

[239] Ibid., p. 25.
[240] Ibid.
[241] Ibid., p. 38.
[242] ALMEIDA, 2014.
[243] ALMEIDA, 2014, p.106.

> que pode fazer, inclusive, que você tenha que fechar o poço para não ter essa grande quantidade de óleo vindo para a plataforma. Então, esse algoritmo que a gente desenhou lá, foi até desse trabalho aqui: “Controlador Fuzzy com Sintonia Automática para Aplicação do Problema de Golfadas em Plataformas”, [...]. Ele permitia que você identificasse a existência da golfada e tomasse uma providência automática para minimizar o efeito que a golfada ia fazer. (Filipe)

Na confecção do algoritmo, que foi um programa que identificava o momento da golfada e ao mesmo tempo propunha uma ação de controle na válvula através da programação do controlador, Filipe já mencionou que utilizou lógica fuzzy, que em suas palavras,

> [...] é o contraponto da lógica booleana, que a gente chama, que é o zero e o um. No fuzzy você não tem só zero e um, não é só sim e não; o fuzzy é quase que a implementação do talvez [...]. Vamos supor: o copo não está 100% cheio ou 100% vazio, ele pode estar no meio do caminho entre o cheio e o vazio, é uma forma de categorizar, de criar diferentes categorias, além da categoria certo-errado, você tem o meio termo ali. [...]. Você classifica a golfada, é grande, pequena, ela é maior ou menor, eu vou fechar a válvula, vou fechar muito, vou fechar pouco. A linguagem fuzzy é quase como você aproximar a linguagem como nós utilizamos para descrever um determinado processo. Antes da gente aplicar essa técnica, para automatizar esse processo, ele estava sendo feito em manual, [...]. Quem é que tinha o conhecimento de como fazer quando vinha a golfada grande para a plataforma? O operador. Era o operador da plataforma que tinha esse conhecimento: “olha estou vendo que a pressão está aumentando, então pelo fato da pressão estar aumentando, eu vou tomar essa atitude aqui para fechar a válvula, esses tantos por cento aqui, porque assim eu vou conseguir minimizar o efeito da golfada”. E a pergunta que se faz é: “mas quando você identifica que a pressão está subindo?”. Então, a linguagem fuzzy permite que você decodifique uma entrevista com um operador, por exemplo, de uma forma mais simples, [...]. Você pergunta para um operador: “quais variáveis você utiliza para observar o seu processo para tomar uma determinada atitude?”. “Eu observo a pressão do poço, eu observo a velocidade com que...” – aí entra derivada – “a velocidade com que a pressão está subindo ou descendo, eu observo a posição atual da minha válvula para que eu possa tomar uma decisão”. “Ah, tá bom, então olhando a pressão do poço, olhando a velocidade com que a pressão está aumentando e olhando a posição da válvula, você toma sua decisão?”. “É, eu tomo minha decisão, aí se a pressão do poço estiver acima de um determinado valor e a velocidade da pressão do poço for alta ou for baixa e a minha válvula estiver muito aberta ou muito fechada, eu fecho mais, fecho menos, abro, mantenho”. O operador consegue descrever em linguagem o que ele faz, quais são as regras que ele utiliza para poder atuar no processo. A linguagem fuzzy pega [essa descrição] e traduz isso para o mundo da matemática, então é uma forma de você aproximar a linguagem falada da ação e da atuação da matemática. (Filipe)

No algoritmo de detecção de golfadas, também foi usado o algoritmo genético, que

> [...] é outra técnica que a gente poderia enquadrar na matemática, porque ele tem uma base na matemática. O algoritmo genético é um algoritmo de busca que se inspira na biologia, porque ele usa o conceito de gene, de cromossoma, de população, de geração, usa o conceito de pai e filho, cruzamento, para você poder buscar a melhor solução para aquele problema. O algoritmo genético é utilizado quando seu espaço de busca é um espaço muito grande, e grande o suficiente para que uma busca simplesmente de todas possibilidades seja inviável, ou seja, seria inviável testar todas as possibilidades, mesmo com os computadores que a gente tem hoje. Como a gente ainda está engatinhando um pouquinho na computação quântica, a gente não chegou ainda num nível de poder de processamento para testar todas as possibilidades. Por conta disso o algoritmo genético ainda aparece como uma opção, que é uma forma de você buscar num espaço, que é muito grande, uma solução que seja, digamos assim, aceitável para o seu problema. Aqui nesse caso [do algoritmo de detecção de golfadas], o que [...] a gente fez? O controlador fuzzy foi modelado com base em entrevista com os operadores, mas ele foi ajustado com base no algoritmo genético de busca. A gente entrevistou os operadores, criou um v_0 lá para a forma como o controlador ia atuar e a sintonia fina foi feita pelo algoritmo genético, a busca dos melhores parâmetros que fazem aquele controlador funcionar foi o algoritmo genético que buscou. E de que forma? Ele buscou isso com que objetivo? Com o objetivo de produzir um controlador que fosse tão próximo quanto o melhor operador que a gente elegeu. Então, a gente pegou o conjunto de dados, elegeu o melhor operador e aí fez com que o controlador chegasse [...] nesse resultado desse melhor operador. De que forma? Sintonizando, ajustando os parâmetros. Como eram muitos parâmetros – mais de 15 parâmetros para ajustar – e com ranges de valores que poderiam variar bastante – você tem aí um espaço de busca no R_{15}, quer dizer, você tem 15 variáveis que podem variar com range de, sei lá, de... de 5 a 200, vamos supor, podendo assumir [...] números fracionários nesse valor, [...] –, você tem infinitas possibilidades, praticamente, de combinações dessas 15 variáveis. Então, para você buscar nesse espaço a melhor sintonia, uma das formas é utilizar o algoritmo genético. (Filipe)

Filipe disse que esse programa desenvolvido ainda não foi instalado. O que haviam sido feitas até o momento da entrevista foram a programação do controlador e a simulação dele, porque antes de instalar no campo foi feita uma simulação no qual uma equipe da unidade de Macaé criou um modelo de um reservatório que produziu golfadas próximas do real e colocou o algoritmo funcionando nesse modelo. A única coisa que falta é o programa desenvolvido funcionando na prática.

Novamente o termo fuzzy aparece nesta pesquisa. O Professor Ely falou que o controlador fuzzy foi desenvolvido por Zadeh, em 1965, mas só começou a ser usado na indústria em 1985 pelos japoneses,

> [...] essa história é muito interessante, o Zadeh brigava com o Kalman, [...]. Os dois têm a mesma idade hoje, 83 anos mais ou menos. O Kalman foi um matemático. Ele criou várias teorias que foram usadas na corrida espacial, na lua, e são usadas em GPS. Tem um negócio que chama filtro de Kalman, que é uma forma de filtrar sinal com ruído, até hoje usado em GPS, navegação de aviões, [...]. [O Zadeh] bolou a lógica fuzzy, só que eles viam a lógica fuzzy como acochambração, [...]. A lógica até então era aristotélica, de 0 ou 1, ou era ou não era, você tinha um conjunto aqui e ou o elemento pertencia a esse

> conjunto ou ele não pertencia. Daí Zadeh pega e fala assim, você tem um conjunto só que aqui o controle é desfocado desse conjunto. [...]. Ele criou a variável μ (mi) que vai de zero a um [para falar de pertencimento a um conjunto, um elemento pode pertencer 30% a ele e 70% não], [...]. Zadeh criou uma gradação, [...]. O Kalman emperrou vários projetos de pesquisa [do Zadeh], ele era uma espécie de coordenador, de uma espécie de CNPq dos Estados Unidos. Eu acho que essa foi umas das razões que demorou tanto para decolar, porque ele não acreditava nisso. Teve um congresso 20 anos depois que o Zadeh preparou um discurso, porque ele sabia que o Kalman ia estar lá, mostrando mais de 2000 empresas, indústrias, que usavam lógica fuzzy, só que o Kalman foi embora e não ouviu o discurso dele, de toda dificuldade que ele enfrentou para conseguir verba para pesquisar e quebrar o paradigma dos matemáticos clássicos. Até hoje, [...], tem vários controleiros que não gostam de inteligência artificial, só controle clássico. É uma espécie de preconceito também [...], preconceito matemático, mas hoje um preconceito infundado, porque quando começaram os estudos sobre as redes neurais e a lógica fuzzy, eles eram poucos, tinham situações que funcionavam, mas você não conseguia provar a estabilidade. Por isso que para avião, por exemplo, eles não aceitam homologar controladores baseados, eu acho que até hoje, em inteligência artificial, porque, às vezes, funciona bem, mas e se falhar amanhã? Você não provou que funciona matematicamente, por a+b, que funciona o tempo todo. Então, isso criou um preconceito, mas de 85 para cá [...] a matemática evoluiu absurdamente. Hoje já tem a matemática das redes neurais, a matemática de fuzzy formal, formalismos rigorosos[244], [...], tem fundamentos, é uma técnica diferente e é usada no mundo inteiro, mas o preconceito ainda existe. (Ely)

O que Ely falou pode ser visto na fala de Zadeh: “ao contrário dos sistemas lógicos tradicionais, a lógica fuzzy tem a intenção de prover um modelo para modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos.”[245], no qual a importância disso “deriva do fato de que a maioria do raciocínio humano – e especialmente o raciocínio do senso comum – é, em natureza, aproximado”[246]. Zadeh afirma que seus artigos tiveram um misto de reações. Os matemáticos Richard Bellman e Grigori Moisil receberam suas ideias com entusiasmo, enquanto que, para a maioria dos matemáticos, suas ideias eram vistas com ceticismo e hostilidade. Depois de 25 anos, Zadeh ainda diz que há controvérsias a respeito da lógica fuzzy, apesar da grande aplicação dela no Japão, o que a torna difícil de ser negada. Zadeh fala:

> A tradição Cartesiana a respeito do que é quantitativo e preciso e o desdém para o que é qualitativo e impreciso é profundamente arraigada para ser abandonada sem uma luta. O princípio básico dessa tradição foi determinado pelo Lorde Kelvin – um dos intelectuais notáveis do século XIX – em 1883. Ele escreveu: “Na ciência física, um primeiro passo essencial na direção de aprendizagem de qualquer assunto é encontrar princípios de cálculo

[244] Exemplos desses formalismos estão disponíveis em: http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000919009&fd=y e ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/RevSBA94.pdf. Acesso em: 08 de setembro de 2015.
[245] ZADEH, 1990, p. 95.
[246] Ibid., p. 95.

> numérico e métodos viáveis para medida de alguma qualidade conectada com ele. Eu sempre digo que quando nós podemos medir o que você está falando sobre e expressá-lo em números, você conhece algo sobre ele, mas quando você não pode medi-lo, quando você não pode expressá-lo em números, seu conhecimento é de um tipo deficitário e insatisfatório: isso pode ser o começo do conhecimento, mas você tem, dificilmente, em seus pensamentos, avançado para o estado de ciência, não importa qual assunto seja".[247]

Um exemplo de comentário hostil é exibido por Zadeh e trata-se da crítica do professor Rudolf Emil Kalman a um resumo[248] de um artigo seu, apresentado em uma conferência na França. Kalman julgava que o artigo podia ser severamente, ferozmente, até brutalmente criticado, de um ponto de vista técnico. E continua:

> Não tenho nenhuma dúvida de que o entusiasmo do Professor Zadeh pela imprecisão [fuzziness] tem sido reforçada pelo clima político predominante nos Estados Unidos – de permissividade improcedente. "Fuzzificação" ["Fuzzification"] é um tipo de permissividade científica que tende a resultar em *slogans* de apelo social desacompanhado da disciplina do duro trabalho científico e observação paciente. Eu devo confessar que eu não posso conceber a "fuzzificação" ["fuzzification"] como uma alternativa viável para o método científico. Eu até acredito que é mais saudável aderir ao otimismo ingênuo de Hubert, "queremos saber: saberemos" ["Wir wollen wissen: wir werden wissen"].[249]

O artigo de Zadeh[250] traz o debate travado entre ele e Kalman sobre a lógica fuzzy assim como um histórico dessa lógica. Para mim, esse artigo é exemplar no aspecto do fazer matemático e de que o uso da lógica fuzzy gerou uma convenção que passou a tratar de modo inequívoco o que é tido como não inequívoco. Essa nova convenção não foi sem disputas, já que a lógica fuzzy acabou atacando um dogma, o

---

[247] ZADEH, 1990, p. 95-96.

[248] *Abstract* The approach described in this paper represents a substantive departure from the conventional quantitative techniques of system analysis. It has three main distinguishing features: (1) use of so-called "linguistic" variables in place of or in addition to numerical variables; (2) characterization of simple relations between variables by fuzzy conditional statements; and (3) characterization of complex relations by fuzzy algorithms. A *linguistic variable* is defined as a variable whose values are sentences in a natural or artificial language. Thus, if *tall, not tall, very tall, very very tall,* etc. are values of *height,* then *height* is a linguistic *variable. Fuzzy conditional statements* are expressions of the form IF *A* THEN *B,* where *A* and *B* have fuzzy meaning, e.g., IF *x* is *small* THEN *y is large,* where *small* and *large* are viewed as labels of fuzzy sets. A *fuzzy algorithm* is an ordered sequence of instructions which may contain fuzzy assignment and conditional statements, e.g., *x = very small,* IF *x* is *small* THEN *y* is *large.* The execution of such instructions is governed by the *compositional rule of inference* and the *rule of the preponderant alternative.* By relying on the use of linguistic variables and fuzzy algorithms, the approach provides an approximate and yet effective means of describing the behavior of systems which are too complex or too ill-defined to admit of precise mathematical analysis. Its main applications lie in economics, management science, artificial intelligence, psychology, linguistics, information retrieval, medicine, biology, and other fields in which the dominant role is played by the animate rather than inanimate behavior of system constituents. (ZADEH, 1990, p. 96)

[249] ZADEH, 1990, p. 97.

[250] ZADEH, 1990.

leito do rio[251], o *status quo* da matemática, que separa um fazer ou em matemático ou em não matemático, numa lógica binária de zero e um, de certo e errado, e deixando de fora situações fronteiriças. Um exemplo dessa distinção entre um fazer matemático de um fazer não matemático está na publicação de artigos, no qual

> [...] é esperado que um artigo publicado em uma revista de matemática contenha definições precisamente afirmadas, hipóteses e teoremas. Normalmente um artigo não deve ser aceito para publicação se suas conclusões são afirmadas como asserções que não são inequivocamente verdades.[252]

Esse novo jogo de linguagem, esse novo sistema de convenções sob o teto do que se pode chamar de lógica fuzzy, abalou, num certo tempo, a estrutura da matemática acadêmica, propiciou construções de modelos para automação industrial e contribuiu para alterar o papel de pessoas que, em suas práticas profissionais, não estavam sujeitas a essa matemática e a essa automatização.

A lógica fuzzy abalou a matemática porque ela não era aceita, "Reparemos que na matemática são proposições *gramaticais* as que nos convencem; a expressão, o resultado desse convencimento, é, portanto, que aceitamos uma regra"[253]. Um aspecto interessante desse convencimento se pode ver na seguinte fala: "A demonstração nos convence de algo, mas não nos interessa a disposição de ânimo do estar convencido, senão os usos que admite essa convicção"[254]. A partir dos usos da lógica fuzzy na indústria, suas regras foram aceitas e, por assumir um papel importante na automatização industrial, ela começou a receber, digamos assim, um tratamento matemático mais rigoroso, e acabou sendo convincente e incorporada nos currículos de certos cursos de graduação em engenharia.

Nas entrevistas houve definições ou tentativas de definições de matemática, assim como problematizações acerca do que se poderia denominar "matemática". Mesmo sem definições precisas, os entrevistados não deixaram de falar

---

[251] A expressão "leito do rio" foi retirada de Wittgenstein: "Poder-se-ia pensar que certas proposições com a forma de proposições empíricas seriam solidificadas e funcionariam como canais para as empíricas não solidificadas e ainda fluidas; e que essa relação se modificaria com o tempo à medida em que as proposições fluidas se tornassem solidificadas e as firmes se tornassem fluidas. A mitologia [podemos dizer a mitologia matemática] pode pôr-se novamente em movimento, o leito do rio de pensamentos pode deslocar-se. Mas diferencio entre os movimentos das águas no leito do rio e o deslocamento desse leito; embora não exista uma separação precisa entre ambos" (WITTGENSTEIN, 2012, §96-97, p. 145).

[252] ZADEH, 1990, p. 99.

[253] WITTGENSTEIN, 1978, III, §26.

[254] Ibid., III, §25.

de e sobre matemática. Segundo Wittgenstein, “[...] É evidente que a matemática, em certo sentido, é uma doutrina [...]”[255], mas ela “[...] é, também, um *fazer*”[256]. A matemática vista como um fazer, como ação, a coloca em movimento no mundo, altera os leitos dos rios e nossos modos de produzir conhecimentos, como é o caso da lógica fuzzy ou criações de modelos fuzzy, ainda que, muitas vezes, as disciplinas de matemática se mantenham estáticas e estáveis em currículos de engenharia.

Eu trouxe o tema da modelagem matemática para a discussão, pois tanto a modelagem matemática quanto a modelagem lógica, viraram protagonistas na formação de engenheiros, por servirem tanto para eles lidarem com o mundo quanto como metodologias didáticas de ensino, para tentar aproximar a formação universitária dos diferentes campos de atividade humana nos quais os engenheiros poderão atuar profissionalmente. Antes de entrar no tema da aproximação entre a teoria e a prática, a qual pode ser vista em termos de aproximação entre a formação universitária e o mundo de trabalho, pode ser interessante ler o próximo texto, que dentre outras coisas, também aborda o tema da modelagem.

[255] WITTGENSTEIN, 2009, XI, p. 292.
[256] Ibid.

Matemática, modelagem, verdade, realidade, ferramenta, usos[257]

Eu comecei a dar aula aqui na Unicamp em 1971. A minha primeira turma de Cálculo I, tinha 127 alunos. Imagina eu, recém-formado, pegando logo 127 alunos de todas as engenharias. Se bem que a primeira aula que eu dei, eu aqui no quadro e os alunos sentadinhos escrevendo, olhando assustados para mim, foi em 1963. Então, em 2013, fez 50 anos que eu dei minha primeira aula.

Eu dei aula para todas as Engenharias, e dei aula também, em disciplinas da Matemática para a Biologia e para a Economia também, mas quando nós damos aulas no que chamamos de básico, ou seja, nos dois primeiros anos, quando eles têm as disciplinas de Matemática, de Física, de Química, etc., a maior parte das turmas não eram reservadas naquele tempo. Uma mesma turma envolvia gente de diversas Engenharias, da Física, da Química, etc. Dei aulas de Cálculo I, Cálculo II, Cálculo III, de Variáveis Complexas, de Equações Diferenciais, de Cálculo Numérico, de Geometria Analítica, que eu me lembre, e dei diversos Cálculos para a Biologia também.

O sistema daquele tempo foi um pouco modificado quando dei aula para a Economia: era uma turma só da Economia. Faz alguns anos, o coordenador de graduação da Economia do Instituto de Economia procurou-me para pedir que os alunos de economia tivessem aula junto com os alunos de Engenharia Elétrica. Então, às vezes, as turmas são mescladas por muitos motivos. Também, um aluno que é reprovado uma vez, da segunda vez é provável que ele consiga matricular-se em uma turma com gente de tudo quanto é canto.

[Como era sua prática?]

Variável. Muitas vezes, você tem que seduzir os alunos para aquela matemática, porque os alunos entram no primeiro semestre querendo engenheirar, assim como os médicos querem medicinar e os engenheiros químicos querem engenheiro quimicar, e aí eles chegam e têm logo uma Geometria Analítica pela proa, que é uma disciplina diferente, uma linguagem muito diferente. Os alunos, muitas vezes, têm muitas dificuldades com um assunto que é muito simples, mas cuja linguagem é diferente.

---

[257] Este texto é baseado na entrevista realizada com o Professor Doutor João Frederico da Costa Azevedo Meyer, realizada no dia 26/05/2014. Há observações entre colchetes. Os três pontos correspondem a pequenas pausas. As notas de rodapé são de minha responsabilidade.

O que eu fiz na economia? Era uma turma tida como uma turma complicada, e completamente avessa à matemática. Foi alguns poucos anos depois do Leontief receber o prêmio Nobel de Economia. Então, na primeira aula, eu perguntei para os alunos "tem algum prêmio Nobel de Economia que vocês conhecem?". 90% da turma conhecia o Leontief, que relaciona juro com produto interno bruto, só que é um sistema que para ser interpretado precisa de equações a derivadas parciais. Eu falei: "qual a teoria de Leontief?". Cada um falou um aspecto e eu escrevi a fórmula matemática conforme ela aparece no livro do Chang, de Matemática para Economistas e disse "olha, esse livro aqui de Economia coloca a lei de Leontief dessa forma". Todo mundo olhou para aquela fórmula sem entender nada e eu disse "vamos tentar entender o que o Leontief realmente escreveu?", "vamos", "bom, mas para isso a gente precisa saber matemática".

A última aula de Cálculo I, ou Pré-Cálculo, que eu dei foi para a turma da Farmácia, faz 5 anos. Eu fico emocionado de lembrar disso porque eles me escolheram para ser paraninfo. Eu cheguei lá – todo mundo avesso à matemática – e me declarei praticante da teoria educacional de Paulo Freire. Disse que o conhecimento era construído dialogicamente e não deu nem para terminar de falar: nesse momento todo mundo começou a bater papo e aí eu precisava gritar para me fazer entender. Mas eu comecei a aula perguntando "como é que se comporta uma droga no organismo? Vamos usar um exemplo, eu tomo tudo isso aqui de remédio, por que eu tenho que tomar de 8 em 8 horas?". Eles foram falando comigo e eu fui tentando desenhar – sem que isso fosse colocado como gráfico – o que acontecia com a droga no meu organismo: "como é que a gente pode escrever isso aqui?", "como é que a gente pode saber que é 8 horas e não 12?". Eles foram falando das experiências e eu fui escrevendo isso matematicamente e disse assim: "vamos fazer o seguinte? Uma coisa que eu não conseguir justificar para vocês por que nós estamos aprendendo eu tiro do programa e não cai na prova".

É claro que é pose [risos], porque o que a gente trabalha em Cálculo, em Geometria Analítica, em Cálculo Numérico, em Álgebra Linear, é o que precisa, senão esses engenheiros já tinham tirado isso do programa. Os engenheiros também passaram por isso, mas agora eles sabem que usam, mas a gente consegue apresentar a disciplina só baseada em problemas das engenharias.

Eu dei um curso de Métodos Matemáticos para Engenharia Agrícola. Claro que era na pós-graduação: mestrado e doutorado. Em vez de dizer "capítulo 1 isso aqui", "capítulo 2 aquilo ali", eu escrevia "capítulo 1: o problema do silo", aí descrevia o silo e falava "como a gente descobre então o melhor raio?", chegava em uma equação igual a zero e eu precisava entrar com os métodos de achar raízes, e assim eu fui fazendo em cada capítulo, ou seja, os

alunos saberem por que que estão aprendendo e, é claro, que com Cálculo isso é muito mais fácil de fazer do que com Geometria Analítica, e com Cálculo Numérico isso é muito mais fácil fazer do que com Cálculo. Você pega um problema lá daquela área de conhecimento, traz para cá, cai numa equação, iguala a zero, vai ter que achar as raízes; ou cai em um sistema, você tem que resolver o sistema e aí por diante, e...

O professor José Luiz Boldrini e eu, uma vez, fizemos uma apostila que não levava teoria, só levava problemas, uma série de problemas da vida real – da engenharia, de transporte, de comunicação – para zero de funções; depois, um só sobre interpolação; depois, um só sobre integração numérica. Mas nenhum deles era exercício, calcule, faça, derive: todos os problemas eram situações da vida real e, é claro, que deu trabalho, mas também foi muito bom. Foi muito bom porque os alunos precisaram aprender matemática, não por que eles tinham que tirar nota no final do semestre. Eles tinham que tirar nota no final do semestre e ficavam nervosos, mas eles queriam aprender aquela matemática para poder resolver o problema deles, que também não era engenheirar ainda, mas era um primeiro passo no sentido da prática de Engenharia, de Química, de coisa assim, porque tinha relação com aquilo que eles achavam que era engenharia.

Eu não sou especialista, eu não sei, eu perguntava para as pessoas "do que os alunos vão precisar no semestre que vem?", "do que eles vão precisar no ano que vem?".

Eu dei um curso de Análise Numérica, para a Estatística, em que o principal problema, que eu queria que eles resolvessem até o final do semestre, era: quantas ambulâncias seriam necessárias num posto de saúde com essas características? A gente teve que descobrir quantas pessoas eram, quantas pessoas vinham, qual o tipo de frequência, se ela oscila, se não oscila. Isso era bem da Estatística, ou seja, fazer essa descrição, transformar informação em dados de trabalho é uma coisa da Estatística. Então, eles mesmos foram construindo esse programa, que depois deu que o centro de saúde daria conta com uma ambulância e meia. Eles pediram duas ambulâncias para o centro de saúde, e foi um problema que me motivou muito; isso motiva muito o professor.

[Você fala mais desse aspecto motivacional?]

Sim, são os três pontos do Skovsmose: conteúdo crítico, distância crítica e compromisso crítico. Conteúdo crítico é: eu sei porque eu tenho que aprender esse assunto; distância crítica é: eu olho para esse assunto dando um pé atrás e colocando no contexto social; e o compromisso crítico é: eu sei por que a sociedade precisa disso. É fantástico.

É claro que eu estou falando bonito, nem sempre isso é possível. Hoje, eu consigo pensar em uma aplicação para o Teorema do Valor Médio, mas quando eu comecei, lá em 71, eu não sabia qual era a aplicação, eu não tinha a mínima ideia.

Eu também dei aula de muitos assuntos motivando os alunos com problemas de métodos que eles nunca vão usar e nunca deveriam pensar em usar. Jamais, jamais, métodos antigos de cálculo numérico clássico, teórico, que eles nunca vão usar, e métodos que eles precisam, que eles têm na máquina para resolver. Você aperta o botãozinho no Matlab que faz isso, nunca dá tempo de ver. Então, eu fui aprendendo isso com quantos anos de professor de Cálculo? Muitos, e aí você aprende também. Eu não tenho mais nada a ver com aquele professor.

Se a gente está disposto a aprender, a sua postura docente muda, é por isso que eu me diverti tanto sendo professor de matemática: a gente está num cargo, está em outro, mas a gente é professor de matemática. Eu me divirto até hoje porque eu aprendo. Imagina dar aula para essa turma de Farmácia... Eu aprendi muito com eles, com elas – era quase tudo mulher – e aconteceu uma coisa interessantíssima, isso não tem nada a ver com sua pesquisa: eu falei sobre derivadas, fizemos aplicações, estudamos, calculamos, fizemos alguns exercícios de derivada que não fazem sentido, porque o programa Mathematica ou Maple ou novo Matlab tem QI zero e paciência infinita; enquanto durar a eletricidade, ele calcula todas as derivadas, todas as integrais, com QI zero. O que você quer do seu aluno não é que ele faça uma coisa que uma máquina de QI zero faça, saber *de cor* uma integral ou outra. O livro também, a não ser que você caia dentro da água, o livro nunca esquece a fórmula. Não faz sentido, se você for fazer uma operação em mim e tiver uma dúvida, não poder consultar o livro nas aplicações, mas você tem que ensinar o conceito. Eu estava ensinando o conceito da antiderivada para esses alunos da Farmácia, de repente eu escuto um berro do fundo da classe, o rapaz falava "pára, pára, pára, quieto todo mundo: Joni, a antiderivada do seno é menos cosseno". É um conceito teórico, ele tinha sacado a ideia da antiderivada e, antes de eu colocar qualquer coisa no quadro, ele mesmo fez uma antiderivada.

Então, nas minhas aulas há, sim, lugar para a teoria, o teorema, o lema, a demonstração, mas há, também, espaço para as aplicações e não é nos exercícios finais como o livro traz. Eu gosto de colocar o problema no começo do capítulo, depois o assunto de cálculo e depois sim, eu faço exercícios.

[Que já seguem um pouco essa, essa linha da resolução de problemas, da modelagem matemática.]

Exatamente, é a linha com a qual eu trabalho: eu trabalho com Resolução de Problemas, com aplicações e com Modelagem Matemática.

O Blum, que é um dos papas mundiais da Modelagem Matemática na Educação, diz o seguinte: você tem um universo chamado Matemática, quando você aplica a Matemática à própria Matemática, você chama isso de Matemática Pura; quando você pega uma equação matemática e aplica fora, isso se chama Aplicação Matemática; quando você pega um problema de fora e traz para a Matemática para buscar entendê-lo, às vezes até resolver, mas quase sempre para entender, isso chama Modelagem Matemática. E a Resolução de Problemas é quando você trabalha com foco em Educação nessa transposição, seja a flechinha de fora para dentro, seja de dentro para fora. Isso foi a conclusão de um grupo de trabalho, de um ICTMA [Int. Community of Teachers of Mathematical Modelling and Applications], eu não sei que ano foi, eu sei que a Salete fazia parte desse grupo quando fizeram essa definição, e não é dizendo "Modelagem é isso", "vamos usar o nome Modelagem Matemática nessa situação", "naquela situação vamos falar Aplicação de Matemática", e "nessa situação vamos falar de Matemática": foi uma convenção de linguagem. Isso simplesmente serviu para categorizar o trabalho. Ajudou muito também o fato de que, desde a década de 70, eu resolvo problemas para pessoas de fora da matemática, que é o caso da Petrobras.

[Que tipo de problema você resolveu com o pessoal da Petrobras?]

Os primeiros problemas que eu resolvi foram por causa da Petrobras, mas foi com o pessoal da CETESB[258], que antigamente era Companhia Tecnológica Estadual de Saneamento Básico. A CETESB é responsável pelo meio ambiente, tem *status* de secretaria e podia, naquele tempo, legislar, aplicar multa.

Eu não queria começar a falar de Petrobras mas vamos lá. Nesse tempo, eu acho que era final da década de 80, começo da década de 90, nos 30 anos anteriores, no principal terminal marítimo de petróleo do Brasil, que é em São Sebastião, no litoral norte do estado de São Paulo, tinha acontecido mais de 300 acidentes com derramamento de óleo naquele canal entre são Sebastião e Ilha Bela, e o que a Petrobras queria e a CETESB sabia que a Petrobras precisava muito disso era: quando acontece um derramamento, onde vai parar essa mancha de óleo? Isso não era uma pergunta da CETESB. A CETESB estava pensando em planos globais

[258] Para saber mais sobre a CETESB: http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/historico/. Acesso em: 08 de setembro de 2015.

de contingência e emergenciais de limpeza: “como é que nós fazemos quando acontece derramamento?”, “quais os equipamentos que nós temos?”, “que medidas temos que tomar a curto prazo, médio prazo, longo prazo, etc?”. Uma das coisas que eles queriam é: “para onde vai essa mancha?”. Porque eles me mostraram algumas manchas que pegaram as praias ao sul do canal (fora do canal), pegaram algumas manchas que se estamparam no continente e deixaram a Ilha vazia (a Ilha perfeita, limpíssima), mas também já aconteceu o contrário. Já aconteceu um acidente pertinho do litoral ali de São Sebastião e o vento e a correnteza levar isso aí para o lado norte da Ilha. Inclusive, a mancha dava volta lá na ponta da sela e ia para dentro da baía, assim como ela dava volta naquele biquinho da Ilha e entrava naquela baía de São Sebastião.

Então, a Petrobras queria um programa de computador que contasse para onde ia a mancha. Nós trabalhamos muito intensamente nesse problema e, primeiro, nós achávamos que quando houvesse um acidente nós seríamos acionados, faríamos um programa de computador, colocaríamos os dados e daríamos a resposta para a Petrobras, mas a CETESB e a Petrobras não queriam isso. Queriam nos dar 4 ou 5 situações comuns lá, ou seja, tempo de água fria, vento do sudeste, depois um outro, vento sul, calor, ou seja, o que acontece nessas 5 ou 6 situações, situações mais comuns no canal de São Sebastião, para poder fazer um manual.

Fizemos um seminário, havia diversos projetos envolvidos e mostramos o nosso projeto. Havia até outros grupos que passaram o tempo de 20 minutos para defender o seu próprio projeto, tentando combater o nosso projeto, porque nós estávamos disputando apoio da Petrobras para a nossa pesquisa. Quando chegou a tarde, fizeram uma reunião e falaram assim “por enquanto, nós já aprovamos o projeto da Unicamp”, que foi tão atacado, por causa dos resultados, porque era exatamente o que eles observavam na vida real. Quer dizer, quando eles disseram “suponha isso”, o que nós não sabíamos é que isso já tinha acontecido no navio japonês lá trás; “suponha isso”, nós não sabíamos que isso já tinha acontecido e quando a gente fez a previsão de para onde ia a mancha, a gente estava prevendo o passado, e aí a Petrobras acreditou na gente.

É claro que não trabalhei sozinho nesse projeto, trabalhei com gente muito boa, Renato Fernandes Cantão – hoje na UFSCAR campus de Sorocaba, que é um cara espetacularmente brilhante –, Rosane Ferreira de Oliveira[259] – da UFRRJ –, Geraldo Lucio, Diomar Mistro – que está em Santa Maria. Eu não vou conseguir lembrar todos. Trabalhei com dois alunos de iniciação cientifica que usaram uma técnica de Cálculo Numérico, que ninguém

[259] Disponível em: http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000298320. Acesso em 08 de setembro de 2015.

acha que serve para coisa nenhuma. Eles fizeram interpolação polinomial em duas dimensões, porque a gente precisou daquilo e eles, que tinham estudado e passado em Cálculo Numérico, de repente, se viram obrigados a estender aquele conceito de interpolação polinomial em R^1 para interpolação polinomial em R^2. Então, eles sabem muito mais disso do que eu, que nunca precisei disso.

[Como se começa um trabalho desses?]

Vou usar uma metáfora para você. Chega a pessoa que tem a necessidade de modelar um fenômeno. Às vezes, ela nem sabe que precisa disso, e conta o problema para você. A primeira coisa que a gente faz é "até logo, boa tarde" e depois acende uma vela votiva de mais ou menos de 3m de altura para Santo Expedito. É o Santo Expedito que é das causas impossíveis? Ou São Judas Tadeu? Um dos dois. Na dúvida a gente acende vela para os dois! É uma metáfora, não sou católico. Mas aí a gente começa, como diz o professor Rodney Bassanezzi, a primeira coisa que a gente faz é medir e fazer contas.

Por exemplo, o professor Ademir Donizete Caldeira, professor hoje na Federal de São Carlos, na linha de Educação Matemática, o famoso Miro, trabalhou em uma escola e os professores diziam que os alunos eram muito irrequietos, indisciplinados e que viviam caindo nas escadas e os professores morriam de medo. O Miro disse "vamos medir e fazer contas" e mediram os degraus dessa escada e da escada de acesso dos professores, que eram escadas diferentes e descobriu que essa escada dos alunos estava fora do padrão exigido pela prefeitura para construções civis e a escada dos professores estava dentro dos padrões exigidos. Então, o que aconteceu? Trocaram. Os professores subiam naquela escada cuidadosamente e as crianças passaram a usar a escada dos professores e pararam de cair. Algumas coisas assim vêm de medir e fazer contas. Em geral a gente sabe nada; o que a gente faz é escutar, escutar, depois fazer pergunta, fazer pergunta, escutar resposta, escutar resposta, escutar resposta e a gente começar a colocar coisas no papel. Depois a gente mede e faz contas. Às vezes a medida é o cliente que traz.

Uma vez apareceu uma moça aqui, do programa teuto-argentino de pesquisa Antártica, e ela tinha um modelo matemático e dados de campo. O que ela conseguia com o modelo matemático não batia com os dados de campo. Ela veio para cá para fazer um programa comigo, para testar hipóteses: "Joni e se fosse o cubo de gelo que cai?". A gente colocava o cubo de gelo que cai no modelo e não era. "E se fosse...", não é. "E se o bichinho chupar muita areia?", não é. Então, a gente foi testando hipóteses usando esse modelo, até que a gente colocou

falta de luz e aí as respostas do modelo bateram com a realidade: modelagem mista – nem é empírica totalmente, nem é heurística totalmente. A gente raciocinou para fazer as equações e observou que os resultados batiam com a realidade. Ela fez a tese dela com essa contribuição de gente que não entende nada de Antártica, que não entende nada de alga, que não entende nada de blocos de gelo, nada, zero, e a gente ajudou a encaminhar a solução. Quer dizer, a solução não: a avaliação desse problema.

O Miro e eu estávamos fazendo projeto no PETAR[260] e descobrimos que os animais começaram a desaparecer da trilha por onde passavam os alunos. A gente começou a fazer perguntas sobre tudo. A gente, com modelagem matemática, é quando você está na idade dos porquês: "e aí os meninos acordam tal hora, tomam café", "o que eles tomam de café?", "Toddy, suco de laranja, comem pão, fruta, depois tomam mais suco e alguns repetem o copão de Toddy e saem pela trilha". A trilha sempre tem uma parte molhada e uma seca e a trilha logo depois do café era totalmente seca. O que acontece com moleque que até as 8h da manhã encheu a barriga de líquido, 2 copos de Toddy, dois copos de suco de laranja e vão começar a andar? Deu uma hora e os meninos querem fazer xixi. Eles começaram a urinar. Como faz para fazer xixi? Eles davam um passo para dentro do mato e faziam xixi ali. Aí chegava – eu estou imaginando – um preazinho, cheirava e "esse xixi não é preá, não é guará, não é onça, não, eu não vou ficar aqui não e [som para fugir]". Então, a gente sugeriu que os meninos saíssem e fizessem, depois de 40 minutos, uma caminhada de 20 minutos dentro da água. Mesmo que eles não tivessem com vontade de fazer xixi, aquele monte de água faz qualquer um fazer xixi. Pronto, os meninos faziam xixi dentro da água, mas tinha que ser 20 minutos, para não ficar aquele cheiro de urina de rodoviária. Eles tinham que passar um tempo dentro do rio, andando, saiam e iam para a trilha seca. Você não precisa acreditar, mas os animais começaram a voltar para a trilha, porque não tinha mais aquele fator desconhecido. Para resolver aquele problema, a gente não precisou entender de animais. Os biólogos falavam para a gente muito mais do que a gente queria saber. A gente precisava entender de café da manhã de criança. A gente pergunta tudo para ver o que é causa, o que é efeito, o que é resultado, o que é paralelo, o que é consequência, mas é claro que há outros problemas, como o da Petrobras.

Então, há muita coisa que você pode fazer que melhora. Não conta a verdade; a modelagem matemática nunca conta a verdade, mas conta o jeitão. Para você medir se o petróleo está chegando na ilha, você precisa medir se o vento é um vento do sul, do sudoeste, que é um vento de tempestade; você tem que botar gente observando este ponto, este ponto,

[260] Mais sobre o PETAR: http://www.ambiente.sp.gov.br/petar/. Acesso em 08 de setembro de 2015.

este ponto, “você não vai botar ninguém em são Sebastião?”, “não, lá não precisa, de acordo com o nosso manual não precisa colocar uma proteção lá, a proteção tem que ser colocada na Ilha”, “agora, se tiver um vento de nordeste, precisamos colocar a proteção na ponta do continente, de São Francisco até São Sebastião e deixar a Ilha sossegada”. Só para a gente usar os recursos de maneira ótima, isso só quem faz é a matemática, por isso que a matemática, que as pessoas chamam de pura é linda, porque ela nos fornece verdades no universo abstrato, que nos permitem trabalhar com inverdades ou verdades parciais no mundo real. Por exemplo, aqui em cima, no universo abstrato existe $\sqrt{2}$, na vida real não existe, existe 1,41, existem números decimais ou números binários. Você pega 1/5 no sistema binário, é uma dízima infinita e no sistema decimal é 0,2. Então, um número que tem uma configuração exata na matemática, não é um número exato no sentido de você trabalhar com computadores e etc., mas a matemática nos dá ferramentas que funcionam na vida real.

Você diz, por exemplo, “uma função contínua não tem derivada; imagina, se ela tiver um bico: ela não tem derivada nesse ponto”. É, no cálculo clássico, mas se você fizer o cálculo no sentido das distribuições, tem derivada sim. É com essas que a gente trabalha, porque poluição não é contínua: até aqui tem mancha de óleo, aqui não tem mais, então a poluição dá um pulo e você precisa calcular a derivada segunda dela. Na matemática clássica, forte, não dá para derivar, como é que vai calcular a derivada segunda? Nem tem derivada primeira. “Aha”, mas se você for para os espaços de Hilbert, a gente, nós, enquanto espécie humana, conseguimos inventar uma matemática onde elas são feitas de outro modo e lá tem derivada sim e tudo funciona. E se você pegar um problema da matemática forte e levar para essa nova matemática, a resposta é a mesma; mas se você pegar uma resposta lá e trouxer para cá, não entra na casa, porque nem é contínua, nem tem derivadas.

[Enunciado: a matemática como ferramenta, umas você usa mais, outras menos]

Eu costumo dizer que a Modelagem Matemática é uma ferramenta auxiliar no processo decisório profissional. Agora, o resultado do modelo matemático não pode ser considerado como uma aproximação da verdade. O resultado do modelo matemático ajuda o especialista em medicina, em meio ambiente, em odontologia a tomar a sua decisão, é uma ferramenta auxiliar.

Quando você diz, “olha tem uma fórmula matemática que diz que o reajuste inflacionário é 5,32%”, mas não é verdade isso, a ferramenta matemática é um dado auxiliar

para um economista olhar para tudo o que acontece e dizer “nós vamos trabalhar com esse índice”. A gente sempre recomenda que, quando isso vai contra a intuição do profissional, é para ele pensar duas vezes, pensar mais um pouco, por que o que é intuição? É experiência adquirida.

[Enunciado: a matemática desperta o feeling, raciocínio lógico, a intuição]

Eu acho que é mais do que isso, o Cálculo I, Cálculo II, Cálculo III, Variáveis Complexas, dão a eles instrumentos com os quais os engenheiros, por exemplo, entendem resultados de mecânica de fluidos. Quando um deles aplica uma fórmula que está no computador, uma coisa qualquer em mecânica de fluidos, ou na equação de Navier-Stokes, joga no computador, o computador resolve, ele acredita naquela resposta. Por que ele acredita nessa resposta? Porque ele viu que esse procedimento é verdadeiro, do ponto de vista da matemática abstrata, quando ele fez Cálculo III. Então, é uma ferramenta auxiliar também para que ele prepare processos decisórios, resultados, mas depende da pessoa para quem você pergunta.

[Em uma das minhas entrevistas, um engenheiro falou que o enunciado do tipo “eu não uso a matemática no meu dia a dia, mas ela me desenvolveu a intuição, me despertou um feeling para o que eu faço hoje” pode ser combatido, porque na universidade a gente acaba linearizando coisas que não é para linearizar, a gente acaba simplificando coisas que não é para simplificar e você acaba achando que tem um feeling, desenvolveu uma intuição enquanto que, às vezes, acaba confiando tanto nisso que esquece de questionar se é isso mesmo, não para mais para pensar sobre o que faz.]

O que eu falei sobre a matemática estar submissa à intuição é: por que que ele não ficou satisfeito com a linearização? Porque a intuição dele, a experiência adquirida dele, dizia que esse fenômeno não era linear. Eu brinco sempre falando com os alunos que a regra do churrasco é a não linearidade: você tem o dobro de convidados, você compra o dobro de carne, mas você compra muito mais do que o dobro da cerveja, porque um anima o outro, outro anima o um, e acaba bebendo mais. Então, o consumo da cerveja não é linear relativamente ao número de pessoas, embora o consumo de carne seja. E o tempo de deixar em cima da brasa também não é linear, é constante.

Essa intuição que eu estou falando, da experiência adquirida – nós estamos usando a mesma palavra para duas situações diferentes –, ele, com a experiência que ele tinha, intuiu

que aquela modelagem matemática não era satisfatória. Então, aquela modelagem matemática, que tem ares de verdade, ficou submissa à crítica dele, que passou a usar uma outra modelagem matemática para resolver seu problema.

O nosso primeiro programa para a Petrobras era assim também. O programa da Petrobras dizia que toda mancha, ao espalhar-se, cresce de tamanho. O modelo matemático que eles usavam era um círculo, um disco, que ia aumentando de tamanho, só que quando o disco aumenta de tamanho dentro do canal de São Sebastião, o efeito da velocidade é sobre o centro desse disco, então o disco não dava volta em cantos, em lugares onde o petróleo não entra, nunca entrou, o disco entrava com o petróleo lá dentro. É por isso que a Petrobras queria outro modelo: porque o modelo que eles estavam usando até aquele tempo não condizia com o fato real que eles viram.

Eu concordo com esse engenheiro, mas eu acho que ele concordaria comigo no conceito, não no uso da palavra, e vai ver que a palavra que deveria usar para os dois casos seria outra. Talvez lá fosse experiência adquirida, aqui seja inquietação cientifica, dialética. Eu não sei qual palavra seria a certa, pode ser que nenhum dos dois seja intuição, mas... É como a mãe da gente: hoje você faz aquele esforço para estar alegre para chegar em casa e a mãe fala "hoje você não está contente", porque há certos sinaizinhos que a mãe nem sabe dizer quais são, mas ela sabe que isso também é – aspas – "intuição", e são três intuições diferentes.

[Enunciado: a matemática representa a realidade]

Uma vez, um cientista chamado Schröedinger disse que o número de variáveis em qualquer problema da vida real é aproximadamente o número de Avogadro[261]. Lembra do número de Avogadro da escola, que é 6 vírgula alguém vezes 10^{23}?

Como é o equilíbrio térmico dessa sala? Você está relaxada, você dormiu bem, as minhas respostas estão chatas, seu metabolismo cai, você gera menos calor, eu estou entusiasmado falando das minhas coisas, eu tenho metabolismo maior, você tem cabelo, então tem menos perda de calor pela cabeça do que eu, que tenho um carecão gigante, uma testa enorme, então eu perco mais calor, a idade das lâmpadas, como estão produzindo? Como é a transmissão? Como é o reator? Quanto gás que tem dentro delas? O que a posição delas faz em relação à transmissão de calor? O que as janelas fazem? Que tipo de vento tem lá fora? Tudo isso são variáveis que deveriam ser consideradas, mas a gente nunca consegue colocar todas as

[261] Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Constante_de_Avogadro. Acesso em: 18 de setembro de 2015.

variáveis. Alguns modelos matemáticos que consideram muitas variáveis, são chamados de modelo de espaguete, porque tem tanta flechinha ligando um fenômeno ao outro, que se você mexer no tanto de ureia, que escorre para dentro de um rio, você não consegue chegar no peixinho, se o peixinho está sofrendo ou não, porque tem tanta flechinha, tanta coisa que pode acontecer com a ureia que não faz sentido. A matemática consegue simplificar isso aí, a física melhor ainda. Se eu tivesse em cima de um prédio alto, não tem janela, sobe de elevador, não tem escada, ou tem, mas a escada é em caracol, e você quer saber quantos andares tem, um jeito mais fácil é subir lá, pegar uma esferinha, soltar, ver quanto tempo ela leva para chegar lá em baixo e usar a equação, satisfatória ou não, tem a resistência do ar, tem a forma do objeto, tem correntes de ar ascendentes, correntes de ar descendentes, tem vento lateral, tem muita coisa.

Então, a matemática é uma linguagem com a qual você consegue isolar variáveis, isso é muito útil para o freguês. O que o IBGE diz? "No ano que vem, o Brasil vai crescer 1,2%", ou seja, chega no dia 31 de dezembro, quem vai parir vai para a maternidade, quem vai morrer vai para o necrotério, quem vai para a balada vai para a balada, é isso que acontece? Não é isso que acontece. A matemática é uma linguagem que permite que você descreva aspectos da realidade, ou seja, crescer 1,2% significa que eu vou precisar de quantas vacinas o ano que vem? Quantos leitos em hospital? Essa matemática ajuda a gente a fazer certas relações, mas é uma linguagem incompleta, como toda linguagem.

[Enunciado: a matemática é a base, fundamento da engenharia.]

Eu sou matemático, sinto muito, eu não sei responder isso para você. Eu sei que a Engenharia se baseia em Matemática e em Física. Conforme a Engenharia, se baseia no estudo de materiais ou em resultados químicos. Já pensou você, que trabalha com engenharia agrícola, na Faculdade de Engenharia Agrícola, e está trabalhando com assentamentos rurais? A matemática é importante, estatística é importante, mas eu jamais diria que essa área de engenharia agrícola tem matemática como base.

[Se pegarmos o curso de Controle e Automação da Unicamp a maioria das disciplinas dependem de Cálculo I e Geometria Analítica e Vetores: se tirarmos essas duas disciplinas, o que fica? Como fica essa questão de pré-requisito? Seria possível um curso assim? Isso é um exercício de pensar nas consequências disso tudo, na estruturação de um curso, até onde vamos ou não com essa ferramenta matemática. Na Olin College, por exemplo, os cursos de engenharia começam com pessoas e terminam com pessoas, tendo a resolução de problemas

como base, não eliminam disciplinas de Cálculo, mas mudam o modo de passar por uma parte básica.]

Vamos pegar Engenharia Química e vamos tirar Química do comecinho. Vamos começar com a Engenharia Civil e vamos tirar a Física I. Você entende que isso pode ser feito sobre muitas coisas? Você está olhando do ponto de vista técnico, uma visão bem tecnicista, desculpa, não vai ficar brava, mas cadê a disciplina sobre ética?

Vou lhe contar uma história que está acontecendo, hoje, na Unicamp. A Unicamp participou de um concurso internacional para construir um teatro e ganhou. Fizeram a planta, pagaram a planta, deram para a construtora, fizeram licitação, ganhou o menor preço e foram construir o ginásio e, atenção – abre aspas –: esqueceram duas colunas para a estrutura do teatro – fecha aspas, ponto, parágrafo abre aspas – e ele está em risco de cair – fecha aspas. Cadê ética aqui? Cadê o contexto social? Cadê o meio ambiente?

Desculpa, como eu sou só matemático, eu adoro matemática, adoro matemática aplicada, enfim, estou falando como um adolescente. Quando eu acordo de manhã eu quero fazer isso na minha vida ainda, mas eu também não acho que a matemática é, como diziam os renascentistas: arte magna, a maior das artes. Eu não acho que é, eu acho que é uma ferramenta poderosíssima, que junto com outras ferramentas descrevem a vida.

Você não vai ficar brava comigo, né? Você por acaso pegou uma das engenharias mais ligadas à Matemática Aplicada, os dois departamentos com quem nós temos mais interação. Eu já orientei muita gente na Engenharia de Sistemas, com problemas de biomatemática, estou orientando uma pessoa do departamento de Automação com problema de produção de carne. A rigor estamos estudando o controle biológico de uma praga que chama mosca dos chifres, não vem o caso. Mas você trabalhou com duas engenharias que têm uma necessidade grande de matemática. Não é que matemática é causa e a engenharia é efeito, mas eu vejo mais que a escolha do programa é efeito da causa engenharia. Se você escolher uma outra engenharia, Engenharia Química, por exemplo, você pode ter um resultado diferente para essa pergunta. Se escolhe Engenharia de Sistema pode ter outra. Em Engenharia de Sistemas, a lógica clássica é mais importante do que na Engenharia Mecânica, por causa dos sistemas.

Você disse uma outra coisa que para mim é muito importante. Eu digo: o aluno passa a vida inteira na universidade, aprendendo a dar respostas, e se é um exercício par, no fim do livro tem as respostas certas. Na vida real, não existe isso; não existe exercício com número par e com resposta certa no fim do livro. Na vida real, na maior parte das vezes, não existe apenas pergunta matemática, existe pergunta da sociedade: onde vai parar o petróleo? Então, a

gente tem que aprender a fazer perguntas, sim. Você passa 5 anos aprendendo a dar respostas, põe o pé para fora da universidade e diz "qual é a pergunta, tio?", e a sociedade diz assim "não, quem faz a pergunta é você, nós não temos a menor ideia, eu só sei que o ônibus não chega no horário". Então, a relação causa e efeito aí depende muito do ponto de vista.

O Ubiratan D'Ambrósio contou uma experiência que aconteceu na Dinamarca. Você entra na universidade e se inscreve em um projeto: projeto do hospital, projeto das represas, projeto da nova ordem pública, projeto do novo sistema do código civil. Você se envolve nesse projeto e vai buscar tudo o que precisa para resolver os problemas desse projeto. Se você estiver na medicina, na clínica ou na medicina social, você vai fazer um curso diferente se você estiver no projeto de construção de represas ou de aproveitamento de energia eólica. É interessante, é uma outra função que não tem essa coisa linear.

A Olin com as nossas universidades, são universos diferentes; a distância você mede dentro do mesmo universo. Você tem gente, ainda, ensinando álgebra linear usando Regra de Cramer!

Eu já fiz aplicações para pessoas de fora da matemática sem usar integral numérica, eu já fiz sem usar equações diferenciais parciais, eu já fiz sem usar isso e sem usar aquilo, mas eu nunca fiz uma aplicação que não usasse Álgebra Linear, nunca na minha vida. Mesmo os problemas não lineares, eu me baseio em técnicas da Álgebra Linear, que são básicas. Eu preciso calcular autovetores, mas não autovetores de sisteminha 3x3, que você fica fazendo conta com calculadora ou fazendo rascunho com caneta Bic. Eu tenho que calcular autovetores e autovalores de sistema que são 17x17, por exemplo, e o que pesa para mim não é a resposta, porque não tem autovetor único. Se você multiplicar por 15 ou por -18, você ainda tem o autovetor: é o jeitão do autovetor, o que ele conta sobre a realidade [que importa]. Então, eu nunca fiz uma aplicação que não passasse por conhecimentos de Álgebra Linear, mas nunca esses conhecimentos são dados do jeito que a gente faz em Álgebra Linear, nunca, nunca.

[Na Petrobras tem a Universidade Petrobras. As pessoas fazem 5 anos de um curso de engenharia e depois vão fazer um curso de formação na Universidade Petrobras quando passam no concurso, porque a Universidade Petrobras é uma espécie de ponte que liga a formação universitária com a indústria, com o campo de trabalho. Como você vê isso?]

Nós não estamos falando só de matemática, estamos falando sobre muita coisa!

É impensável fazer essa ponte sem que você tenha um potencial matemático para entender fenômenos, um modelo muitas vezes faz você entender o fenômeno. O professor

Miguel Petrere, que dava aula em Rio Claro, dizia que o modelo é bom mesmo, estou usando a expressão dele, quando você joga ele fora. Por que quando joga fora um modelo ele foi bom? Porque aquele modelo fez você entender o problema de tal modo que você quer incorporar outra variável ou a mesma variável de outro jeito. Então, você apaga aquele modelo e vai trabalhar com um novo, ou seja, o modelo deu a você condições de você entender melhor o fenômeno. Agora, isso envolve Química, Física, mas é muito difícil, muito difícil, fazer isso sem Matemática.

[*Como você vê essa modelagem que você trabalhou nos projetos com a Petrobras, por exemplo, com a modelagem que é trabalhada, seja na escola seja na universidade? Às vezes me parece que existe uma simplificação, um artificialização.*]

Assim como a matemática não dá conta de toda a realidade. A realidade também não dá conta de toda a matemática. Eu só estou dizendo que modelagem matemática é o que dá para fazer na esperança de jogar o modelo fora. Se eu conseguir resolver um problema com a tabuada do 1 ou do 2, eu estou satisfeitíssimo.

Modelagem matemática na vida profissional, não é melhor se eu uso matemática mais sofisticada e mais elegante, não é. Eu já escutei de um rapaz, que trabalha com Matemática Aplicada em uma firma, que o gerente disse "eu tenho reunião hoje às 16h com o vice-presidente que vem da Venezuela e eu quero que você me otimize isso hoje até às 16h". Otimizar um processo é lento, é pegar uma norma, elevar ao quadrado e calcular o mínimo dessa função, que não tem derivada, claro, porque a norma tem esse biquinho aqui. "Eu tenho que otimizar, eu tenho que calcular esse mínimo como que... daqui até às 16h da tarde, você está brincando comigo?". Então, o que que dá para fazer? O cara que tem uma matemática sofisticadíssima, que ganhou prêmio, etc., de repente ele tem que trabalhar com tabuada do 2? Porque essa é a exigência.

Uma vez nós resolvemos o seguinte problema para um professor do hospital: "qual o tamanho que deve ter a única peça importada de um rim artificial para 78% dos casos no Brasil?". Essa era a única peça importada e a mais cara. Nós descobrimos que o tamanho que se importava era maior do que precisava para a maior parte dos casos no Brasil. Então, podia fazer algumas poucas máquinas com esse tubo grande, é um tubo capilar semipermeável. Você passava o sangue e as partículas de sujeira saíam mas não voltavam. Nós levamos 7 meses, só sete meses para dizer "não, você pode fazer 60 % das máquinas com 75% do tamanho da peça importada; você economiza uma fortuna com isso aí". O professor falou "ah, não estou mais

interessado, demorou muito". A gente foi usar espaços de Hilbert e levamos só 7 meses para resolver isso aí e demorou demais para ele. Então, a modelagem matemática não tem que ser de matemática sofisticada. A modelagem matemática tem que ser ultrapragmática. Eu sei que eu estou indo contra os professores que você vai encontrar, mas eu estou indo a favor da vida real.

[*Uma outra pessoa da Petrobras me disse que nos seus 29 anos de trabalho na empresa houve uma revolução em termos de tecnologia, havia modelos matemáticos que não podiam ser testados porque os computadores não davam conta e hoje já dão.*]

Concordo plenamente com ele, em gênero, número e grau.

O primeiro computador que eu usei foi no ano da graça de nosso senhor Jesus Cristo de 1967. Ele me permitia resolver sistemas de equações lineares até 10x10, mas só permitia inverter matrizes, até 9x9.

O [Renato Fernandes] Cantão, na tese dele, resolveu um sistema com 4 milhões de linhas e 4 milhões de variáveis, 4 milhões e meio. A gente não sabe o que é isso, a gente consegue escrever na linguagem da matemática pura. Agora, por que a gente consegue fazer resultados bons, nem sempre resultados satisfatórios como desse cara da Petrobras, da linearização, da intuição que você falou comigo? Mas, por que as nossas aproximações funcionam? Por causa da matemática pura.

A matemática pura fala o seguinte "pega um fenômeno qualquer, você consegue uma série – ou uma série de Taylor ou uma série de Fourier – que conta essa história tão bem quanto você quiser". Então, como eu, na hora que eu estou no mundo real e tenho que fazer conta, que só sei somar, subtrair, multiplicar e "malemá" dividir, mas "ah Joni, eu tenho uma calculadora que "seneia", que "logaritmeia", que "raiz quadradeia?"", "não senhora, você tem calculadora que só soma, subtrai e multiplica e malemá divide, só". Acontece que a matemática pura provou que com essas 3 operações e meia você consegue fazer muito mais coisas. Para mim, essa é a beleza da matemática. A matemática que me seduziu era linda; a matemática que me motiva hoje é a matemática prática. Se você divide um número pequeno por um número grande, você confia na resposta de olho fechado, não precisa nem se benzer, não precisa nem de água benta, não precisa de nada. Agora se você tiver que dividir um número grande por um número muito pequenininho, repense a vida, porque o erro da resposta, muitas vezes, é maior que o denominador, muito maior. Não vou fazer as contas com você.

É por isso que eu sempre digo para os meus alunos, de uma canção de Renato Teixeira: “o simples resolve tudo”. Não é verdade, mas é um bom começo. Por exemplo, esse cara da Petrobras que você falou que usava um modelo linear até ficar insatisfeito, aí ele mudou para um modelo quadrático, não é isso? Agora, por que não usou uma série de Fourier, que é muito mais complexa que o modelo quadrático? Eu quero uma série de Fourier com senos e cossenos hiperbólicos, é muitoooo mais sofisticada, sim, a custo de quê? E qual máquina de calcular que sabe somar, subtrair, multiplicar e malemá dividir, consegue fazer isso?

[*A última pergunta agora, o que na sua prática de trabalho em sala de aula e até mesmo nos projetos que executou é inequívoco como 2+2=4 ou como o carteiro precisar do CEP para entregar uma carta? O que te rege nesse seu trabalho?]*

Na minha prática docente todo conhecimento é construído dialogicamente, por isso que eu trabalho em grupo. Aqui você é obrigado a resolver sozinho, mas quando você for trabalhar lá fora, você tem que trabalhar em equipe. A gente, com a Petrobras de São Sebastião, trabalhava com engenheiros da Petrobras, com os técnicos da CETESB, com o secretário de turismo de Ilha Bela, com as caras da química, com os caras do departamento de águas, com muita gente. Então, na minha prática docente é isso. E uma outra coisa inequívoca para mim é que, em vez do professor ser o sujeito do ensino, o aluno é sujeito da aprendizagem. Para mim são verdades sagradas.

[*E no trabalho com a Petrobras?*]

Eu não pensei. Há uma observação: a matemática é uma ferramenta auxiliar, não é absoluta. Conforme o lugar onde você esteja 1+1 não dá dois. Você está no supermercado, tem a fila do caixa 3, tem a fila do caixa 4 e o caixa 3 fecha, então, tem uma fila, outra fila, soma 1 com 1 e dá um, concorda comigo? [risos]. Estou falando isso porque as verdades matemáticas são inequívocas no abstrato, no universo abstrato onde eu penso e imagino uma $\sqrt{2}$ perfeita, mas se eu tiver que fazer conta com $\sqrt{2}$ para resolver um problema de plantio de soja, não tem mais $\sqrt{2}$, tem 1,4.

Formaação de engenheiros: teoria e prática

Rejane: Como você relaciona o que viu na faculdade e agora na UP? Como diferencia essa primeira universidade da segunda?

Entrevistado X: A universidade é bem teórica [...] e aqui [na UP] é um curso mais prático e voltado para o trabalho e para os problemas do dia a dia, problemas corriqueiros da indústria de óleo e gás, do que na universidade, que é genérico e mais teórico, [...] sem tanta aplicação pratica direta [...]. Eu acho que a engenharia não prepara especificamente para emprego nenhum; dá a base para poder aprender várias coisas diferentes, mas não te prepara especificamente para isso. Então, é bem complicado sair da faculdade já pronto para algum trabalho, sem contar que não sabe se vai conseguir um trabalho naquela área. Você pode fazer várias cadeiras voltadas para uma certa área e conseguir um trabalho em outra. Por exemplo, eu que fiz minhas cadeiras eletivas todas para computação e trabalho em uma coisa que não tem a ver com computação, tem mais a ver com controle, [enquanto um amigo meu, que trabalha aqui] fez várias eletivas da elétrica, incluindo essa área de controle, mas não trabalhava com controles antes da Petrobras, trabalhava com controladores mais ligados à computação. É bem difícil voltar a formação para alguma coisa, porque em primeiro lugar não sabe o que quer, pelo menos eu não sabia o que eu queria. Eu continuo sem saber o que eu queria, porque eu não sei se estivesse trabalhando com outra coisa talvez eu gostasse mais. Não sei, porque essa é a primeira empresa que comecei a trabalhar. [...]. E também [a gente] não sabe como vai estar o [...] mercado, qual o emprego vai conseguir naquele momento, é bem complicado. Mas como na engenharia tem muita coisa diferente, mesmo que saiba o que vai fazer é meio difícil sair pronto de lá [da universidade]; vai sair, no máximo, com uma base um pouco melhor. Então, o curso de formação [da UP] foi o que deu a formação prática do que vou fazer. A faculdade deu só a base para a gente fazer esse curso.

Já mencionei que a Escola Politécnica da UFRJ descende da Academia Real Militar, mas até chegar nesta última, a Academia passou por várias reformas e transformações. Esta escola teve problemas de baixa procura, evasão do curso, reprovação alta e dificuldade de manter o quadro de professores por eles serem convocados pelo governo para assumir cargos políticos. Isso contribuiu para haver uma proposta de sua extinção, devido a sua aparente falta de utilidade[262], o que não se efetivou.

Mais um aspecto a colocar é que o governo tinha preocupação com a instrução prática de alunos da Academia Real Militar e de engenheiros, mas essa instrução prática também recebia muitas críticas, como a de ser mal planejada e inútil[263]. Um exemplo desta preocupação consta em contratos para construção de

[262] TELLES, 1984.
[263] Ibid., p. 87.

estradas de ferro, a saber, o Decreto de 4 de novembro de 1840, que dizia que os engenheiros deveriam ser instruídos e treinados na construção e operação de estradas de ferro. Quando as construções de estradas de ferro iniciaram no Brasil, não havia engenheiros brasileiros com experiência nisso e nem o assunto era ensinado nos cursos de formação de engenheiros. Em 1858, esse tema começou a ser ensinado enquanto já existiam três estradas de ferro em operação[264].

Dias diz que sempre foi problemática a relação da engenharia com as ciências, em particular com as matemáticas no modelo politécnico de origem francesa que influenciou o Brasil:

> [...] os principais aspectos a serem considerados são, primeiro, tanto na École Polytechnique de Paris, quanto na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, [...] as matemáticas sempre ocuparam ao longo do século XIX uma posição destacada nos seus programas de ensino, embora o significado ou o sentido dessa posição tenha assumido variantes bastante distintas ou até mesmo opostas. Segundo, essas variações de sentido e de significação da posição das matemáticas nos programas de ensino indicam como sempre foi problemática a forma de conceber a contribuição das matemáticas para a formação do engenheiro, como sempre foi polêmica essa questão para os membros dessas escolas. Terceiro, a formação eminentemente teórica ministrada na Escola Politécnica do Rio de janeiro e posteriormente em outras instituições, [...], foi um dos fatores que contribuiu para que os engenheiros brasileiros não estivessem convenientemente preparados para desempenhar funções técnicas nas grandes obras públicas que foram executadas entre o final do século XIX e as primeiras décadas do XX.[265]

Os problemas, apontados por Telles[266] e Dias[267], na Academia Real Militar possuem semelhanças de família com os problemas que são enfrentados hoje em muitos cursos de engenharia como: evasão e elevados índices de reprovação em disciplinas, principalmente nas disciplinas de Matemática, e a preocupação com a prática e o excesso de teorias.

Em uma reportagem de agosto de 2013, no Correio Braziliense[268], intitulada “Abandonando o barco”, é abordado o aumento de ingressantes nos cursos de engenharia, assim como o aumento do índice de evasão nesses cursos. A reportagem indica a necessidade de mudanças nas estruturas curriculares, porque ainda são

---

[264] TELLES, 1984, p. 188, 191, 211, 221.
[265] DIAS, 2002, p. 66.
[266] TELLES, 1984.
[267] DIAS, 2002.
[268] Disponível em: http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/eu-estudante/tf_carreira/2013/08/05/tf_carreira_interna,380689/abandonando-o-barco.shtml. Acesso em: 18 de setembro de 2015.

oferecidas poucas práticas nos anos iniciais e os ingressantes têm apresentado déficit nas disciplinas de Cálculo:

> Segundo a Abenge, o índice de desistências salta para 80% no primeiro ano do curso. “Temos um currículo com conotação muito forte na matemática e nenhuma sinergia com a profissão. O aluno fica dois anos estudando sem nenhum contato com a área profissional. Ele vai com uma sede muito grande de vivência e fica só na teoria”, comenta o consultor da Hoper Educação, Romário Davel. De acordo com ele, o currículo das escolas brasileiras possibilita a formação de um “engenheiro técnico”, e não de um “engenheiro gestor”. “Poucas universidades conseguem formar um engenheiro gestor, que tenha autonomia, e isso é culpa do currículo brasileiro, que é muito arcaico. Há instituições no exterior que sequer apresentam cálculo em seus currículos”, exemplifica. (Reportagem Abandonando o Barco)

Fiquei intrigada com a fala do consultor Romário Davel e escrevi para ele solicitando o nome de, pelo menos, uma instituição que não tenha Cálculo em seu currículo. Ele me enviou o link da Olin College of Engineering, já mencionada nesta tese. A Olin College inicia o curso de engenharia com a disciplina Modelagem e Simulação do Mundo Físico e possui uma estrutura curricular diferente do modelo brasileiro. No entanto, eu questiono se a primeira disciplina de matemática não pressupõe Cálculo Diferencial e Integral.

Na pesquisa que realizei no Banco de Teses da CAPES e nas edições da Revista de Educação Matemática *Zetetiké*, procurando por teses e dissertações defendidas no Brasil e que continham a palavra engenharia (ou engenheiro) em seus títulos[269], encontrei 30 (trinta) que, de certa forma, apresentam semelhanças com essa discussão, apontando problemas relacionados à formação em engenharia, tais como: o desanimo dos estudantes, altos índices de evasão dos cursos de engenharia, elevados índices de reprovação em disciplinas de Cálculo. Essas pesquisas[270], dentre outras[271], propõem melhores maneiras ou estratégias educacionais para se lidar com os conteúdos matemáticos em disciplinas de matemática para os cursos de engenharia, como modelagem matemática e o uso de tecnologias.

---

[269] Há, por exemplo, pesquisas sobre a disciplina *Cálculo Diferencial e Integral*, que utilizam alunos de engenharias em seus *corpus* de pesquisa, mas que não mencionam, no título, a palavra engenharia(s) ou engenheiro(s). Como o propósito deste projeto está direcionado para a(s) engenharia(s), essa especificidade foi levada em consideração na pesquisa.

[270] Por exemplo: SOARES (1997), FUSCO (2002), FRANCHI (2002), SOUZA (2008) e GOMES (2009).

[271] Exemplos dessas pesquisas são: ABDELMALACK (2011), ARAÚJO (2008), BARROSO (2009), FECCHIO (2011) e SHITSUKA (2011).

No livro organizado por Cury[272] há um conjunto de artigos de pesquisadores brasileiros que trabalham com disciplinas de matemática, ou de estatística, em cursos superiores e que trazem experiências e ideias para ajudar a lidar com os problemas relacionados com essas disciplinas. Um dos autores desta obra, afirma que as disciplinas matemáticas em cursos de serviço[273],

> [...] muitas vezes, não conseguem estabelecer relações com as demais atividades do curso, com a futura atuação profissional dos alunos e o exercício da cidadania. Nesse caso, tais disciplinas tornam-se ilhas no currículo, sem que os alunos e, muitas vezes, os professores percebam sua *raison d'être*.[274]

Existem algumas direções que o debate sobre a matemática em cursos de serviço tem trilhado:

> Uma delas é sobre que conteúdos devem integrar o programa das disciplinas, como é o caso de Lichtenberger (2002), que aborda o conteúdo matemático necessário para a formação do engenheiro de *softwares*. Outra é sobre a maneira de estruturar as disciplinas, como é o caso Flemming, Luz e Coelho (1999), que discutem mecanismos de apoio (como atendimento extraclasse e a monitoria) para alunos de engenharia, e Baldino (1999), que discute a implementação da Assimilação Solidária, proposta baseada no trabalho do aluno, [...]
> Por fim, identifico uma terceira direção. Trata-se da discussão sobre as condições oferecidas aos alunos para desenvolverem atividades específicas dentro do contexto geral da disciplina, as quais denominarei, simplesmente, ambientes de aprendizagem (SKOVSMOSE, 2000). Nesse item, o foco tem sido colocado na presença das tecnologias informáticas e das aplicações da Matemática, algumas vezes, separadas e noutras conjugadas.[275]

Essas direções estão apontadas para a melhoria das disciplinas de Matemática e não para a necessidade de disciplinas de Matemática e nem questionamentos como: os cursos de serviço funcionariam sem disciplinas de Matemática? Uma resposta para esse questionamento é dada, abaixo, por Vianna, que ministra disciplinas de matemática para cursos de serviço:

---

[272] CURY, 2004.
[273] Para Barbosa (2004), a expressão ""Matemática como curso de serviço" tem sido usada para designar as disciplinas matemáticas ministradas em graduações que não são de Matemática (HOWSON, et. al. Apud CATAPANI, 2001)" (p. 64). Em outras palavras, "trata-se daquelas de conteúdo matemático em cursos que não formam matemáticos, por exemplo, Economia, Biologia, Administração, Engenharias, Sistemas de Informação, etc." (ibidem, p. 64).
[274] BARBOSA, 2004, p. 64.
[275] Ibid.

> Penso que disciplinas específicas de matemática, ou de física, são totalmente "descartáveis" em qualquer curso de engenharia. Não creio que seja possível fazer algo assim no Brasil, mas acho que já se avançou um pouco quando algumas Universidades permitiram que os próprios "Departamentos" ou "Cursos" de Engenharia se tornem responsáveis pelas disciplinas de matemática. Assim eles "eliminam os matemáticos" do interior de seus cursos! Isso que você descreve, um monte de disciplinas "amarradas" às básicas de matemática, expressa um modo de pensar que é o seguinte: dá-se "primeiro" uma parte "teórica", para "depois" dar uma parte "prática". É a velha, muito, muito, muito velha dicotomia entre teoria e prática, com a teoria necessariamente antecedendo a prática. Essa é a visão que faz sustentar a tal "necessidade" de ter-se cursos de matemática básica no começo de todas as engenharias. Dou um exemplo concreto: os alunos sofrem para aprender álgebra vetorial nos cursos básicos, mas quando fazem disciplinas que "usam" a álgebra vetorial, já não é comum que tenham dificuldades com essa álgebra vetorial, pois eles a estão "usando". As dificuldades maiores são, por exemplo, para interpretar os fenômenos em termos vetoriais, e não dúvidas sobre "vetor em si", coisa que aliás não encontra sequer expressão entre os alunos. (Vianna)

Para este professor,

> É inequívoco que 90% do que estou ensinando será inútil. Será esquecido tão logo eles concluam a disciplina, e nunca mais lembrado depois que se formarem. Por isso é que procuro fazer que eles ampliem seus horizontes olhando para a matemática como algo que está no mundo e para a qual podem voltar – ou não – sua atenção quando necessitarem. Eu tento prepará-los PARA ISSO. (Vianna)

Para outro professor, que também leciona disciplinas de matemática para o curso de Engenharia de Sistemas Digitais, a resposta para o meu questionamento é:

> Não, aí é que não, pelo seguinte, tem uma barreira. Esse curso só serve para dizer "olha você está num nível que não tem jeito, então vai para baixo". Isso é para selecionar. 99% dos Cálculos para a formação não contribui nada, é apenas por seleção, segregação social, e por critérios que, digo mais, são critérios subsidiários. Ele está selecionando não é pela matemática, ele está selecionando, sei lá... Porque o aluno não entregou o exercício na hora, [...], porque o aluno... Talvez até por racismo, que possa haver, eu não sei, mas certamente não é por critério matemático. (Baldino)

Mesmo dizendo isso, o professor Baldino considera a formação matemática importante. Por mais que seus alunos não venham a calcular integrais na vida profissional – e caso tenham que fazer isso, eles podem utilizar *softwares* –, a formação fica no sentido de que ela contribui para que o aluno consiga abrir um livro sobre algo técnico e acompanhá-lo. Em relação às disciplinas que leciona, ele trabalha

com aplicações, o que, na minha leitura, vai no sentido de trabalhar teoria e prática juntos, umas das carências apontadas na formação de engenheiros[276].

> Por exemplo, Geometria Analítica. Tem uma parte que agora é Álgebra Linear com Geometria Analítica, então o que eu faço? Leis de Kirchhoff, Circuitos Resistivos de duas e três malhas: os alunos têm que armar o circuito, tem que resolver o sistema de equações lineares. Entro com a questão da potência máxima e mínima, trabalho autovalores e autovetores em cima de circuitos lineares, circuitos de duas, três malhas, com sistemas lineares e digo para eles – eles sentem isso – que aquilo ali é o básico, porque depois, quando eles tiverem em Circuitos Elétricos, que não vão ser mais resistivos, vai ter capacitor e indutor. Eles provavelmente vão fazer uma transformada de Laplace, mas a maneira de equacionar o circuito vai ser a mesma. Então, de saída, já em Geometria Analítica, eles sentem aquele impacto de que não estão ali para fazer matemática; estão ali para aprender matemática em cima de alguma coisa que vai durar para o resto da vida. Porque se ele vai ser engenheiro de Sistemas Digitais, de engenharia da computação com eletrônica, que é o curso, ele certamente vai valorizar essa parte. Isso eles valorizam [...]. Em Cálculo eu valorizo muito a parte de máximos e mínimos, ou seja, em Cálculo I eles têm que saber resolver problemas de otimização, aqueles problemas que estão no livro do Stewart, que é o livro que eu uso. Então, todo curso é feito em cima disso, desde o princípio, "escreva y em função de x na situação geométrica tal" [...] e eu digo para eles, "a gente vai fazer essas aplicações em circuitos elétricos, porque você nem vê se o circuito elétrico está ligado ou desligado, enquanto que na geometria, na mecânica, você pode apalpar, você pode fazer representações, que são representações palpáveis dos problemas". Não tem demonstração de teoremas, não tem nada disso. [...]. Quando chega em Matemática II, que é o Cálculo Integral, quer dizer, basicamente o fundamental é que ele aprenda a calcular áreas, volumes, trabalho, mecânica, momento de inércia, força hidrostática, tudo o que aparece na mecânica. Em Cálculo II, às vezes, eu tento entrar com alguma coisa de circuitos com energia, mas é mais complicado e aí isso é feito com alunos que começam nesse estágio que você vê 3x=0 não sabe o que é o x. Bom, depois sigo. Já tive caso em que – agora não está dando mais para fazer [...] e o currículo também mudou – Circuitos Elétricos era no terceiro período e o que eu que fazia em Matemática III – que era Equações diferenciais – e em Matemática IV – que era transformada de Fourier e Laplace – era dar aula com o mesmo livro da disciplina de Circuitos Elétricos. [...]. Depois a gente entrava no livro do Boyce, para complementar, mas os livros-texto básicos eram de eletricidade. Agora já está mais difícil, eu baixei a bola, porque os alunos também ficaram mais fracos e a disciplina de Circuitos Elétricos ficou para o quarto período. Então, agora eu estou dentro do segundo volume do livro do Stewart, mas mesmo assim eu ainda consigo fazer aplicações de Circuitos RLC[277], em série, em paralelo, eu consigo fazer essa parte de duplicidade que é o que eles veem. Eu digo para eles [...] que eles têm que imaginar que aquilo que eles estão vendo em cálculo vai ter sentido para a vida profissional deles, têm que imaginar isso. Cálculo Diferencial e Integral, eu digo "provavelmente vocês nunca vão ter que calcular uma integral na vida; se alguma vez tiver que integrar, vocês jogam no Maple, isso dá um processo numérico e vocês calculam a integral, mas a formação que vocês estão tendo para resolver isso, essa formação vai ficar [...]. (Baldino)

[276] Mais detalhes sobre a abordagem didática de Baldino podem ser vistos em: CABRAL e BALDINO (2004).
[277] Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_RLC. Acesso em: 08 de setembro de 2015.

Baldino, mesmo trabalhando com disciplinas de matemática, está familiarizado com o campo da engenharia, por possuir graduação em duas engenharias. Essa familiaridade vai ao encontro de um reconhecimento de que a matemática nos cursos de serviço deve oportunizar aos alunos o contato com suas aplicações:

> Não é à toa que Escobar (2002) argumenta que o professor, nesse caso, deve se tornar mais familiar ao campo profissional dos alunos. Com isso, rompe-se com a ideia tradicional de *dicotomizar* as disciplinas intituladas de básicas, onde geralmente estão as matemáticas e as profissionalizantes.[278]

Não é necessário que um professor de matemática tenha formação em engenharia para que ele tenha uma atuação mais familiar ao campo da engenharia, mas um aspecto que pode dificultar o contato dos alunos de cursos de serviço, em especial de engenharia, com aplicações da Matemática, pode ser a departamentalização das universidades, criticada pela Olin College e por Baldino.

> Eu fico revoltado com a departamentalização dessas universidades, feita com a reforma de 69. Departamentalizaram. Botam um professor de matemática que nunca viu nada de técnica nenhuma, formado num doutorado sobre a rebimboca da parafuseta não sei onde, chega lá com aquela empáfia de que ele é o doutor, vai dar aula para a engenharia e faz essas coisas [por exemplo, ênfase em demonstrações matemática]. (Baldino).

Os professores acabam lecionando suas disciplinas, cada um a seu modo e

> Os docentes do ciclo profissional não têm como interferir no departamento de matemática, considerando terreno alheio, por um acordo tácito de cavalheiros. Tampouco esperam que os professores desse departamento tenham algo a dizer sobre o ciclo profissional de Engenharia, já que a sua formação tem sido estritamente matemática.[279]

Converso sobre esse problema da formação estritamente matemática com Baldino, dizendo que como ele tem formação em engenharia, ele consegue trabalhar com aplicações, mas que eu já vi muitos alunos reclamando sobre a serventia de algo

---

[278] BARBOSA, 2004, p. 66. Por Brasil (2002) vemos matemática aparecer tanto no rol de conteúdos do núcleo básico como também no núcleo de conteúdos profissionalizantes por meio, por exemplo, do item matemática discreta, que me faz questionar a dicotomia apresentada, mas mantenho a citação por enfatizar a necessidade de o professor se tornar mais familiar ao futuro campo de atuação dos alunos.

[279] CABRAL e BALDINO, 2004, p. 141.

no currículo e os professores de matemática dizendo que a aplicação é algo que eles verão com os professores da engenharia. Baldino responde:

> Mas aí tem uma coisa muito interessante que eu vou te relatar. Eu tenho um aluno que é muito interessante, é um cara esforçado, bom, caprichoso, mas desses reclamões. [...]. Então, em Matemática III, onde tem Circuitos, eu comecei a fazer umas aplicações de circuitos. Aí [ele disse] "professor, isso cai em prova?". [Eu respondi] "ah, isso não cai em prova, não, é só isso aqui, tira circuitos da prova, faz a prova só com essa matemática aqui, está bom?". [Ele disse] "tá, tá bom". [Quando] chegou no período seguinte eu disse: "bom, vamos fazer a matemática". Fiz uma semana, duas, três de matemática lá, eu acho que era Transformadas de Laplace. Mas [ele disse] "professor onde eu vou aplicar isso?". Ah [risos], o mesmo! Em geral a dúvida é essa, se você não aplica [...] eles perguntam onde aplicam; se você faz aplicação perguntam se cai em prova. Eu conheço esse povo, aluno tem muita escama, aluno escapa muito. Então, você tem que encurralar, não tem outro jeito. [Eu digo] "olha a última chance sua é aprender isso, não tem outro jeito, não tem escapatória, não pode colar na prova, porque a prova é com consulta, não tem fiscalização, eu abro o jornal durante a prova, não tem como colar do companheiro". A planilha está aberta com todas as notas que ele tirou, quando ele faz uma prova hoje, na semana seguinte ele está com a prova na mão para ver se a correção que eu fiz está certa ou se está errada. Se tiver errada reclama. Todas as cartas estão na mesa, agora..., "qual é a saída?". A saída é aprender, "não tem outra chance?". Não. "Então, se não tem outro jeito eu vou tentar aprender". Aí sim ele aprende. O aluno só aprende em última instância. (Baldino)

Em relação ao uso da palavra aplicação, de um lado, os alunos dizem que os professores não aplicam os conteúdos. Se aplicam, os alunos não querem que isso seja cobrado deles. Talvez os alunos reclamem por aplicação somente no sentido de uma exibição, sem cobrança, de como um determinado conteúdo pode ser aplicado na matemática ou na própria engenharia. Por outro lado, os professores falam que não trabalham os conteúdos de forma aplicada/prática porque isso não está relacionado com a área deles ou que isso dificulta ainda mais o trabalho em suas disciplinas ou que eles não sabem aplicações.

Quando se fala em aplicação, se pensa: aplicação do quê? Esse "do quê", no universo universitário é um conjunto de conteúdos ou teorias que foram aprendidos e que se espera que os alunos usem nos laboratórios das universidades e na prática profissional.

A distinção entre aquilo que se aplica e aplicação (isto é, aquilo em que se aplica) pode ser colocada em termos da dicotomia teoria e prática ou o que pode ser chamado de *gap*, ou seja, um distanciamento ou abismo entre teoria e prática. Um *gap* não ocorre somente nas disciplinas de Matemática, mas entre elas e as demais

disciplinas de um curso de engenharia ou entre as disciplinas do curso de engenharia e o mundo profissional dos engenheiros.

A existência desse *gap*, de acordo com Ely, professor do curso de Engenharia de Controle e Automação da Unicamp, acaba justificando a criação de cursos de formação como os que a Petrobras fornece aos ingressantes na empresa ou os cursos da Embraer para lidar com suas demandas. Para Ely, esse *gap* existe tanto por conta das universidades quanto por parte das indústrias, adicionando ainda o governo:

> [...] mais um outro que poderia fazer os dois se juntarem, né? A indústria não acredita que a universidade pode fazer inovação, pode ajudar a melhorar resultados, [...], e o outro lado é que a universidade também é culpada, no momento em que a gente começa a trabalhar com pesquisas que não têm interesse aplicado, ou que têm interesse muito pequeno. E também, gastar milhões de dólares em alguma coisa que vai servir para uma coisa muito pontual, [...]. (Ely)

Ely também aponta a falta de experiência que muitos professores da universidade têm com o mundo industrial:

> [...] eu tenho experiência de centro de pesquisa. Indústria mesmo eu não tenho. Trabalhei em centro de pesquisa, pelo menos aplicado, experimental, durante 12 anos, mas tem professores que nunca foram para a indústria e têm professores que não foram para a indústria, mas fazem consultoria, têm pé lá também. A própria universidade, às vezes, dificulta a gente. A gente já teve projetos financiados, mas que não envolveria defesa de teses, e a Unicamp não aprovou. [...]. Isso é empecilho para aproximar da indústria e aproximar traz benefícios para os dois lados. Há exceções, é claro... (Ely)

Essa falta de experiência do professor na indústria faz com que muita realidade da indústria acabe não passando pela universidade:

> Por exemplo, tem um pedacinho do [controlador] PID chamado *blumpless transfer*, que é como transferir do manual para o automático. Tem hora que o controlador está comandando a válvula, abre e fecha, tem hora que você quer tirar do controlador e você mesmo fazer, ir lá e abrir e fechar a válvula. Você não pode fazer isso, desliga e... , porque vai mexer com a válvula, vai dar uma variação brusca, isso pode atrapalhar completamente o seu processo. Tem uma técnica matemática para fazer *blumpless transfer*: você passar gradualmente da mão para o controlador. Imagina se isso é dado na universidade? Não é. (Ely)

Por outro lado, o Professor Eurípedes, também professor do curso de engenharia citado, diz que não existe um *gap*, "é natural, é para ser assim, não é para

ser diferente. A universidade não é para dar experiência; a universidade tem que dar conhecimento, a experiência a pessoa só vai adquirir mesmo na vida profissional" (Eurípedes). Para Eurípedes, há um problema na compreensão do papel da universidade:

> [...] o engenheiro precisa de duas formações, o conhecimento e a experiência. Ele nunca vai adquirir experiência na universidade, ele tem um pouco de experiência nos laboratórios e a maioria das universidades não tem laboratórios muito bem equipados, principalmente nas universidades públicas, por falta de financiamento para esse tipo de coisa, especificamente. Então, a experiência que os alunos têm no curso da universidade é pequena: experimentos de laboratório. O que eles têm que adquirir nas universidades é conhecimento e conhecimento não é experiência. O bom engenheiro é aquele que consegue aliar conhecimento com experiência, o que normalmente demanda uns 10 anos de atividade profissional, [...] quando a pessoa pode ser chamada de engenheiro sênior ou engenheiro pleno. [...]. Ninguém pode sair da universidade como um engenheiro super qualificado; vai sair um engenheiro Júnior, que significa alguém que tem conhecimento, mas não tem experiência. É para ser assim, não é para ser de outro jeito. Não estou dizendo que vai ser substituído. Essas novas técnicas possíveis de aprendizado, usando uma abordagem onde você aprende fazendo, possibilita você sair com maior nível de experiência e aí tem uma falha dessas pessoas que estão, dessas universidades, que estão colocando isso como uma grande vantagem. Se você sair com muita experiência você vai ter uma deficiência de conhecimento, não tem jeito. [...] Como mecânico de automóveis, ele é um técnico que não tem domínio da matemática, mas sabe resolver uma infinidade de problemas do automóvel, porque ele tem experiência, a experiência lida com um conhecimento superficial. Conhecimento é estudo de relações de causa e efeito que têm uma representação no cérebro muito profunda. Se uma pessoa que tem experiência, mas não tem conhecimento, de repente tem que enfrentar um problema que ele nunca enfrentou antes, pode ficar completamente perdido, não vai saber raciocinar, [...], pode tomar uma solução completamente errada em relação ao que o problema demanda. O caso clássico é do pedreiro que substituiu os ferros de uma estrutura em balanço. A estrutura em balanço[280] tende a deformar [...], então os ferros têm que estar em cima. Um bom engenheiro vai projetar uma quantidade mínima de ferro para evitar que faça isso [que deforme], então foi lá o pedreiro e disse "esse negócio está muito fino, esse negócio não vai aguentar, vou botar um ferro grosso", aí bota o ferro grosso embaixo e a coisa cai porque botou o ferro grosso, entendeu? Isso quer dizer que há erros porque não tem conhecimento, ele foi fazer um trabalho baseado na experiência e [inaudível], que na verdade é a solução completamente errada. Isso ocorre com frequência. Para você ter soluções corretas para problemas complexos você tem que ter conhecimento e tem que ter experiência para evitar de ir atrás de soluções fantasmagóricas, que sejam miragens, que não vão funcionar. (Eurípedes)

Essa discussão sobre aplicação, que pode ser colocada em termos de teoria e prática, ou teoria e aplicação, ou formação teórica e formação técnica ou conhecimento e experiência, acaba virando um grande emaranhado quando se fala

[280] Exemplificações de estruturas em balanço podem ser obtidas em: http://arq5661.arq.ufsc.br/trabalhos_2012-2/balancos.pdf. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

em formação em engenharia. No entanto, nas entrevistas que realizei com os engenheiros da Petrobras, quando eles falavam sobre suas atuações não havia uma distinção entre teoria e prática, o que também não significa que não pudesse existir, como pode ser visto no trecho abaixo.

Rejane: Qual a sua atuação na refinaria?

Paulo: O curso de formação na UP me habilitou a trabalhar com 2 disciplinas: a parte de instrumentação e a parte de automação. Hoje eu me dedico mais à automação, na REDUC. Dentro da automação, o que que eu faço? Eu cuido da parte de equipamentos de automação que tem aqui na refinaria dentre outros, PLC – Controladores Lógicos Programáveis –, SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído – e tem um outro equipamento de automação, que é automação de sistema elétrico da refinaria, chama-se SCMD, mas dessa parte eu não cuido. É outro engenheiro que cuida dessa parte de automação de elétrica. PLC e SDCD são sistemas que fazem automação dos processos aqui na refinaria, então meu foco são esses sistemas. Trabalho um pouco com projetos, eu sou gestor do contrato de configuração do sistema SDCD. O principal fabricante do SDCD, que tem presença aqui na refinaria, é a ABB[281]. Então, eu sou gestor do contrato entre a refinaria e a ABB que provê serviço de configuração desse sistema.

Rejane: Você não configura?

Paulo: Eu não configuro, eu sou um fiscal de contrato. Eu faço a gestão, até porque eu ainda não fiz treinamento nesse sistema, eu não tenho a capacitação para fazer a configuração, mas eu consigo avaliar o problema. Alguma coisa eu já estou pegando de configuração desse sistema. Efetivamente eu não sou o executante.

Rejane: Problema em que sentido?

Paulo: Como eu falei, eu me dedico um pouco à parte de projeto, mas um pouco, também, ao dia a dia da refinaria e aos problemas que acontecem nesse sistema. Acontecem, às vezes, falhas que levam, por exemplo, à parada de uma unidade de processo, então eu participo da análise do que levou à parada da unidade. Eu integro comissões, grupos de trabalho, que são abertos para investigar, por exemplo, esses incidentes. Outra coisa de que eu também participo, no nível de análise, é ... Na Petrobras, a gente tem o chamado SGM, Sistema de Gestão de Mudança, que é uma forma de você documentar tudo quanto é tipo de alteração que você faz num projeto, numa configuração, num programa que roda, entre outros no SDCD. Então, eu também participo das reuniões, acompanho essas gestões de mudança. Isso é importante documentar [...] para a gente guardar esse histórico do que aconteceu, de como era antes, qual era a situação anterior, o que era desejado e como é que essa mudança foi implementada. Então, eu também participo no dia a dia da refinaria fazendo essa gestão de mudança. Que mais que eu posso dizer... O departamento onde eu trabalho, a gerência aqui é PCM – Projeto Construção e Montagem –, que é

[281] Disponível em: http://www.abb.com/industries/us/9AAC123941.aspx?country=00. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

uma gerência setorial da Engenharia. Eu estou na letra P, mas eu acompanho também a montagem na área. O que seria? O SDCD é um sistema que tem uma arquitetura onde você tem equipamentos na área industrial e no CIC que é o Centro Integrado de Controle.
O SDCD é mais a parte de cartões de aquisição de sinal de controladores de campo. Como funciona o SDCD? Você tem um hardware na área industrial próximo de seu processo e você, através de uma interface de dados, manda dados que estão acontecendo na área para um servidor que fica no CIC. Esse servidor está ligado a consoles de operação. Console de operação seria um computador com uma tela, com um teclado e mouse onde o operador tem uma visão do processo, das variáveis de processo, e ele pode fazer alterações no processo, por exemplo, mudar o setpoint de uma malha de controle, abrir ou fechar uma válvula. Então, o SDCD é essa arquitetura onde você tem digamos assim, o hardware no campo, onde roda as malhas de controle, e você tem os operadores, quer dizer o ser humano, afastado da área industrial, na frente do computador, que a gente chama de console, monitorando esse processo e fazendo as alterações que são necessárias. Como eu estava falando, a parte de montagem envolve muito essa parte de campo, de ir lá no campo, instalar novos controladores. Essa parte toda que eu também acompanho, apesar de ser do Projeto eu acompanho a parte da Montagem.

Rejane: Então acompanha desde a fiscalização, da aquisição, especificação, até mesmo a montagem lá...

Paulo: Especificação, acompanho um pouco o processo de compra, emitindo pareceres técnicos e termino na montagem, no campo, e na configuração do sistema, porque o SDCD executa uma lógica que você programou.

Rejane: E essa lógica programada são vocês que fazem ou vem do CENPES, de outro lugar, ou compra a programação?

Paulo: Varia bastante. Essa parte de programação, quem se dedica a isso é a gerência de otimização daqui da REDUC e a gerência de otimização tem bastante contato com o CENPES. O CENPES, às vezes, propõe novas estratégias de controle. Aqui na REDUC a gente tem a parte de controle avançado, otimização em tempo real, controle mulltivariável, tudo isso é coisa que é desenvolvida principalmente pelo CENPES. Quem executa a configuração em si é o pessoal terceirizado, cujo fiscal sou eu. Mas, assim, eles fazem a programação, mas quem concebe, quem estipula, calcula os parâmetros, concebe a arquitetura do sistema é basicamente o pessoal da otimização.

As distinções entre teoria e prática ou outras dicotomias surgiram no momento em que eu pedia aos entrevistados para fazerem relações entre suas atividades profissionais com o Curso de Formação da UP e com o curso de Engenharia, nos quais havia falas de que a universidade é mais teórica e a UP mais prática, como algo natural, pelo fato da universidade ser mais generalista.

Por exemplo, “uma solução prática envolve uma gama variada de teorias por trás dela, que você tem que se dedicar para fazer acontecer. Só na prática você

vê o quanto a teoria é importante para você poder desenvolver alguma coisa" (Filipe). Filipe, já mencionado nesta tese, atua na UP, mas essa atuação envolve, por exemplo, projetos junto com o CENPES, como o trabalho na área de E&P (Exploração e Produção) sobre a elaboração de um algoritmo de detecção de golfadas, também já mencionado nesta tese. Filipe fez essa afirmação, que eu coloquei, no contexto de discussão sobre teoria versus prática na formação de engenheiros e sobre aprendizagem de alguma matemática no seu campo de trabalho. Ele falou:

> Eu acho que o que eu fiz, o que eu acabei fazendo na prática, foi resgatar conceitos que eu já conhecia e adaptar à realidade do trabalho. Quer dizer, quando você aprende conceitos na faculdade, aprende de uma forma muito estanque, você aprende um conceito, depois outro, depois outro, depois aprende outro e, na realidade, está tudo junto. Na prática é tudo junto o que você usa. Então, a implementação prática de alguma técnica que tenha base matemática, para você fazer isso, você precisa primeiro ter um conhecimento forte da base matemática disponível e depois conhecer a inter-relação entre as diversas técnicas, porque senão você não consegue aplicar na prática, vai sempre esbarrar numa dificuldade pontual que pode ser por conta de alguma teoria que não está considerando. [...]. As próprias provas do Enem estão melhorando, nesse sentido de você agrupar os conceitos, porque eu acho que o caminho é esse, o caminho é mostrar cada vez mais cedo para o jovem que a teoria não existe por si só e ela se entrelaça muito com outras teorias. [...]. Você não tem uma teoria separada da outra, na verdade você tem um conjunto, que você classificou em teorias diferentes porque você precisa estudar. Você classificou para facilitar o estudo, mas no fundo no fundo as coisas estão interconectadas. (Filipe)

Com essas falas, pode-se ver a prática possuindo uma dependência da teoria, em termos de desenvolvimento, mas, ao mesmo tempo, para o desenvolvimento do algoritmo de detecção de golfadas, quem tinha o conhecimento do modo de agir quando vinha golfada para a plataforma eram os operadores e por isso as melhores atuações tiveram de ser ouvidas – o que eles faziam e quais as regras utilizadas por eles para atuar no processo – e usadas para treinar o controlador para fazer a mesma coisa, da mesma forma, dadas as condições enfrentadas pelos operadores, tal como as melhores atuações de operadores lidando com golfadas na plataforma. Isso coloca em relação práticas e teorias.

Em nenhum momento das entrevistas eu vi os engenheiros da Petrobras estabelecendo uma relação de subestimação da prática em relação à teoria ou da teoria em relação à prática, mas apontando uma certa naturalidade nessa distinção pela problemática das universidades não terem condições de formar engenheiros direcionados para as necessidades de todas as possíveis atuações de um engenheiro, justificando-se, assim, serem mais teóricas.

A partir do momento em que eu dividi o mundo das práticas de engenharia, os entrevistados também dividiram seus mundos e, mesmo parecendo natural e neutro, o uso de dicotomias pode gerar uma relação de conflito entre os seus dois polos extremos, devido a julgamentos de valor que podem ocorrer.

Em relação a essa naturalidade, ela também é vista na Educação, como aponta Veiga-Neto[282].

> Uma numerosa bibliografia técnica dedica-se atualmente a discutir os conceitos de prática e teoria, bem como suas inter-relações [...]. Inúmeros manuais de metodologia científica, compêndios de epistemologia e textos avulsos sobre pesquisa em Educação, que hoje circulam entre nós, assumem o binômio teoria-prática como um *datum*, como algo dado e evidente por si mesmo. Na sua grande maioria, tais publicações não questionam "de fora" a existência da relação, mas a tomam como natural e se lançam a procurar melhores maneiras de transitarem entre teoria e prática [...].

Para discutir a dicotomia teoria e prática e o julgamento de valor que acaba ocorrendo entre os elementos dela, Veiga-Neto[283] se volta à filosofia de Platão, que divide o mundo em sensível e inteligível. O primeiro é considerado o mundo em que vivemos, o mundo físico e ético, percebido por meio da aparência sensível das coisas, em que se tem as imagens (*eíkones*) e as opiniões (*doxas*). O segundo, que é apreendido exclusivamente pelo pensamento, é onde estão os modos de conhecimento *diánoia* (raciocínio ou pensamento discursivo e as matemáticas) e a *epistéme* (o saber verdadeiro)[284].

Essa divisão plantonista do mundo criou uma hierarquia entre eles, colocando as *doxas* em posição inferior e a *epistéme* em posição superior, sendo a atividade essencial do homem ascender das *doxas* para a *epistéme*, do mundo sensível para o mundo inteligível, se ele quer conhecer o que é o real, o que verdadeiramente existe.

A filosofia platônica se ajustou à tradição cristã medieval e as filosofias posteriores, como, por exemplo, às ciências modernas, para as quais

> A teoria – colocando-se no mundo inteligível (para os positivistas otimistas...) ou chegando cada vez mais perto do mundo inteligível (para os sisudos críticos...) – é capaz de dizer e de explicar a verdade. A teoria, bem como todos os elementos que compõem o edifício teórico – axiomas, hipótese, leis, métodos, representações, práticas de verificação, confirmação e refutação,

[282] VEIGA-NETO, 2008.
[283] Ibid.
[284] CHAUÍ, 2002.

> algoritmos etc. –, pretende justamente funcionar como uma via de ascensão que nos leva do dentro para o fora da caverna, do mundo sensível das práticas para o mundo supra-sensível/inteligível das idéias, da dúvida para a certeza, de um mundo profano para um mundo sagrado.[285]

A prática, vista como um conjunto de ações, em geral, aprendidas, repetidas, quase automáticas e habituais, na filosofia platônica ou neoplatônica diz respeito aos fatos e feitos no mundo sensível[286].

> Em outras palavras, sob o abrigo do arco platônico as próprias práticas se dão no mundo sensível, enquanto que as teorias fazem o caminho ascendente desse mundo sensível rumo ao mundo inteligível – ou, para alguns, elas até mesmo já se colocam no mundo inteligível. É justamente a partir desse ponto que teoria e prática passaram a ser pensadas em separado, ainda que ligadas entre si. Funcionando como um fundo epistemológico, como um mantra, a doutrina dos dois mundos e o correspondente binômio teoria-prática são, em nossa tradição, assumidos como uma manifestação da própria natureza do mundo. Assim naturalizados, doutrina e binômio não parecem constituir um problema maior por si mesmos.

Algumas vezes, nas falas dos meus entrevistados, a dicotomia teoria versus prática se apresentou natural, devido à grande variedade de campos de atuação de engenheiros. Nesse caso, a teoria é vista como aquilo que é possível de ser feito, a universidade como o lugar que possibilita a produção de conhecimento e o mundo profissional como o lugar da experiência. Outras vezes, essa dicotomia se apresentou como uma deficiência dos professores formadores de engenheiros, por eles não terem conhecimento de práticas de engenharia no mundo de trabalho, o que faz com que eles acabem focando apenas na teoria.

Foi mencionado, ainda, o trinômio indústria, governo e universidade como reforçador dessa dicotomia, por eles não conversarem entre si. Isso pode ser ilustrado pela reportagem[287] “Indústria quer participar de elaboração de currículo universitário”, publicada no dia 24 de novembro de 2014, em que representantes das indústrias, em discussão envolvendo acadêmicos, governo e industriais, apresentaram propostas para a elaboração dos currículos dos cursos de formação em engenharia na Confederação Nacional das Indústrias. Nessas discussões foram abordadas as dificuldades de formação de profissionais para o mercado de trabalho e valorização demasiada de disciplinas como Cálculo e, dentre outras coisas, foi proposta a

---

[285] VEIGA-NETO, 2008, p.28.
[286] Ibid.
[287] Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/educacao/2014/11/1552374-industria-quer-participar-de-elaboracao-de-curriculo-universitario.shtml. Acesso em: 18 de setembro de 2015.

integração entre os cursos e o setor de produção, com uma equipe de empresas participando na formulação de currículos de engenharia.

A proposta de integração entre os cursos e o setor de produção repercutiu favoravelmente entre os acadêmicos. No entanto, alguns mostraram ceticismo em relação a essa participação e apontaram dificuldades burocráticas das indústrias fecharem acordos com as universidades para servirem de laboratórios de ensino para os cursos de engenharia.

A teoria assume uma posição mais privilegiada que o termo prática, principalmente na formação acadêmica. No caso das engenharias, os alunos passam os dois primeiros anos com disciplinas de Matemática, de Física e de Química, uma organização teórico-disciplinar vista como uma preparação teórica necessária para se compreender e lidar com os conteúdos conceituais das disciplinas teóricas específicas das Engenharias, seguidas por disciplinas de Laboratório. Estas últimas, por sua vez, são vistas como modos de exercitar, praticar ou aplicar as teorias relativas aos problemas específicos das Engenharias, ou seja, como modos disciplinares de simulação laboratorial de modos teórico-disciplinares de organização dos conhecimentos específicos das Engenharias.

Ao mesmo tempo em que a teoria assume essa posição privilegiada, ela assume uma posição problemática, qual seja, muita teoria no início dos cursos e pouco contato com a prática gera desânimo nos estudantes, aumento dos índices de evasão dos cursos e altas reprovações em disciplinas, principalmente nas de Matemática.

> Se há uma hierarquia, se a estrutura conceitual é constituída hierarquicamente, então, há uma imposição, assumida ou não, e, se há uma imposição, há também, e necessariamente, algum tipo de violência e, portanto, também um conflito potencial entre os componentes da estrutura.[288]

Noss, Hoyles e Pozzi[289] falaram que o conhecimento forma e é formado pelas atividades do mundo de trabalho, o que me possibilita questionar uma visão de que as universidades fornecem os conhecimentos que depois serão aplicados no mundo da indústria, ou no mundo profissional, como se fosse uma via de mão única, ou seja, questionar essa hierarquia na dicotomia teoria e prática.

---

[288] DUQUE-ESTRADA, p. 50-51.
[289] NOSS, HOYLES e POZZI, 2002.

Em se tratando de matemática, quando eu perguntei aos entrevistados se eles aprenderam alguma matemática no ambiente de trabalho, a maioria ficou por um bom tempo pensando; alguns falaram que aprenderam muitas coisas, menos matemática; outros falaram que não aprenderam matemática em si e sim a matemática que entra nos modelos, por exemplo, de mecânica dos fluidos. Houve, ainda, a fala de que no trabalho é mais aplicação do que criação de algo novo, ou seja, há utilização de coisas, como a matemática, já dominadas na engenharia e direcionadas para uma aplicação específica. Essas falas parecem contradizer as de Noss, Hoyles e Pozzi[290], mas, novamente, o que se entende e se pode falar de e sobre matemática rouba a cena. Veja o trecho abaixo.

Rejane: Teve alguma matemática que você aprendeu no teu mundo de trabalho?

Quelhas: Que a matemática estava ali para eu aprender? Teve, mas são coisas que eu percebia. Acontece tal tipo de coisa, eu não consigo explicar isso com o meu conhecimento, então eu tenho que correr atrás, tentar formular isso de alguma forma. Responderia para você desse jeito.

Rejane: Essa matemática que você aprendeu, seria essa questão de buscar construção de formulação?

Quelhas: Não formular, mas tentar uma forma de enxergar corretamente o problema. Muitas vezes você não entende o problema porque você não conseguiu formular ele bem para você mesmo. Às vezes é uma coisa simples, mas você não consegue juntar as peças e dizer "ah, o problema é esse aqui, é isso, isso e isso aqui, [inaudível]", muitas vezes você está imerso no dia a dia e você acha natural, intuitivo, coisas que não deveriam ser intuitivas.

Rejane: Eu não sei se eu entendi..., eu não sei se a pergunta é clara ou não é... Dessa matemática que você aprendeu no seu mundo de trabalho, como você falaria dela?

Quelhas: É que, quando você fala dessa matemática eu fico com dificuldade de entender o que você chama por matemática, matemática é uma coisa tão vasta.

Rejane: Que matemática você aprendeu no seu dia a dia de trabalho?

Quelhas: Mas o que você quer dizer por matemática?

Rejane: Aí é você que pode fazer a relação! Que relação você faria se tivesse que dar uma resposta para isso ou até mesmo falar como você vê isso.

Quelhas: Antes de dizer matemática, eu diria formas de entender o problema, como às vezes enxergar alguns problemas que parecem simples ou parecem mais intuitivos.

---

[290] Ibid.

Mas colocar um formalismo matemático por trás, expressar ele do modo como ele deveria ser expresso, isso que eu entendo como matemática que aprendi ao longo do tempo. Muitas vezes essa capacidade de pegar o problema que tem uma roupagem que parece intuitiva, que o pessoal fala e tal, mas na verdade não é um problema bem-posto, é um problema que não foi formulado com rigor, se você fizer isso você vai acabar tirando conclusões diferentes. Isso que eu acho que seria a reposta que eu poderia te dar.

Assim como a palavra aplicação pode ser usada de diferentes modos, o mesmo ocorre para as palavras teoria, prática e matemática. Nesse jogo hierárquico-conflitual da dicotomia teoria versus prática, eu prefiro ver teorias como práticas, como jogos de linguagem guiados por ou em conformidade com diferentes normatividades, com diferentes regras. Regras que aceitamos antes de jogar um jogo de linguagem ou que estamos seguindo no próprio jogo, mas que só nos damos conta nele mesmo. Teorias como jogos de linguagem que desempenham papéis metafísicos temporários em nossas formas de vida para nos ajudar a lidar com o mundo num determinado tempo.

Olhando teorias e práticas como jogos de linguagem, surgiu novamente a questão do que seja matemática, de como olhar matemática nesses jogos de linguagem.

Noss, Hoyles e Pozzi[291] discutem duas abordagens para os estudos sobre matemática no mundo profissional. Uma delas, de forte abordagem teórica sobre o mundo de trabalho, é a cognição situada, que tem como expoente os trabalhos, por exemplo, de Jean Lave. A cognição situada está, em parte, baseada na Teoria da Atividade de Leontiev, e tem uma visão de trabalho intelectual, incluindo o trabalho matemático, que é inseparável do contexto social e cultural. Em outras palavras, a atividade matemática no trabalho é profundamente entrelaçada com as complexidades das práticas de trabalho.

Outra abordagem que os autores apontam sobre a matemática no mundo do trabalho são as pesquisas orientadas para as políticas que tentam dirigir reformas curriculares através de pesquisas de qual matemática é necessária em diferentes locais de trabalho, surgindo de uma agenda utilitária, “essa pesquisa tem tratado tipicamente como não problemática a noção que a educação matemática pode

[291] NOSS, HOYLES e POZZI, 2002.

fornecer uma fonte intelectual geral que pode ser transferida das salas de aula para o mundo de trabalho"[292].

Noss, Hoyles e Pozzi[293] criticam essas duas abordagens por haver falta de um foco epistemológico claro e problemas epistemológicos. Eles dizem que, na visão deles, a dificuldade fundamental está relacionada à conceitualização de matemática baseada em conteúdos:

> Como Nunes (1992) tem apontado: se matemática é vista como um conjunto arbitrário de representações simbólicas e procedimentos, então a definição de conhecimento matemático permanece implícita e baseada em noções culturalmente definidas de conteúdo (por exemplo número e cálculo, padrões geométricos, álgebra). Essa visão inevitavelmente enfatiza a variação da matemática através de fronteiras – entre culturas da escola e do trabalho, entre diferentes comunidades. Em consequência, similaridades são muitas vezes ignoradas, resultando de uma limitada visão de conhecimento matemático que falha em reconhecer o que é epistemologicamente invariante sob tais transformações culturais. Investigações políticas focam somente na matemática mais visível no mundo de trabalho baseada em conteúdos e convenções da escola de matemática, o que pode somente confirmar conteúdos curricularmente há muito estabelecidos tais como numeramento [numeracy], medida e interpretação gráfica básica. Dentro da pesquisa em cognição situada, por outro lado, a matemática pode ser somente caracterizada como fragmentos em um conjunto que garante a suposta impossibilidade de conceitualizar matemática em termos de estratégias mais gerais.[294]

Esses autores partem, então para estudos sobre matemática no mundo do trabalho, na prática profissional, em diferentes contextos profissionais (empregados de um banco de investimento, enfermeiras pediátricas e pilotos de avião), focando nos invariantes lógicos da estrutura matemática que levam em consideração que conhecimentos sobre a realidade representada (matematização da realidade) podem ser gerados através de inferências, usando representações mentais, e dizem que não há necessidade de manipular a realidade para verificar esses conhecimentos, por eles estarem enraizados no conhecimento matemático. O olhar se dirige para a estrutura matemática, para a exploração semântica da matemática – para problematizar as dicotomias comuns: formal-informal, concreto-abstrato, contextualizado-descontextualizado – e em ver, como uma relação dialética, a matemática como um objeto de estudo e a matemática em uso.

---

[292] Ibid., p. 18.
[293] Ibid.
[294] Ibid.

Para fazer suas análises, eles usaram diversas estratégias metodológicas, dentre elas, observações etnográficas, olhando tanto para o que eles chamam de matemática visível, que é a matemática escolar – que os permitiu construir um mapa incompleto da matemática localizada em cada contexto, em termos de um conjunto bem definido de elementos e estratégias matemáticos –, quanto para os elementos matematizáveis de uma prática, isto é, o que era passível de modelagem matemática.

Noss, Hoyles e Pozzi[295] notaram que os sujeitos de sua pesquisa usavam abordagens pessoais e mentais ou métodos para a resolução de seus problemas que diferem dos procedimentos padronizados da matemática visível.

> Os pilotos repetidamente encontram o problema do vento lateral [ou cruzado] [crosswind], então eles têm que desenvolver pelo menos um método que garanta uma solução dentro de um apropriado grau de precisão. Isso faz parte de seus treinamentos iniciais quando a eles são apresentados os métodos trigonométricos. Mas o que ficou claro a partir de nosso estudo foi que até os pilotos que estavam muito confiantes [convictos] na trigonometria nunca a usaram. Eles confiavam em métodos mentais ou que usavam tabelas e gráficos a que eles tinham tido acesso "no trabalho". Mesmo nas entrevistas fora do *cokpit*, nenhum dos pilotos usou funções trigonométricas quando trabalhou com problemas desse tipo ou quaisquer outros problemas em que, de uma perspectiva matemática, proporcionariam métodos óbvios.[296]

E por que isso acontecia? Em situações de aterrissagem, há tantos fatores envolvidos que aterrissar ou não aterrissar é uma decisão em que os procedimentos trigonométricos não são rápidos e eficientes, apesar da aterrissagem poder ser matematizada.

A mensagem que Noss, Hoyles e Pozzi deixam de seus estudos é que os profissionais fazem uso da matemática em seus trabalhos, mas o que e como eles usam podem não ser os métodos matemáticos gerais e sim os da natureza da atividade. Nesse sentido, sugerem três modos de classificar a relação entre matemática em uso e matemática *per se*:

> Primeiro, os profissionais podem lidar com os mesmos objetos e relações, mas de um modo e com uma linguagem do mundo de trabalho que diferem da matemática estabelecida. Segundo, os objetos e as relações distinguidas pelos profissionais e os modelos que eles conceituam para suas atividades podem não corresponder aos modelos padrão da matemática visível: isto é, enquanto suas concepções alcançam generalidade dentro do ambiente de trabalho, elas podem não ser as mesmas do discurso matemático (por exemplo, vento cruzado ou vento de popa em vez de triângulo de vetores).

[295] NOSS, HOYLES, POZZI, 2002.
[296] Ibid., p. 27.

> Terceiro, a generalização da matemática do mundo do trabalho pode ser limitada a um específico e bem definido conjunto de circunstancias em um trabalho específico e não em outro lugar.[297]

Os autores concluem que

> [...] se nós queremos com sucesso matematizar as atividades do mundo do trabalho, nós precisamos estar atentos às três possibilidades e ver e analisar as abstrações situadas[298] [...] desenvolvidas pelos profissionais em seu mundo de trabalho. Simplesmente olhar para a matemática visível é inadequado. Mas também nós sugerimos que há alguns estudos na tradição da cognição situada que falham ao discernir a amplitude e a riqueza dos modelos matemáticos em uso.[299]

Trazendo essa discussão para o contexto curricular dos cursos de engenharia, ao invés de olhar para a matemática como conteúdo, um curso de engenharia poderia levar em consideração os aspectos visíveis da matemática em uma prática profissional, assim como os aspectos matematizáveis dessa prática profissional de engenheiros a que esse curso de engenharia corresponde. Nesse sentido, uma das direções apontadas por Barbosa[300] sobre o debate da matemática em cursos de serviço é como os conteúdos que devem integrar o programa das disciplinas perdem espaço; mas as outras direções como a maneira de estruturar as disciplinas e as condições oferecidas aos alunos, dentro do contexto das disciplinas, ganham espaço. Nessa ampliação de espaço, a modelagem matemática e o uso de tecnologias assumem um papel importante nos cursos de engenharia, o que pode ser visto em Franchi[301].

Mas, o modo como Noss, Hoyles e Pozzi[302] fizeram suas análises me incomodou, não propriamente por deixar de se dar primazia a uma visão da matemática como um conjunto de conteúdos, mas por ainda manter uma visão da matemática como uma estrutura invariante, da qual a matemática visível – que é a matemática escolar ou universitária – faz parte, sendo a outra parte a que pode ser tirada de uma realidade, o que pode ser matematizado através da criação de modelos

---

297 Ibid., p. 33.
298 "In Noss and Hoyles (1996a), we coined the notion of *situated abstraction* to catch how the mathematical meanings children develop are shaped and constrained by tools and language, yet simultaneously capture some essence of the salient mathematical relationships." (NOSS, HOYLES e POZZI, 2002, p. 19)
299 NOSS, HOYLES e POZZI, 2002, p. 33.
300 BARBOSA, 2004.
301 FRANCHI, 2002.
302 NOSS, HOYLES e POZZI, 2002.

matemáticos, visto que as pessoas ou os profissionais, muitas vezes, não se dão conta de que o que eles fazem pode ser matematizado.

O que pode ser matematizado, no meu ponto de vista, está no olhar dos pesquisadores. Se os pesquisadores acharem que o modo como os enfermeiros se vestem, por exemplo, pode ser matematizado, seria possível incluir esse tema nas disciplinas de matemática ou em treinamentos profissionais relacionados à matemática para enfermeiros. Mas, não teríamos, nesse caso, uma redução à matemática de certas práticas não vistas como matemáticas pelos profissionais que a executam? Mas não poderia acontecer também de os pesquisadores não verem como matemática algo que os profissionais de uma determinada atividade vissem como tal, como ocorre, por exemplo, com a matemática do porco exibida num mural de uma barraca de comidas deliciosas no *Christmas markets* de Londres?

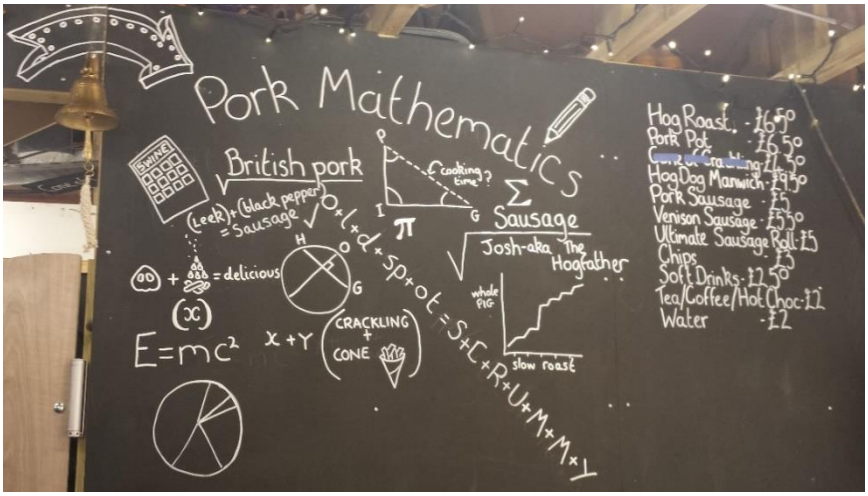


Figura 15. Matemática do Porco.

"[...] É evidente que a matemática, em certo sentido, é uma doutrina [...]"[303], mas ela "[...] é, também, um *fazer*"[304] e por ser um fazer em diferentes jogos de linguagem situados no tempo e no espaço, cada lugar pode produzir diferentes significados para ele. Em tribos indígenas, que sequer a palavra matemática existe, não faz nem sentido falar em Cálculo I, II, III e IV, Geometria Analítica e Álgebra Linear como fazeres doutrinários da matemática, mas nos jogos de linguagem da formação de engenheiros eletrônicos fez sentido. Como fez sentido também eu questionar esses fazeres, colocando-os como deslocados das práticas profissionais e ser

[303] WITTGENSTEIN, 2009, XI, p. 292.
[304] Ibid.

questionada por parecer reduzir a importância que elementos desses fazeres doutrinários exercem nas diversas atividades dos engenheiros eletrônicos.

Como eu não fiz uma etnografia em que eu teria que pensar nos modos de se ver matemática nas práticas profissionais de engenheiros, nas entrevistas, as pessoas falaram sobre ou questionaram a matemática do modo que desejaram e, ainda assim, produziram diferentes significados para ela.

No próximo texto, podese ver um pouco mais sobre a diversidade de práticas na Petrobras e, de certo modo, a trajetória da matemática em uma experiência profissional longa de engenharia.

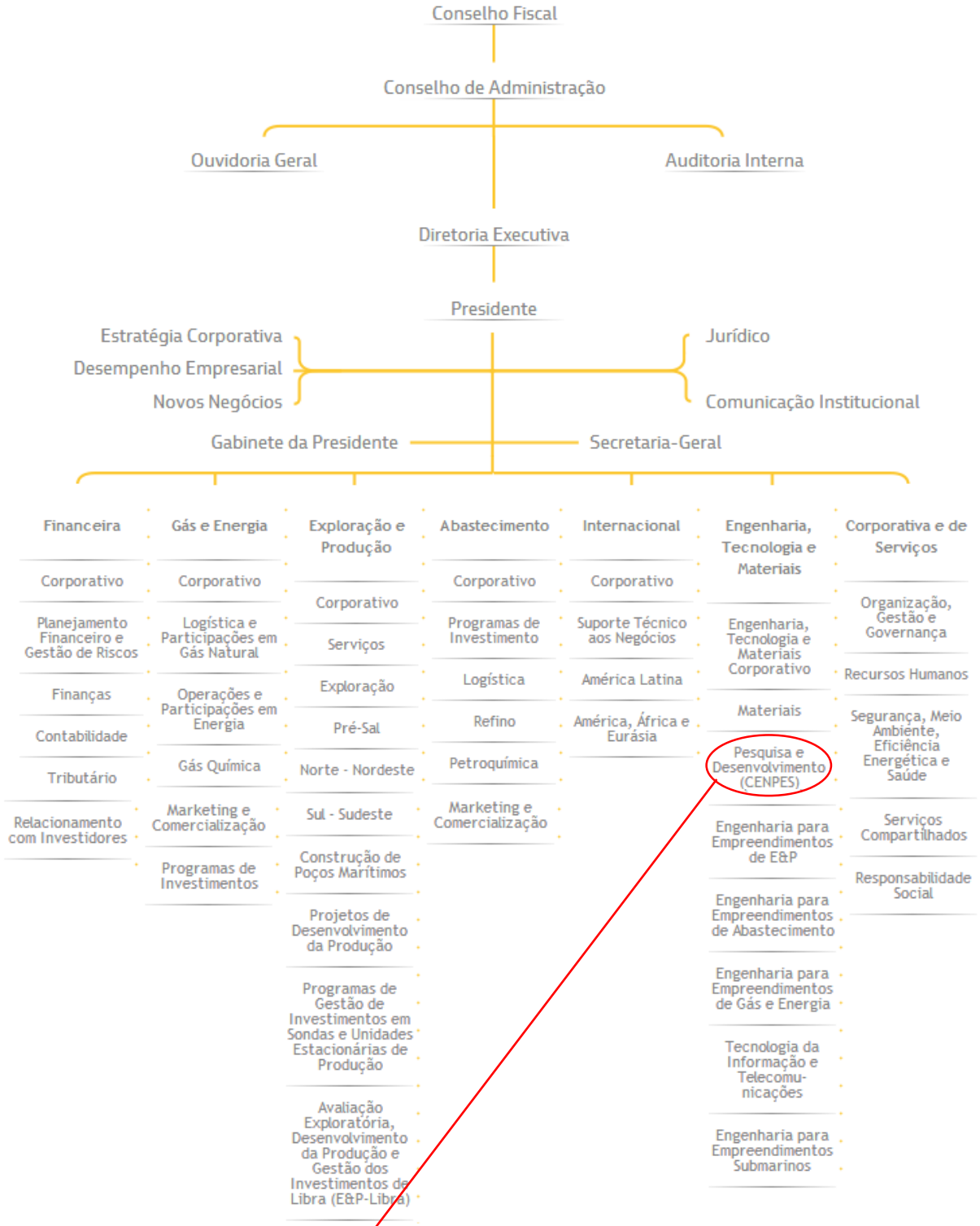


Figura 16. Adaptação do Organograma da Petrobras

Matemática em 29 anos de Petrobras[305]

[305] Este texto é baseado em entrevista concedida por Mario Cesar Mello Massa de Campos, em 04 de fevereiro de 2014. Os três pontos correspondem a pequenas pausas. O que está entre os símbolos [ ] são falas minhas durante a entrevista. As notas de rodapé são de minha responsabilidade.

Eu fiz Engenharia Elétrica no IME (Instituto Militar de Engenharia), mas desde a época da faculdade já me interessava pela área de controle e o meu projeto de fim de curso foi em controle de processos, instrumentação e automação. Fiquei uns 6 meses fazendo mestrado no IME como professor adjunto, aí eu vim para a Petrobras.

Na Petrobras, fiz um curso de formação em Engenharia de Equipamentos, que tinha também a área de automação, mas era mais focado para engenheiros mecânicos. Este curso de formação teve toda uma parte de engenharia metalúrgica, de engenharia mecânica mesmo, e de projetos. Depois desse curso, eu vim trabalhar no CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimentos da Petrobras), na área de Engenharia Básica, realizando projetos de novas unidades para a Petrobras.

Até uns 3 anos atrás eu estava mais focado na área de refino e petroquímica, apesar de realizar alguns trabalhos para a área de produção, nas plataformas, mas há uns 2 anos e meio, estou mais focado realmente na área de automação para essas plataformas de produção.

Uma outra atividade que eu realizo aqui é pesquisa, ou seja, projetos de pesquisa e desenvolvimento nessa área de automação e controle, tanto projetos internos com a equipe interna da Petrobras, quanto projetos com universidades e institutos de pesquisa no País.

Deve ter 25 anos que eu colaboro com o pessoal da Universidade Petrobras (ligada ao RH da Petrobras) nos cursos de formação para os engenheiros novos da companhia na área de automação, normalmente com as disciplinas mais do final do curso que são as de aplicações, onde a gente fala de aplicação de controle, controle industrial, sistema de controle industrial, sistema de controle avançado, automação. A gente foca muito nas aplicações, porque eles tiveram durante o curso uma base teórica e a gente dá, então, exemplos de aplicações, isto é, como que a gente usa essa teoria na prática, como o controle avançado.

[*Teria um exemplo relacionado ao curso?*]

Nas unidades industriais existem equipamentos, por exemplo, os compressores. Então, a gente estuda como controlar melhor esses compressores. Existem várias estratégias de controle. A gente descreve essas estratégias de controle, descreve os problemas que a gente tem se certas premissas não forem seguidas como: a escolha do instrumento dentro daquela estratégia de controle e a rapidez com que certas válvulas têm que atuar. É lógico que tem um sistema de segurança que percebe algum problema e desliga o compressor. Só que toda vez que você para o equipamento, você tem perdas associadas a isso, tanto de degradação daquele equipamento quanto, às vezes, perdas de produção porque, por exemplo, em uma plataforma,

se um compressor para, dificilmente você vai parar os poços, mas como o compressor parou e você não tem o que fazer com aquele gás que está sendo produzido, você acaba queimando ele e, portanto, existe um impacto ambiental. Como a regulamentação coloca um limite nessa queima, se você não controlar bem aquele equipamento, você corre o risco até de pagar multas. Então, a gente mostra esses exemplos, mostra os cuidados que têm de ser feitos, as formas de controlar e as formas de otimizar, de operar melhor aquele sistema que está ali.

Quando os engenheiros eletrônicos vão trabalhar, eles normalmente podem ir para a área de manutenção ou para a área de apoio à operação. Então, a responsabilidade deles, por exemplo, é, muitas vezes, verificar se a lógica, se o algoritmo de controle que está configurado nos equipamentos associados àquele compressor, àquela planta, está adequado. Eles têm que verificar se o que se especificou no projeto, por exemplo, está representado ali, quer dizer, eles têm que entender qual é o objetivo desse algoritmo de controle e conseguir verificar se ele atende ao que foi especificado. Depois, eles têm que conhecer, também, a linguagem de programação daquele equipamento particular onde será configurado o controle, porque muda, você tem várias linguagens para configurar aquele algoritmo. É... Depois eles, muitas vezes, trabalham com a manutenção e eles têm que ver o seguinte, se os ajustes, os valores que são colocados naquele algoritmo estão adequados, por exemplo, a máxima rotação permitida, o *setpoint* de pressão na sucção, que tem um controle que mantém a pressão naquele ponto da unidade. Eles têm que entender um pouco disso.

E existem, também, para os que vão cuidar da manutenção, sistemas que ficam monitorando os processos e tentam, através de predições, imaginar o momento em que eles vão ter que planejar uma manutenção. Os filtros, por exemplo, começam a acumular partículas e o diferencial de pressão vai crescendo. Então, você tem que prever o momento em que você não vai conseguir mais operar, porque vai perdendo eficiência do seu sistema, e aquele diferencial de pressão faz com que a pressão do compressor caia e chega um momento que ele não consegue mais comprimir porque ele precisa comprimir um diferencial tão alto de pressão que ele tem que parar para limpar ou trocar o filtro.

Bom, a matemática participa em todas essas fases. Eu vejo a matemática como uma linguagem em que você extrai uma informação de uma realidade e consegue colocar ali, em termos de equações, de formulações do problema, para começar a entender o fenômeno. Então, a gente usa bastante, primeiro para modelar os processos, modelar os equipamentos.

Quando vamos desenvolver o sistema de controle e automação, a coisa mais importante é entender o que a gente quer do processo e uma das formas de entender esse

processo é modelar, através de equações físico-químicas, correlações e tal. A gente tem várias ferramentas que ajudam para modelar esse processo.

Então, o primeiro passo é usar esse modelo para entender melhor, fazer simulações, ver como é que ele se comporta: se diminuir a pressão na sucção do compressor, por exemplo, vai demandar mais energia do acionador, do motor elétrico, da turbina, de quem estiver acionando aquele compressor.

Depois, a matemática ajuda também a entender as restrições de um problema de controle. Por exemplo, a pessoa pensa: "eu quero controlar essa pressão". Só que você atua numa certa válvula com algoritmos de controle que são lineares: eles sempre tomam a ação da mesma forma. A partir de um certo momento, ele pode estar prejudicando uma outra grandeza ou variável que poderia estar encurtando a vida daquele equipamento. Então, quando a gente simula e entende: "ah, esse sistema aqui vai até um certo limite", a partir dali tem que existir um outro algoritmo que assuma o controle, através de seletores e que diga: "não adianta pedir mais potência porque o teu motor elétrico já está na potência máxima que ele poderia; se você continuar você vai derrubar, quer dizer, vai parar, porque existe um sistema de proteção, disjuntor do motor elétrico, que vai abrir e você vai parar todo o seu processo". O sistema de controle tem que ter esses vários módulos de proteção. Na operação normal, eu uso esse algoritmo; mas, se essa corrente do motor estiver muito alta, eu tenho que mudar a forma como eu controlo aquele equipamento, abrindo mão de controlar certas variáveis, porque tem outras que são mais importantes, naquele momento. Então, a gente usa matemática para modelar, para simular, para entender o que a gente quer.

Com esse conhecimento, a gente desenvolve o projeto dos sistemas de controle e automação, coloca todas essas proteções e aí, a gente usa também simulações para testar essa lógica configurada, muitas vezes, ainda, em projeto, ou seja, a unidade nem partiu e a gente já faz essas simulações do que viria a acontecer.

Depois que o projeto é feito, existe uma fase que você implementa nos computadores industriais, o que a gente chama aqui de SDCD, Sistemas Digitais de Controle Distribuído, que são os computadores adaptados ao meio industrial, com redundância e outras coisas. Há uma linguagem de programação desses equipamentos e você pega esse material que foi definido no projeto e tenta implementar ali.

E a próxima fase seria fazer algoritmos de validação daquela lógica que está ali, porque muitas vezes você configura e acha que está perfeito, mas tem um erro, digamos assim, não percebido por quem configurou. Se você não tiver algoritmos que façam validação mais rigorosa, mais abrangente do que foi implementado, muitas vezes, você acaba percebendo o

problema lá na operação, quando a fábrica já está operando. Só que, lá na frente, você tem um custo alto, com parada do equipamento. Então, esses algoritmos, esses *softwares* tentam, matematicamente, explorar todas as combinações de eventos de forma que você possa identificar se acontecer um certo cenário como, por exemplo, a lógica que está configurada naquele sistema de automação vai travar ou vai se perder ou vai para uma situação que você não quer, etc.

Quando a unidade começa a operar, aí existe toda uma série de algoritmos matemáticos que a gente usa para ajustar esses sistemas de controle, porque os simuladores ou emuladores do processo usados no projeto são imperfeitos e o processo real tem outra dinâmica, outras não linearidades que você não usou no seu modelo. O que a gente faz, normalmente, quando a unidade está operando é fazer alguns ensaios na saída desse controlador: a gente manipula algumas válvulas, a rotação do compressor, acelera, desacelera e, baseado nos dados obtidos nesses ensaios, você usa alguns algoritmos matemáticos para retirar modelos de como é o comportamento real daquela planta. Baseado nesses modelos, a gente usa outros algoritmos para ajustar os parâmetros dos sistemas de controle, que tem todo um embasamento matemático. Então, toda vez que o controle percebe que a pressão variou um certo nível, ele sabe quanto tem que mexer na válvula para corrigir esse desvio.

Finalmente, a gente fica olhando para o equipamento, para o processo, coletando pressões, temperaturas e vazões e usa esses dados com outros algoritmos para acompanhar indicadores, para calcular a eficiência desse sistema e poder acompanhar, ao longo do tempo, como essa eficiência está. Aí vem aquela parte que eu falei de usar alguns algoritmos para modelar essa degradação, como essa degradação está acontecendo, para poder prever uma manutenção, alguma coisa.

Na área de automação essa é a visão geral, e em todas essas etapas têm vários algoritmos diferentes que a gente usa matemática, programas que, no fundo, são algoritmos que a gente implementou para aumentar a produtividade e tal.

[*Quais elementos matemáticos estão envolvidos nesses algoritmos?*]

Na parte, por exemplo, de modelagem, você tem o processo e quer entender ele bem para poder controlá-lo. Você pode ter essa parte de Equações Diferenciais Ordinárias e, dependo do processo, Equações Diferenciais Parciais. Depende do quão fundo a gente vai, pode ter CFDs (Dinâmicas dos Fluidos Computacional) quando quer analisar, por exemplo, um instrumento e saber como é que está o escoamento ali dentro dele. Então, depende do quão

fundo você quer ir na modelagem e nas equações que representam aquilo ali. Isso vai determinar o algoritmo, que tipo de abordagem matemática vai ser feita.

Nessa parte de simulação, talvez, a gente usa uma bagagem matemática maior. Quando você vai para a parte de ajuste dos controladores, quando você cita a planta e pega dados, a gente está usando filtros, transformadas de Laplace, modelos de ordem menor, já não quer uma Equação Diferencial, porque o controlador que a gente usa na prática é um controlador linear e de baixa ordem. Ele é um controlador que tem poucos parâmetros para serem ajustados, uma função de transferência de primeira e segunda ordem já está adequada porque você não tem muitos graus, muitos parâmetros no seu algoritmo de controle. Quer dizer, dependendo da fase, a gente vai usar ferramentas matemáticas diferentes.

Na parte de operação, de sistema de apoio à operação, a gente usa também otimização. Existem duas abordagens: na otimização estática, a gente fica com algoritmos que tentam detectar a estabilidade da planta. Em alguns momentos, principalmente em controle, a gente também usa um algoritmo de otimização dinâmica, tipo controle preditivo, em que fazemos uma modelagem que pode ser mais ou menos profunda; às vezes, são equações do tipo transformas de Laplace, funções de transferência que descrevem o comportamento entre as várias variáveis que você pode atuar, nas várias variáveis que você quer controlar, e esse modelo dinâmico é usado numa otimização dinâmica. Por exemplo, você quer que o compressor vá para aquela pressão, mas só que a pressão atual é essa, e ele tem um modelo de como atuar na variável que ele pode atuar, como fazer isso. Então, ele resolve o problema de otimização que leve mais rápido aquela pressão para aquele ponto. Ele descobre como ele tem que atuar nas diversas válvulas, nos diversos controles, de forma a trazer o processo mais rápido para aquele ponto desejado. Não sei se era isso que você queria.

Durante o curso tem essa parte mais básica que é o que eles vão trabalhar mais, que é a modelagem das equações, essa função transformada de Laplace, modelar o processo com funções de transferência de baixa ordem, isso é abordado no curso. A partir desse modelo que eles têm do processo, é abordado, no curso, como é que ajustam os controladores que a gente mais usa, tipo o PID, os cuidados que eles têm que tomar na hora que eles fazem esse algoritmo de controle para um não brigar com outro sistema. Essas interações e esses algoritmos para você medir essas interações entre as malhas de controle e os problemas que isso traz também são abordados.

Agora, essa parte de otimização e controle avançado que usa essa otimização dinâmica, a gente não aborda no curso. No passado a gente abordava, mas depois o pessoal resolveu colocar isso como um curso de extensão, porque nem todos vão trabalhar com essa

parte de otimização. Hoje, a gente dá um curso regular, duas vezes por ano, onde entram esses algoritmos de como resolver a otimização do processo, que algoritmos a gente usa, mas não é feito na formação não.

[*Que relação você faz entre a UP e as Universidades?*]

A Universidade Petrobras tem papel diferente das universidades, tipo: Unicamp, USP, UFRJ. Essas universidades formam o engenheiro.

A Universidade Petrobras já é uma particularidade da empresa, mas é uma boa experiência. O engenheiro entra ali e tem 8, 9 meses de um curso mais prático, com exemplos, abordando, por exemplo: Qual é a experiência da Petrobras nessa área de automação? Quais instrumentos que a gente testou e que falhou? Quais sistemas de controle que não deram certo, que tiveram problema? Problemas que a gente já viveu quando fez esse tipo de abordagem. Eu acho que ela cumpre esse papel muito bem e, em um curto espaço de tempo, tenta transmitir uma experiência de anos de uso daquela tecnologia, daquele instrumento, daquele sistema: o que deu certo, o que não deu, o que deu errado. E, depois, eu acho que a universidade interna é muito boa para reciclar, aprofundar mais em um assunto, porque as carreiras podem ser muito diferentes.

Se o novo engenheiro for trabalhar com manutenção, então, ele volta para fazer um curso de confiabilidade que, dependendo da formação de engenheiro eletrônico, ele não viu na faculdade, pois confiabilidade era mais para a engenharia de produção, a engenharia nuclear...

A universidade interna, que a gente chama de UP, ligada aos recursos humanos (RH), se preocupa com essa formação mais focada para os casos, problemas que estão acontecendo na Petrobras. Mas, a Petrobras estimula, também, a formação externa, acadêmica mesmo, muitos fazem mestrado e doutorado. Alguns, às vezes, sofrem com algumas cadeiras que têm muita matemática, mas também é importante.

[*E sobre a matemática na sua graduação? Como você a via? Como ela começou a fazer parte de sua vida aqui?*]

A universidade não tem ideia de onde aquela pessoa vai trabalhar, então ela realmente tem Cálculo I, Cálculo II e por aí vai e, muitas vezes, o próprio professor não consegue fazer conexões com aplicações. Ele foca na linguagem matemática, nos teoremas, nos axiomas e para os alunos fica meio “seco”, e vem a questão: “como é que vou aplicar?”. Apesar

que muitos livros de Cálculo têm exemplos, mas eles são teóricos. Vamos calcular a área, o volume, resolver uma equação diferencial que veio de um processo. Dependendo do curso, muitas vezes, os professores vão para os detalhes e o pessoal reclama. Realmente, existem vários cursos que dão essa base e, dependo da sua direção, para onde você vai trabalhar, talvez não use tudo aquilo.

Muitos que vão trabalhar na área financeira usarão um subconjunto de toda base que ele recebeu, mas eu acho que, no meu caso particular, eu realmente não trabalho com tudo o que eu vi na faculdade; uso um subconjunto, mas tudo aquilo ajuda. Você tem uma segurança maior de continuar aprendendo, buscar na matemática o que você precisa para resolver um certo problema.

É o dilema da educação: não pode ser muito específico, porque são inúmeras as possibilidades de carreira, hoje em dia, mas não pode ser superficial.

A matemática, ela ajuda porque ela dá uma base para você pegar um problema, escolher as equações a serem usadas, que tipo de modelagem você vai fazer e, aí, são inúmeras opções, desde as mais simples até as mais complexas.

[*Você aprendeu alguma matemática fora do ambiente de sua formação universitária?*]

Eu acho que hoje você vive estudando. Você tem novos problemas, novos desafios, você tem que continuar aprendendo. Na vida profissional, não tem como parar de continuar aprendendo essas linguagens, se aprofundar em certos casos. Então, a gente é obrigada, um pouco, a continuar a estudar, lógico que não todas aquelas matérias, mas aquelas que interessam para resolver um problema, formas diferentes de abordar um certo problema, isso é um sem fim. É lógico que depende da carreira de cada um, por exemplo, no meu caso, eu trabalho com pesquisas, projetos, simulações, operações, eu tenho que continuar desenvolvendo novos algoritmos e a base deles é matemática.

A gente tem certos problemas, por exemplo, vamos lá... problema de controle mesmo. Eu quero controlar um equipamento melhor, então, a gente pode usar simplesmente o que é o usual na indústria. Você bota uns algoritmos que são monovariáveis que eles leem uma pressão, compara com o valor desejado, tem uma equação matemática e atua em uma válvula. Por exemplo, em um vaso, em um tanque de água, se o nível está subindo muito ele tem que abrir a torneira para manter o nível em controle e se o nível está caindo, ele vai fechar a torneira. Esse é o algoritmo mais simples que a gente usa, que é um proporcional integral. Mas tem uma forma diferente de fazer isso aí? Muitas vezes, esses algoritmos pegam uma variável e uma

válvula, mas o processo tem várias variáveis e várias válvulas. Por que não usar um algoritmo que seja multivariável? Mas como fazer isso? Como é que eu vou criar esse algoritmo? Então, a gente estuda outros algoritmos. É um pouco por aí: a gente trabalha tentando formular esse problema e escrever algoritmos de controle diferentes.

Outra área que a gente usa também é na parte de diagnóstico, para acompanhar e ver como está degradando aquilo. Existem várias formas de fazer, várias formas de você representar aquele problema. Então, a gente fica procurando. O wavelet, por exemplo, que é uma área tipo filtros, uma forma de modelar, a gente acaba estudando. "Ah, vamos estudar isso aqui um pouco mais, algoritmos do tipo... Algoritmos fuzzy: como é essa matemática aqui?". Ela é uma forma de você olhar o mundo, de você representar o mundo. Será que essa formulação, esse tipo de abordagem ajudaria a resolver aquele problema? Entende? Então, a gente acaba buscando o que está surgindo aí, de algoritmos novos de otimização. Em outros problemas, a gente: "ah, vamos olhar esse outro algoritmo aqui, essa outra formulação, ela ajuda? Não ajuda?". Isso é um sem fim.

A gente tem alguns problemas e pode resolver esses problemas de diversas formas. A gente fica sempre tentando melhorar a forma como a gente está controlando, como a gente está acompanhando os algoritmos para calcular indicadores de desempenho. Qual a melhor forma de você acompanhar, por exemplo, vibrações? Eu vou usar que tipo de filtro matemático? Eu vou colocar nesse sinal para extrair, Fourier. Qual é forma com que eu olho aquele sinal no tempo e transformo ele para frequência? Vejo as frequências... Como eu olho a evolução dessas frequências para prever se a máquina vai quebrar? A matemática faz parte do dia a dia do engenheiro de controle que trabalha nessa área de projetos, implementações, manutenção, operação.

[*Se você fosse olhar para sua trajetória de Petrobras, nesses 29 anos, como foi? Eu ia tentar falar... Na evolução da matemática nesse aspecto: se você vê diferenças de conhecimentos que se usava antigamente com os que se usam hoje, conhecimentos matemáticos dentro da própria empresa, no decorrer do tempo.*]

A gente teve uma revolução aí em termos de capacidade computacional nesses últimos 30 anos. Os algoritmos, essa teoria de controle, ela também evoluiu, mas eu diria que há... há 25 anos atrás, a grande dificuldade nossa era que, às vezes, a gente tinha um algoritmo, muitos algoritmos, mas a gente não tinha velocidade computacional para colocá-los em tempo

de operação. Então, a gente até usava esses algoritmos, por exemplo, para, durante o projeto, definir e simular o processo.

No passado, a CFD não existia. Por exemplo, às vezes, tem processos que a gente simula agrupando equações e falando, por exemplo, em pressão média num certo escoamento ou que aquele escoamento tem uma pressão única, ou seja, a gente está agregando tudo num ponto só e dizendo: "ah, essa pressão é válida para toda essa tubulação aqui". A equação que descreve a evolução dessa pressão vai depender de quanto está chegando de massa aqui, quanto está saindo no final da tubulação e a gente tem uma equação diferencial ordinária simples, que descreve a evolução quando a gente perturba a vazão na entrada, a vazão na saída ou a temperatura ou o tipo de gás que está chegando ali.

Mas, às vezes, você quer fenômenos em torno de um ponto. Então, o pessoal acaba discretizando isso em um número muito grande de pequenas partes, sendo que cada parte tem as suas equações. A CFD seria isso: quando você quer ver o detalhe da evolução da pressão naquele ponto, você quer ver detalhes do projeto de um instrumento, de uma válvula. Essas ferramentas, que permitem você chegar ao detalhe de ver o escoamento ali naquele ponto, não existiam.

Na época, a gente fazia os projetos das unidades, mas só que você tinha mais, digamos assim, fatores de segurança para considerar essa sua incerteza no modelo que você está usando para projetar a unidade. Vou trocar o exemplo, sair de controle. Imagine que você tem o projeto de uma viga. Você calcula a força que tem lá, sabe que aquele material resiste até um certo limite e aí você dá uma folga dizendo que "se a força que eu espero é x, eu vou projetar essa viga supondo que a força é 2x", ou seja, eu tenho uma margem de segurança de 2. Aquela viga foi projetada para 2x, mas eu espero que ela só sofra uma força de x. Portanto, se houver um erro de fabricação naquela viga, o fator de segurança pode compensar essa incerteza e você continuar seguro. Então, à medida que você quiser diminuir esses fatores de segurança, você tem que ter menos incertezas, você tem que ter um modelo melhor, uma simulação mais próxima da realidade.

Essa evolução a gente viu bastante ao longo desses 25 anos, quer dizer, a capacidade com que a gente tem de simular os processos e os equipamentos que a gente quer controlar com maior nível de detalhe. É lógico que quando a gente vai aumentando a complexidade de uma simulação, a gente vai precisando de mais fatores e esses fatores muitas vezes não são conhecidos, então, a gente tem incerteza, continua tendo a incerteza e a gente continua tendo que ter um fator de segurança nos projetos. Isso realmente cresceu bastante nesses últimos 25 anos: a capacidade com que se pode representar e testar esses sistemas.

Uma outra coisa: no passado o operador tinha os controladores automáticos, mas eram poucos, pois eram caros. Quem era o grande controlador era o ser humano mesmo, o operador daquela planta era o grande responsável por atuar, abrir as válvulas, aumentar os *setpoints*, etc. Essa evolução da capacidade computacional também chegou para junto da operação. Então, hoje, você tem computadores que leem as pressões, as temperaturas, etc., executam algoritmos matemáticos mais sofisticados, que a gente chama de controles avançados, sistemas de otimização, otimização dinâmica que no passado não dava, era inviável e ficava só para o operador. A vantagem disso é apoiar os operadores nas suas decisões, aumentar a segurança e a rentabilidade das plantas industriais. Quando o operador não tinha esses sistemas disponíveis, ele acabava indo para uma margem de segurança maior e se afastava das possíveis restrições, tipo temperatura alta no forno ou pressão muito alta naquele vaso, para que quando ocorresse uma perturbação, estas restrições não fossem violadas. Entretanto, quando ele se afasta dessas restrições, muitas vezes ele paga um preço como, por exemplo, gasta mais energia ou produz um pouco menos do que ele poderia.

Como a capacidade computacional chegou perto também da operação, nesses últimos anos a gente foi capaz de implementar algoritmos de controle, que são sistemas de otimização em tempo real, e esses algoritmos ajudam os operadores a chegar perto dessas restrições com segurança, e com isso otimizar a planta, aumentar a rentabilidade dos processos e aumentar a eficiência energética dos processos. Então, tivemos vários ganhos associados com esses algoritmos, que rodam em tempo real ajudando o operador.

Vimos, também, a implantação de sistemas automáticos de segurança, baseados em lógicas booleanas, que param os processos rapidamente quando ocorre um descontrole, evitando explosões e/ou acidentes mais sérios. É lógico que a gente continua sempre confiando no operador, porque esses equipamentos automáticos podem falhar. Naquele exemplo que eu citei, de detectar as falhas, às vezes, isso não é possível, pois podem ter erros implícitos de projeto e/ou fabricação, que você só detecta quando tem uma emergência e o operador é obrigado a desligar, em certos momentos, esses algoritmos e assumir o controle. Desta forma, ele volta a assumir o papel antigo dele e ele deve ser treinado periodicamente, porque, na realidade, no dia a dia, ele fica mais na supervisão do que naquele trabalho que ele fazia antes de atuar nas válvulas. Então, quando o algoritmo falha, o operador tem que estar ali para corrigir. É que nem um piloto de avião: há vários controladores, redundâncias, que podem falhar e o piloto tem que perceber a falha e assumir o controle.

[*E sobre sua experiência com o chão de fábrica?*]

Nessa área de controle e automação, o profissional não pode se dissociar do chão de fábrica. Por exemplo, a gente poderia ficar aqui no projeto fazendo simulações, só que a simulação é sempre uma idealização da realidade, digamos assim, você nunca contemplou todos os aspectos do fenômeno real.

O que a gente chama de projeto aqui, nessa nossa área, é acompanhar todas as fases até a operação, até o chão de fábrica. A gente faz o projeto de um sistema, acompanha o pessoal da engenharia – que está contratando aqueles computadores industriais que vão operar e executar as lógicas –, verifica como é que eles estão configurando aquilo que foi projetado. A gente acompanha, também, nas firmas o que se chama de teste de aceitação do equipamento. Depois, quando está começando a operar, às vezes, a gente fica seis meses na fábrica, na refinaria, na plataforma, ajustando os parâmetros dos sistemas de controle e segurança para que eles funcionem adequadamente.

Quando estamos acompanhando esse chão de fábrica, muitas vezes, a gente percebe "ah, isso estava errado, porque a gente esqueceu de ver este detalhe aqui". Então, a gente ajuda a corrigir aquilo, que no modelo que a gente usou lá, no projeto, não estava bem representado. Na vida real, a gente precisa fazer pequenos ajustes no algoritmo de controle para ele atenda aos requisitos desejados.

Depois, a gente tem contato com as pessoas que são responsáveis pela manutenção, pelo chão de fábrica, e podemos treiná-los em como manter estes sistemas e, também, pegar os *feedbacks* deles: "ah isso aqui está bom", "esse controle aqui ficou ótimo", "ah, esse aqui teve esse problema". Daí a gente volta lá para o projeto e diz: "ah, realmente tem que melhorar isso aqui" ou a gente tem que pensar em um novo algoritmo que consiga prever esse problema que eles estão tendo.

Portanto, as pesquisas na área de novos controles, novos sistemas de otimização, não são viáveis sem ir até o chão de fábrica. É lógico que pode ser que tenha empresas que parem na primeira fase, mas se o engenheiro ficar só no projeto, ele fica com uma ideia da realidade bem diferente e aí corre o risco de continuar projetando os mesmos "problemas", a mesma coisa que ele projetou dez anos atrás e que dá errado lá na frente. Então, ele tem que tentar percorrer esse ciclo de chão de fábrica, ficar com a operação, acompanhar seis meses o trabalho que foi feito. "Está bom?". "Não está?". "O que não está bom?". Aí ele volta para o projeto com uma grande bagagem.

Um exemplo do que estou falando ocorre aqui na sala ao lado. A gente está acompanhando uns sistemas para plataformas de produção, ele quer manter a unidade de

produção o mais estável possível com seus sistemas de controle. Então, a gente fez um projeto de um sistema que se ajusta, como se fosse um sistema adaptativo: ele percebe automaticamente que está com alguns problemas e ele vai lá e se autoajusta para corrigir. Quando ele percebe que o nível, por exemplo, está subindo muito, ele tenta se adaptar para trazer esse nível de volta e manter aquela vazão mais estável. Bom, aí a gente implementa esse sistema. Ele roda no computador industrial da plataforma, que a gente tem acesso aqui do centro de pesquisa. A gente tem acesso a uma máquina que está na rede corporativa da companhia com os dados históricos. Então a gente pode, via rede corporativa, olhar todo o desempenho dos algoritmos e saber se ele está se comportando como deveria ou se não está. Para exemplificar, em uma dessas plataformas tivemos problemas do tipo: quando ocorre nível alto, o controle tem que abrir a válvula dos tanques para não parar toda produção por causa disso, mas a bomba que escoa aquela produção para o oleoduto tem um acionador limitado por uma potência máxima. Quando você aumenta a vazão que passa pela bomba, você demanda mais potência do acionador da bomba, que é um motor elétrico. A corrente elétrica começa a subir, subir e o sistema de segurança da bomba vai atuar e parar a bomba. Só que aí você vai perder toda a sua capacidade de abaixar o nível do tanque de produção. Então, nesse sistema, a gente percebeu isso, que o pessoal reclamava desses eventos e modificamos o algoritmo. Agora ele já percebe automaticamente que a bomba, o motor elétrico está no máximo, e para de abrir a válvula, pois "não adianta você querer continuar demandando mais vazão: apesar do nível estar subindo, você já chegou na sua capacidade máxima; então vamos esperar aí, que é o máximo que você pode fazer, não tem mais o que fazer, apenas alarmar para o operador". Então, a gente corrigiu o algoritmo e hoje ele roda mais tempo em automático, sem a intervenção do operador, pois a gente acompanha: "qual o percentual de tempo que o operador usa esse algoritmo mais avançado?".

Quando a gente vai implementar, pela primeira vez, um algoritmo, a gente vai lá, dá treinamento para os operadores, para os engenheiros de acompanhamento, de manutenção. "O algoritmo faz isso". "Como é que você parte ele?". "Como você para?". "Quais são os parâmetros que você pode ajustar?". "Quais os que não deveria ajustar?". São esses tipos de coisas. Depois, a gente fica acompanhando um bom tempo remotamente, mas vira e mexe a gente volta lá, conversa com o pessoal da base, com os operadores, que são os responsáveis, refaz o treinamento, ajusta o algoritmo, etc., até termos um bom desempenho.

[*Você está falando mais das plataformas agora*.]

Na parte de refino, esses algoritmos de controle e de otimização já vêm sendo utilizados há uns 20 anos. Começou aos poucos, foi crescendo e foram realizados vários cursos e treinamentos. Hoje, já existe uma cultura de que esses algoritmos ajudam a operação, otimizam e trazem retorno financeiro de aumento de produção, eficiência energética.

Mas, na área de plataforma não existe essa cultura ainda. A gente está querendo mostrar que esses algoritmos ajudam, mas a gente tem que adaptar esses algoritmos também, porque o que funciona bem em um processo não funciona bem em outros.

No processo de refino, você tem aqueles tanques de carga. Se você chegar na REDUC você vai ver. Recebe-se o petróleo em tanques de armazenamento grandes. Você tem as unidades que vão processar aquele óleo e você define uma vazão constante: "ah, eu vou processar tanto de vazão". Então, digamos assim, é uma unidade mais estável, onde a gente consegue fazer predições de uma forma melhor. A gente usa certos algoritmos mas, quando a gente tenta usá-los em plataforma – que em vez de ter uma produção constante, ela tem oscilações nas produções dos poços –, as oscilações fazem com que todo o processo, níveis, pressões, oscilem também, aumentando o "ruído" das variáveis que você tem que usar para controlar. Então, você tem que usar outros filtros, outros algoritmos para ter sucesso.

Uma outra diferença é que esses processos, além dessas perturbações, são também muito variantes no tempo. Ora você está produzindo esse poço, daqui a pouco chega um poço novo. Mesmo que você não coloque um poço novo, às vezes, o operador precisa parar um poço. O processo está sempre variando. Uma outra característica dessa variação é que você está produzindo de um reservatório e ao longo do tempo a composição da produção vai se alterando. Por exemplo, esse reservatório tem uma camada de gás, uma camada de óleo e uma camada de água. No início, ele produz pouco gás, muito óleo e pouca água. Daqui a um ano ele já está produzindo mais água, menos óleo e mais gás. Então, essa composição da corrente de produção vai mudando. Essa composição, quando chega na plataforma de produção, ela perturba, mais no início da produção, o compressor, depois o sistema de tratamento de água, etc. Portanto, as plataformas são um sistema mais dinâmico e o algoritmo que a gente utiliza nas refinarias e petroquímicas não é mais adequado. Temos que fazer adaptações, utilizar novos algoritmos que se adaptem mais rápido a essas características.

[*Essa questão de cultura seria uma questão de confiança?*]

A cultura sim.

Quem é o responsável pela operação são os operadores, são eles que respondem por aquilo ali. Quando você chega com uma novidade: “ah, tem aqui esse controlador novo, você vai ligar aqui, desligar”, a primeira reação é: “poxa, isso aqui é um robô, está fazendo o que eu fazia antes, que é ajustar esse *setpoint*”. Então, existe uma reação natural de que aquilo seria uma ameaça. Aí você tem toda uma questão de treinamento, de mostrar que não, que aquilo ali vai ajudar ele a ter uma maior segurança e produção, e vai tirar dele um trabalho repetitivo, por exemplo, de ficar olhando o nível e mexendo na válvula.

Um segundo ponto, é que ele percebe que aquilo ali dá um conforto operacional para ele e um ganho de segurança e de rentabilidade. Portanto, você tem que mostrar isso para o operador, para ele ganhar um pouco de confiança. A confiança aumenta quando ele percebe os ganhos de desempenho. Por exemplo, se você instala um algoritmo que tem um problema ali, ele vai desligar, ele tem que desligar mesmo. Mas, à medida que você corrige esses problemas e ele percebe que, quando ele precisa do algoritmo, ele liga e o algoritmo, o sistema atende o que ele quer, aí ele vai ganhando essa confiança, ele vai gostando e aquele fator de uso que a gente acompanha sai lá de 40% e vai para 60, 80, 90%.

O fator de uso é quanto do tempo de operação o operador usou determinado controle, determinado sistema de otimização: 80% significa que durante 80% do tempo ele usou o sistema, e, 20% do tempo, ele resolveu desligar e assumir o controle.

[*E quando ele usa, qual é o papel dele?*]

Quando o operador habilita o controle, ele fica na supervisão, definindo o que ele quer que o algoritmo de controle faça: “ah, eu quero que você mantenha a planta nessa região, essa pressão tem que estar entre tanto e tanto”. Ele não precisa mais ficar atuando na planta: “ah, eu vou abrir um pouquinho essa válvula, vou fechar aquela ali”. O algoritmo faz, mas ele continua sendo o supervisor, o que define a meta, o objetivo e acompanha o desempenho do sistema. Ele percebe que quando ocorre uma perturbação, o algoritmo de controle não respeita esse limite ou a pressão subiu mais do que deveria. Assim, ele aponta o problema e a gente tem que estudar se foi o ajuste dos parâmetros do algoritmo ou se realmente tem que repensar, colocar um outro algoritmo que faça aquele papel.

[*Se for pensar assim, hoje, na Petrobras, o que seria uma ação inequívoca na carreira do engenheiro eletrônico?*]

Um ponto são os treinamentos. A Petrobras valoriza bastante os treinamentos dos próprios engenheiros e aprendizado contínuo ou especializações mais aprofundadas. Agora, não existe uma carreira única para o engenheiro, depende um pouco se ele vai trabalhar em projetos, se ele vai trabalhar em operação, em manutenção, em pesquisa, ou na administração.

[*No seu caso, o que te orienta a agir inequivocamente, na sua atividade? Por exemplo, no caso de um carteiro, se ele não tiver um endereço, um CEP, aquelas especificações, ele não consegue fazer o trabalho dele corretamente, porque se não tiver isso fica equivocado. Quando faz 2+2=4, você tem uma entrada, uma operação, e quando deu 4 agiu de acordo com o modo correto de operar. Pensando no aspecto da inequivocidade, o que na sua carreira...*]

O problema é que, diferente do 2+2=4, na vida, na carreira, no trabalho, não é tão simples assim. São vários os fatores que levam você a ter uma menor probabilidade de erro. Apesar que, na vida profissional, do ser humano em geral, o erro faz parte. Você faz um projeto que deu um pouco errado, mas você tem que aprender com aqueles erros, não os cometer e, de preferência, criar mecanismos, no caso, de automações de testes para minimizar as chances de ter um erro escondido ali.

Na área de automação ainda tem esse problema do erro escondido que, muitas vezes, só aparece lá na frente, quando uma conjunção de fatores gera um incidente devido a uma falha no projeto. É que nem na aviação, em que os pilotos, muitas vezes, levam a culpa, mas o problema poderia ter sido menor com outro projeto. Tem erros que ficam latentes e só naquela situação, que ele pegou aquela turbulência, que aquilo apareceu, congelou os sensores...

Então, voltando para o inequívoco, eu acho que não é tão simples, eu acho que pesa a formação, a importância de você ter essas bases sólidas na formação do engenheiro. Outro ponto, é que a aprendizagem contínua é muito importante, você tem que reciclar, acompanhar as evoluções, através de conferências, através de cursos, etc. Você deve rever essas linguagens, esses novos algoritmos que estão surgindo, estar sempre se atualizando. E, no trabalho, é muito importante você não cometer equívocos, aprender com seus erros, tentar sempre melhorar, entender melhor qual é o problema a ser resolvido, buscar e voltar e buscar novas formas de fazer.

Voltando para a linguagem matemática, eu acho que ela permeia um pouco isso, porque ela ajuda a tentar ter "visões" para modelar o seu problema, olhar com ângulos diferentes e ver o que melhor te ajuda naquele problema específico. Ela permite modelar o processo, testar aquilo que foi projetado naqueles computadores para que não tenha erros, para que não gere

problemas lá na frente, acompanhar essa operação, acompanhar a vida dos sistemas e voltar para melhorar o seu projeto. Esse é o ciclo, com todas as ferramentas que permeiam esse ciclo.

Não sei se era isso que você queria, mas é muito difícil ter uma receita de bolo. Na vida dos engenheiros, das pessoas, as questões são mais complexas. Tem vários fatores que ajudam, a formação é muito importante, mas tem esse lado de saber ouvir, saber entender, evoluir, etc. Muitas vezes, você pega um problema, faz uma modelagem e diz que isso aqui é a realidade, mas isso aqui é apenas um modelo, não é a realidade. E se você não ouve, por exemplo, um operador, um engenheiro que está na manutenção, você corre o risco da sua solução não ser aplicável.

As pessoas são diferentes, as unidades também. O problema do operador é outro problema que a gente não viu no projeto, porque a gente usou nossa experiência de outra unidade, que não tem aquele problema que ele tem. Por exemplo, a subestação de energia elétrica daquela refinaria está no gargalo e qualquer corrente muito alta é um problema que pode desligar toda a refinaria e, normalmente, isso não acontece para as outras. Então, você tem uma solução que é muito boa em outro lugar. Assim, essa capacidade de você conversar, interagir com as pessoas e entender o problema e o contexto delas, ajuda você a projetar um sistema que seja mais adequado e ser inequívoco, no sentido de você trazer resultado para a unidade.

A multidisciplinaridade é uma outra característica muito importante. Hoje em dia, para que um engenheiro consiga ser efetivo, ele tem que ter uma capacidade meio generalista de ver os problemas dos outros, das outras disciplinas, não só na disciplina que ele domina. Ele tem que entender que a sua solução resolve parte do problema, mas existem outras partes que ele também tem que perceber. Por exemplo, se o sistema que ele está colocando vai resolver a parte dele, mas vai prejudicar muitos outros, então é melhor não implementar este algoritmo.

[*Você tinha falado de erros escondidos que só vão aparecer depois de um período. Você teria algum exemplo de erros que vocês notaram no que estavam fazendo, e se, na detecção desses erros escondidos, a matemática teria assumido algum papel?*]

Bom, na área de controle, existem alguns erros escondidos na filosofia com que você projeta a unidade. Por exemplo, em uma planta que a gente partiu, para melhorar a eficiência energética dela, a gente colocou um compressor que mandava direto o produto para os consumidores. Nos projetos originais desse tipo de unidade, você produzia, gastava energia para condensar esse gás e mandava ele para estocagem. Depois, para você mandar para o

consumidor, você aquecia, vaporizava e mandava para ele, gastando muita energia neste ciclo. Então veio a ideia: “ah, já que eu produzi aqui e já está em fase gasosa, por que eu não mando direto para o consumidor?”. A gente bolou um sistema que tinha um sistema de controle para mandar direto para o consumidor, para aumentar a eficiência energética do processo. Só que, quando a gente foi operar o sistema, a gente percebeu que, às vezes, o consumidor não queria aquele produto que você estava mandando. E aí, tinha um controle de pressão que via a pressão subindo e queimava, por segurança, o produto na tocha. Então, a gente estava produzindo e mandando para a tocha! A gente percebeu este erro no controle logo em um primeiro evento: “opa, temos que melhorar o algoritmo de controle”, e colocou outro controlador que, nesse caso de pressão alta, recirculava e mandava a produção para a estocagem, pelo sistema antigo.

Se a gente tivesse tido tempo para fazer um modelo matemático completo de todos os sistemas, produção, consumidores, etc., e tivesse simulado esses cenários de baixa no consumo, a gente teria, talvez, pego este problema antes do primeiro evento. Isso não deixa de ser um erro, pois você não olhou todas as restrições. De alguma forma, você, durante o projeto, não conversou com todas as pessoas, não analisou todos os cenários de falha de instrumentos: “ah, se esse instrumento falhar, como é que o sistema vai se comportar?”. A matemática ajudaria se a gente tivesse modelado. Só que, muitas vezes, nos projetos, a gente não tem tempo de fazer um modelo tão grande, considerando todos esses eventos, simulando todos os casos de falhas, disso e daquilo. Então, não deixa de ser um erro, porque faltava uma parte no algoritmo de controle que cuidasse desse caso de pressão alta, para não queimar e não desperdiçar. Esse é um exemplo de um sistema de controle e de otimização, que é uma das atividades do engenheiro eletrônico.

Uma outra camada é a camada de segurança, que são sistemas redundantes, separados dos computadores de controle. Esses computadores industriais de segurança, com seus sensores dedicados, são responsáveis por parar uma planta com segurança quando ocorre uma anormalidade, e evitar, por exemplo, uma explosão por pressão alta em um vaso. Assim, você vai colocar dois ou três sensores de pressão nesse vaso, cujos sinais vão para esse sistema de segurança, que tem uma lógica, também redundante, que em caso de pressão alta, toma uma ação, do tipo: desligar ou parar a unidade, cortando o combustível ou a carga, etc. Quando ocorre um descontrole que o sistema de controle não conseguiu resolver, então, esses sistemas de segurança levam a planta para um estado seguro (planta parada).

Esses sistemas de segurança também podem ter erros ocultos, que você só descobre durante incidentes ou mesmo acidentes. Por exemplo, as válvulas de segurança podem não ir para uma posição desejada, apesar de comandadas pelo sistema de segurança, porque houve,

também, uma falha no sistema de energia, como falha nas baterias de emergência. Estes dois eventos críticos e improváveis podem, muitas vezes, não ser analisados conjuntamente. Já existiu um caso de uma plataforma que adernou um pouco, pois ninguém imaginava que fosse possível perder totalmente os dois canais de energia (normal e as baterias) para as válvulas de segurança. Mas ocorreu este evento raro, e gerou o incidente. Às vezes, no projeto, pode-se pensar: "ah, você tem uma redundância, logo estamos protegidos", mas a redundância também pode falhar.

Agora, voltando ao papel da matemática: existe toda uma área de testes de validação desses *softwares* de segurança, com algoritmos que tentam gerar eventos e verificar formalmente as lógicas configuradas. Hoje, a gente ainda usa pouco estas ferramentas e os testes ainda são muito manuais, da cabeça das pessoas que estão gerando os testes: "ah, vou simular essa falha", "ah, vou simular aquela falha". Mas, acredita-se que, no médio prazo, teremos algoritmos que poderiam aumentar a efetividade dos testes, cobrindo um número maior de falhas em um tempo menor, apesar da explosão exponencial, se você quiser testar todos os estados possíveis de falha.

Hoje a gente está investindo em P&D para desenvolver alguns algoritmos que aumentem um pouco essa abrangência dos testes, para que a gente tenha menos chance de ter um erro oculto. Acho que, nos próximos dez anos, a gente vai ter mais algoritmos formais testando os sistemas de controle e segurança em um tempo limitado, aumentando a segurança das plantas e considerando os eventos raros que podem acontecer.

[*Tem algo que eu não tenha perguntado e que te vem...*]

Eu acho que a matemática hoje é uma ferramenta fundamental para os engenheiros, pois permeia todos os algoritmos implementados nos sistemas de computação das plantas industriais.

Formaação Matemática: abstração, intuição, raciocínio lógico

Quando Midas encontrou o mestre e pai de criação de Baco, tratando-o bem e o entregando a Baco, este ofereceu a Midas o direito de escolher uma recompensa. Midas pediu que tudo em que ele tocasse virasse ouro, imediatamente. Baco achou que Midas não fez uma boa escolha, mas consentiu e Midas seguiu seu caminho feliz, tratando logo de testar os seus dons e transformando tudo o que tocava em ouro[306].

Um Midas da formação de engenheiros só pode ser descartado para um de meus entrevistados. No mais, ninguém quis abrir mão desse Midas, que parece transformar tudo em ouro e acaba se tornando a base, a fundamentação, da formação de engenheiros, assim como ferramentas para diversos fazeres e algo que desenvolve a intuição ou o raciocínio lógico, enunciados comuns nas entrevistas.

Nesta parte da tese, quero trazer para a discussão os enunciados de que a matemática desenvolve o raciocínio, nos possibilita pensar de forma diferente, desenvolve a intuição ou um *feeling*.

Em diversos momentos da tese, os entrevistados falaram de uma matemática que podemos dizer visível ou explícita, no aspecto colocado por Noss, Hoyles e Pozzi[307], como é o caso do controlador do tipo PID, amplamente usado na indústria e cuja concepção e denominação já possui elementos matemáticos: proporcional, integral, derivativo.

Olhando para uma frase de Wittgenstein que diz que “A matemática, como tal, é sempre a medida e não o medido”[308], no aspecto do visível, essa medida, como no caso do controlador do tipo PID, envolve elementos de disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral, Geometria Analítica e Vetores e Álgebra Linear, presentes na formação de engenheiros.

Um exemplo dessa “matemática visível” pode ser visto no trecho abaixo, em que eu pergunto para um entrevistado X, após ele me descrever sua prática de trabalho, como ele vê a matemática nela.

---

[306] BULFINCH, 2002, p. 59.
[307] NOSS, HOYLES e POZZI, 2002.
[308] WITTGENSTEIN, 1978, III, §75, p. 166.

Entrevistado X: O conhecimento matemático... [risos]. No dia a dia é complicado, não aparece muito, na eletrônica não aparece muito. Não aparece muito porque..., depende do nível de matemática que você está falando.

Rejane: Pode ser o que você quiser.

Entrevistado X: Quanto às básicas, quase o tempo todo.

Rejane: Quando falo a palavra matemática, pode ser o que você pensa que seja e que possa relacionar com o que você faz.

Entrevistado X: Do ponto de vista de parar para calcular e resolver cálculos mais complexos, é muito difícil ter essa utilização. Às vezes, se utiliza de maneira básica na parte de controle, acertar um ganho, faz uma regrinha de três, uma coisinha um pouco mais complexa, do ponto de vista matemático. Cálculos e números, de utilização mesmo, não, quase nada.

Rejane: Coisa um pouco mais complexa, o que seria isso?

Entrevistado X: Regra de três e soma mais alguma coisa, extrai uma raiz depois. O mais complexo que eu cheguei foi calcular os parâmetros naquele caso que eu falei, da substituição por um medidor de pressão, da configuração do range dele, porque é um instrumento que mede diferencial de pressão e não o nível e daí tem que calcular para saber qual a relação do diferencial de pressão com o nível. Tem que saber, daí a densidade do que vai estar lá. Essa medição não é cem por cento precisa, porque sempre tem um pouquinho de alteração na densidade e não foi colocado um densímetro lá. Tem variação, mas como é de segurança, a gente colocou para o lado mais seguro.

Rejane: Como foi esse cálculo dos parâmetros?

Entrevistado X: Cálculo simples, não lembro de cabeça, é só ver a pressão no fundo, com certo nível e certa densidade. Densidade deixa fixa, que é a média e relaciona com o nível que corresponde aquela pressão. Não é um Cálculo Diferencial Integral, Equações Diferenciais, Transformadas...

Rejane: Na refinaria tem gente que usa?

Entrevistado X: Eu acho muito difícil. A gente usa fórmula pronta que alguém um dia fez. A gente aprende na faculdade como chega nas fórmulas, em alguma disciplina do curso [de formação], teve a de Controle, que deu, por cima, Teoria de Controle, Transformada de Laplace, só que ninguém teve que sair calculando, foi só para lembrar. Isso se aprende na faculdade, que é a base daquilo ali, a base da análise do domínio de frequência é Transformada de Laplace, Fourier. Aí tem que conhecer as transformadas, que tem as integrais e tem que saber resolver as integrais, por isso tem que saber tudo isso, mas no dia a dia, no direto lá, as coisas transformadas, há muita regra prática. Não se para para calcular aqui ali. Dificilmente tem caso muito específico; sempre tem casos que são típicos. Vários controles de nível iguais por toda Petrobras, usam o que está pronto, varia alguns parâmetros e deu. Se tem um caso muito específico, aí para para analisar. Casos mais específicos, seria, por exemplo, o

controle de grande máquina. Mas já compramos o pacote pronto e mesmo assim ainda é um controle PID. Não é nada de outro mundo, não é um controle avançado, é um PID, no qual a gente ajusta os parâmetros dele, faz a sintonia que seria calcular os coeficientes dessas três componentes: proporcional integral, derivativo. E, para isso, tem softwares que auxiliam na sintonia e dentro do software sim, tem todo cálculo lá para fazer identificação do sistema. Mas tem coisa muito empírica também: sabe que a malha é desse tipo, geralmente a sintonia fica mais ou menos assim, aí sabe quais parâmetros são.

Mesmo dizendo que usa muito pouco de matemática, o entrevistado X fala:

> Apesar de não se usar a matemática explícita, de separar e de calcular, o fato de ter aprendido na faculdade aquilo ali, te dá um embasamento, uma noção, um *feeling*, digamos, das coisas melhores – para que lado vão os parâmetros, o que pode ter um determinado comportamento –, mas fora isso, não tem muita aplicabilidade. [...] A faculdade, até principalmente na parte de matemática e na parte de computação, que dá bastante lógica, ela faz a gente enxergar as coisas de maneira diferente, aprende a raciocinar de maneira diferente. Então, mesmo que não tenha muito a ver com aquilo que a gente estudou especificamente na faculdade, por ter passado pela faculdade, a gente aprendeu a raciocinar sobre coisas de maneira diferente. (Entrevistado X)

Eu quero retomar a fala de Wittgenstein (1978) de que "O pedestal, sobre o qual, para nós, está a matemática, se tem conseguido graças ao papel concreto que suas proposições desempenham em nossos jogos de linguagem"[309], em particular, nos jogos de linguagem da engenharia. Isso pode ser visto em diversos momentos nos quais os entrevistados falaram de e sobre matemática, em suas práticas, recorrendo a elementos considerados matemáticos como: Cálculo Diferencial e Integral, modelagem matemática, autovalores e autovetores, cálculos usuais, transformadas de Laplace, CFD, formas de enxergar o problema, etc.

Eu usei o termo "matemática visível" ou "explícita" para me referir a esses elementos, não para falar em "matemática invisível" ou "implícita" ou "oculta" ou a elementos matematizáveis de uma prática, mas para fazer uma diferenciação entre aquilo que os entrevistados veem como os efeitos da matemática em suas práticas – falando explicitamente deles. Também sobre o que eles não veem como um efeito explícito em termos, por exemplo, de elementos, mas em termos de contribuição para o desenvolvimento da capacidade de abstração, do raciocínio diferenciado, para se abrir a cabeça, para se desenvolver um *feeling*, para se desenvolver a intuição, como foram os casos das entrevistas com os professores do Curso de Engenharia de

[309] WITTGENSTEIN, 1978, VII, §6, p. 306.

Controle e Automação e com os profissionais da Petrobras, tal como o Entrevistado X da citação acima.

Os entrevistados tiveram dificuldade para falar dessa matemática que abre a mente, desenvolve o raciocínio lógico, a intuição ou um *feeling*, bem como para exemplificar esse uso de matemática.

> É... Como assim? É... Como vou dar um exemplo prático disso?... De algo que não é prático [risos]. É... Dar um exemplo prático de algo que é abstrato. Vamos tentar, me ajuda! É... Ah... É difícil pensar uma coisa prática para uma coisa abstrata, eu não sei... É... Não sei... É uma forma diferente de pensar... É... Acostuma a encarar os problemas de uma maneira diferente, uma maneira mais prática, tenho que resolver isso, vou fazer assim, assim e assim para resolver [...]. Acho que desenvolve o *feeling* que eu te falei, de ter uma ideia melhor se aquilo ali, aquelas premissas que você adotou e os resultados que está obtendo, se eles são coerentes ou não são. Olhar para o número e não ver só um número qualquer: você vê um número no final e "isso aí não pode estar certo". Você acaba instintivamente sabendo se aquilo ali está mais adequado, um tanto adequado. Cria aquela suspeita se aquele número está certo ou não está. Desenvolve isso também. Às vezes pode estar até certo, mas você vai questionar "está estranho", vai atrás, vê e "ah tá...". [...]. Teve um caso que era linearização da curva da válvula, porque a abertura da válvula não é linear com a vazão; o CV da válvula tem uma correção para que, quando abrir 10% aumente 10% da vazão. O controlador é linear e tem que trabalhar com tudo linear, idealmente né? E se tem alguma coisa que não é linear no sistema, aí toda aquela teoria de controle não vale mais, tem outro resultado. Então você lineariza a resposta da válvula de maneira que a resposta dela seja linear: se aumentar 10% no valor dela, a saída da vazão aumenta 10%, ou sei lá o que quer que seja. No sistema do fornecedor você não sabe se o cara colocou a linearização daquela válvula que está devidamente instalada e considerando a dinâmica do sistema como ela é naquela instalação ou se ele simplesmente copiou de um padrão que ele tinha, que ele usa para todo mundo e que, às vezes, está tendo algum problema. Isso foi uma das coisas que a gente foi conferir, se a linearização da válvula estava coerente com as características da válvula e com as características do sistema. Aí é uma coisa que envolve um pouco de *feeling*, "pode ser isso aqui, esses valores que ele colocou", "podem ser ou já estão errados de primeiro?", "ah, parece que está certo". Aí você vai atrás para ver a especificação da válvula e qual é a curva dela. (Entrevistado X)

Levei esse tema da matemática como algo que desenvolve a intuição ou o *feeling* ou o raciocínio para diversas entrevistas e delas surgiram falas em diferentes direções como a acima e a abaixo:

> O *feeling* muitas vezes é uma coisa que, no meu modo de ver, deveria [...] ser um pouco combatido, porque, às vezes, o pessoal tende a tornar as discussões um pouco qualitativas, um pouco intuitivas, devido ao fato de que os sistemas são complicados, com muitas variáveis e se comportam de forma não linear. Na impossibilidade de ter uma abordagem mais rigorosa, ele começa a ficar nessa questão de *feeling*, "ah não, isso aqui", "ah, eu já vi que funcionou", "não, para mim isso está bom". Essas opiniões, às vezes, são muito pessoais. Se você for confrontar com a do outro, não bate, e aí, por exemplo, se você é um cara que opera por turno, quando você for assumir o

> seu turno, você vai configurar de um jeito, o outro cara vai ter o *feeling* dele e vai configurar de outro. Se só tem uma forma boa de operar, então você vai estar trocando de uma para outra o tempo todo. O que acontece, muitas vezes, que eu vejo, é que a questão matemática vai ficando oculta ao longo do tempo. O cara vai entrando em uma certa rotina, tem umas atividades que ele se acostuma rotineiramente a fazer e ele acaba ou esquecendo da matemática que está por trás ou esquecendo das hipóteses que fundamentam aquilo. “Ah vou fazer isso aqui”, mas aquela equação diferencial que mostrei tem uma premissa principal para tirar as conclusões, ela é linear, só que o processo muitas vezes não é, e quando ele não é, o que aquilo pode causar como consequências nas decisões que ele tomou? São essas premissas que vão se esquecendo para corromper esse uso da matemática no dia a dia da engenharia. O engenheiro, muitas vezes, é solicitado a fornecer respostas rápidas e essas questões, que, às vezes, demandam uma análise mais longa, uma maturação maior, e isso vai fazendo ele ficar num regime mais autômato. Ele sabe que pode produzir aquelas respostas e produz respostas que não são tenebrosas, mas também não são as ótimas. Ele fica meio condenado a ter respostas subótimas. Ele poderia até fazer melhor, mas fica ali numa solução que já viu que funcionou no ano passado, não causou nenhum transtorno, não explodiu nada, e ele vai se mantendo por ali. (Quelhas)

Eu também pedi um exemplo sobre essa fala a Quelhas.

> Você precisa saber o que está acontecendo lá na sua planta industrial, mas para saber o que acontece, você, muitas vezes, precisa de ter um instrumento que vai dizer as vazões, pressões e tudo mais, só que nem todas as informações que você precisa são realmente medidas ou são medidas com a frequência que você gostaria. Por exemplo, eu gostaria de saber qual a composição de determinado produto naquela corrente, daquele derivado que eu estou produzindo, só que não existe um instrumento que esteja injetado na tubulação que me dê essa informação o tempo todo. O que acontece, às vezes, é que de tempos em tempos alguém recolhe uma amostra, vai no laboratório, faz essa análise e me informa “nessa hora que eu colhi a amostra essa informação era tanto”. Mas, muitas vezes, para um sistema de controle como esse operar, eu precisaria saber o tempo todo qual essa informação, [...]. Qual o percentual dessa molécula nessa corrente aqui? Qual a composição agora? Está alta? Está baixa? Abro ou fecho essa válvula? É assim que ele opera, só que isso só é medido de verdade uma, duas, três vezes por dia. E nas vezes que isso não é medido, o que fazemos? Pode-se adotar a seguinte abordagem, eu faço uma fórmula matemática que tenta, baseada em outras informações que a planta me dá (temperaturas e pressões em outros lugares) e que não é essa composição, encontrar uma fórmula que consiga prever qual seria essa composição. A fórmula diz “baseado nisso que acontece na planta, a composição deve ser essa”. Então, o sistema de controle fica atuando: vê se está alta ou baixa a composição e abre ou fecha a válvula. Só que de tempos em tempos aparece uma análise de laboratório. Aí a questão é: como é que eu incorporo essa informação nova, que veio do laboratório nessa fórmula que eu já tenho? “Ah, chegou meio-dia”, meio-dia o laboratório disse que a concentração era 50% e a minha fórmula dizia que era 40%, e aí? O que eu faço? É comum fazer uma coisa que a gente chama de uma atualização do [inaudível] ou set. A fórmula me dizia que era 40, o laboratório nesse instante me disse que era 50. Se a diferença é de 10 graus eu pego, a minha fórmula e coloco um fator aditivo de 10 graus para fazer os dois baterem. Aí vou assim, vou vivendo a minha vida, a fórmula continua produzindo seus resultados. Doze horas depois o laboratório produz outra análise e eu vejo qual a diferença entre o que o laboratório produziu e o que a fórmula estava prevendo. A diferença foi tantos

> graus. Essa diferença eu adiciono, coloco mais um fator aditivo na minha fórmula, para tentar corrigir. Esse procedimento vai acontecendo de tempos em tempos, toda vez que uma amostra nova de laboratório aparece, na tentativa de corrigir essa fórmula, o que parece um procedimento razoavelmente natural, [...]. Só que esse problema, em uma certa época me incomodava, eu queria ver se isso aqui é a melhor forma de agir, quais as consequências possíveis desse tipo de correção – consequências estatísticas – para a variabilidade dessa informação e aí eu tive que começar a pensar, colocar o problema numa roupagem estatística conveniente e ver qual a variabilidade de [inaudível] que eu adiciono na minha informação ao ficar fazendo essa correção aditiva, de pegar ali, joga diferença, joga diferença, joga diferença. O procedimento intuitivo normal seria ver isso como uma coisa bem natural: eu tenho minha fórmula funcionando, vi qual era a informação verdadeira, vi a diferença, jogo essa diferença lá para corrigir, mas por que essa correção tem que ser aditiva? Por que essa frequência tem que ser essa frequência? Qual a consequência disso na variabilidade da informação final? São essas perguntas que dão ensejo para você tentar formular, de forma um pouco mais rigorosa, que permita a você tirar conclusões que sejam mais úteis para o que você quer fazer. Quando você fica no mundo da intuição, você acha que tem toda cara de que funciona bem, mas você não sabe realmente se funciona bem; você não formulou o problema de modo completo e não viu estatisticamente qual seria a consequência disso [...]. [Você pode] pegar um problema que intuitivamente é fácil de perceber, de aceitar, mas que, por trás dessa facilidade de aceitação, pode ter consequências estatísticas que podem ser desinteressantes para o desempenho de sua unidade. [...]. Nesse caso era medida de composição, mas se aplica a qualquer informação que não está disponível o tempo todo. Eu tenho que tomar decisões o tempo todo, porque tenho um sistema de controle que tem que ficar abrindo e fechando válvula, então ele tem que, o tempo todo, saber qual é a informação que ele quer controlar, [...]. (Quelhas)

A matemática permite desenvolver um *feeling* ou a intuição ou o raciocínio, mas permite também desconfiar dele: a matemática desenvolve o raciocínio. Para Vianna,

> Acho essa a maior de todas as bobagens que se pode falar sobre a matemática. Eu poderia dizer que sexo desenvolve a capacidade de abstração, desenvolve o raciocínio e a intuição. Não sei se é verdade, mas acho que seria mais útil e divertido! Quanto mais se faz uma coisa, mais se conhece dessa coisa, e não de outra. Ser bom para comer pudim não me torna bom para "comer fogo" e ganhar dinheiro com isso. Ser bom datilógrafo não me torna bom pianista (e vice-versa). Enfim... toda e qualquer coisa que se faça desenvolve UM TIPO DE raciocínio, de abstração, de intuição, etc... (Vianna)

A matemática desenvolve o raciocínio lógico, xadrez desenvolve o raciocínio lógico, posso substituir matemática por xadrez? A matemática desenvolve um tipo de raciocínio lógico, o xadrez desenvolve um tipo de raciocínio lógico, não seria esse "um tipo de raciocínio lógico" também vago?

> Costuma-se dizer que a matemática desenvolve o raciocínio, mas não seria principalmente a capacidade de proceder conforme regras estabelecidas o que ela desenvolve? [...]. Por outro lado, será que é ela, a matemática, que desenvolve o raciocínio ou o que quer que seja? Não há um sujeito que aprende? E não há a figura do professor atuando como mediador, como intermediário, entre a matemática e o aprendiz? O modo de agir do professor é importante para que haja esse desenvolvimento do raciocínio?[310]

A matemática desenvolve um *feeling*, uma intuição. A intuição é algo que deve ser combatida. "A intuição materna tem sempre a solução, como uma lanterna, que mostra a direção!"[311]. Intuição é experiência adquirida. A intuição materna é um tipo de intuição? A intuição materna é algo que veio da matemática? A intuição materna é experiência adquirida? Há um desenvolvimento da intuição por que se teve aulas de matemática? A matemática desenvolvendo algo dentro de nós, na nossa mente, que não sabemos bem descrever o que é e que chamamos de intuição ou raciocínio lógico? Essas questões envolvendo matemática e intuição

> [...] parecem reforçar a visão cartesiana de que, além de uma linguagem publicamente compartilhada que utilizamos para nos comunicar, existiria também uma *mente* ou um *eu* pensantes que utilizariam essa linguagem não apenas para referir às coisas e eventos comunitários diretamente observáveis – neles incluídos os comportamentos, as ações e movimentos de nossos próprios corpos –, mas também, para se referir a entidades ou estados de coisas que não poderiam ser diretamente observáveis como, por exemplo, uma intenção, um desejo, uma recordação, uma sensação, uma doença.[312]

Seria intuição, raciocínio lógico um produto da mente, do pensamento, do espírito, como se ao passar por disciplinas de Cálculo o espírito passasse a ter uma visão interna do funcionamento do Cálculo, que passaria a guiá-lo sem que se faça, diretamente, um cálculo?

Poincaré[313] afirma que para fazer aritmética ou geometria é necessário ter algo a mais que a lógica, que seria intuição. No entanto, há vários tipos de intuição,

> Primeiro, o apelo aos sentidos, à imaginação; em seguida, a generalização por indução, por assim dizer calcada nos procedimentos das ciências experimentais; temos, enfim, a intuição do número puro, aquela de onde se originou o segundo dos axiomas que acabo de enunciar [se um teorema é verdadeiro para o número 1, e se demonstramos que ele é verdadeiro para

[310] VIANNA, 2002, p. 4-5.
[311] Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=gpTY9qcbDtA. Acesso em: 12 de setembro de 2015.
[312] MIGUEL, 2012, p.18.
[313] POINCARÉ, 1995.

> n+1, contanto que o seja para n, será verdadeiro para todos os números inteiros], e que pode engendrar o verdadeiro raciocínio matemático.[314]

Para Poincaré, os dois primeiros tipos de intuição não podem nos dar o rigor e nem mesmo a certeza que a matemática requer, "mas quem duvidará seriamente da terceira, quem duvidará da aritmética?"[315].

Então seria a última intuição, a que engendra o verdadeiro raciocínio matemático, a que os entrevistados falam que a matemática desperta? Pelas falas deles, algumas vezes, me pareceu que intuição, despertada pela matemática, estava mais relacionada com um modo cartesiano de atacar os problemas ou preceitos:

> O primeiro preceito era o de jamais aceitar alguma coisa como verdadeira que não soubesse ser evidentemente como tal, isto é, de evitar cuidadosamente a precipitação e a prevenção, e de nada incluir em meus juízos que não se apresentasse tão clara e tão distintamente a meu espírito que eu não tivesse nenhuma chance de colocar em dúvida.
> O segundo, o de dividir cada uma das dificuldades que eu examinasse em tantas partes quantas possíveis e quantas necessárias fossem para melhor resolvê-las.
> O terceiro, o de conduzir por ordem os meus pensamentos, a começar pelos objetos mais simples e mais fáceis de serem conhecidos, para galgar, pouco a pouco, como que por graus, até o conhecimento dos mais complexos e, inclusive, pressupondo uma ordem entre os que não se precedem naturalmente uns aos outros.
> E o último, o preceito de fazer em toda parte enumerações tão completas e revisões tão gerais que eu tivesse a certeza de nada ter omitido.[316]

O termo evidente, do primeiro preceito "consiste na intuição intelectual de uma ideia clara e distinta"[317], no qual intuição "contrariamente ao sentido em que a entendemos nos dias de hoje, é de ordem intelectual e não sensível; se origina unicamente das luzes da razão"[318].

Há, ainda, mais significados diferentes para a palavra intuição, que exemplificam a vagueza do termo

> Intuitivo é o oposto de rigoroso. [...]. Intuitivo significa visual. [...] Intuitivo significa plausível ou convincente na ausência de demonstração. [...]. Intuitivo significa incompleto. [...] Intuitivo significa apoiar-se sobre um modelo físico, ou em alguns exemplos importantes. [...] Intuitivo significa unificado ou integrado em oposição a detalhado ou analítico. [...].[319]

---

[314] Ibid., p. 19.
[315] Ibid., p. 19.
[316] DESCARTES, 1989, p. 44-45.
[317] HUISMAN, 1989, p. 44.
[318] Ibid.
[319] DAVIS e HERSH, 1985, p. 435.

Esses autores abordam o tema *intuição* nas três principais correntes filosóficas da matemática (construtivismo, platonismo e formalismo), apontando problemas que essa palavra apresenta nessas correntes e dizem que prestar esclarecimentos do conhecimento intuitivo da matemática, para torná-lo inteligível seria o problema básico da epistemologia da matemática[320]. Para eles,

> Em outras palavras, a intuição não é uma percepção direta de algo que existe externamente e eternamente. É o efeito na mente de certas experiências de atividade e manipulação de objetos concretos (em um estágio posterior, de traços no papel ou mesmo de imagens mentais). [...] Temos intuição porque temos representações mentais de objetos matemáticos. Adquirimos estas representações não através da memorização de fórmulas verbais, mas por experiências repetidas (no nível elementar, a experiência de manipular objetos físicos; no nível avançado, experiência de fazer problemas e descobrir coisas por nós mesmos).[321]

Davis e Hersh[322] dizem que não sabem como essas representações ou intuições ficam guardadas na mente, assim como pensamentos ou conhecimentos, o importante para eles é que "como conceitos partilhados, como representações mentais mutuamente congruentes, são objetos reais cuja existência é tão "objetiva" quanto o amor materno, o preconceito racial, o preço do chá ou o temor a Deus."[323].

A intuição agora está relacionada com a mente, representações mentais, e tida como "uma evasiva desnecessária"[324] para Wittgenstein; é tema, assim como pensamento, realidade e matemática de sua filosofia.

Quando eu penso nessas representações mentais de objetos matemáticos, o que significa, de certa forma, que temos intuição, de acordo com Davis e Hersh[325], eu penso em um exemplo, talvez demasiadamente típico ou clichê, de uma situação em sala de aula na qual um professor universitário fala que círculo é " uma figura plana contida por uma linha [que é chamada circunferência], em relação à qual todas as retas que a encontram [até a circunferência do círculo], a partir de um ponto dos postos no interior da figura, são iguais entre si"[326]. Após essa fala, o professor vai ao quadro e desenha um "círculo" dizendo que o que ele está fazendo na verdade não é um

---

320 Ibid., p. 441.
321 Ibid.
322 Ibid.
323 DAVIS e HERSH, 1985, p. 442.
324 WITTGENSTEIN, 2009, §213.
325 DAVIS e HERSH, 1985.
326 EUCLIDES, 2009, I, 15, p. 97.

círculo, é uma representação de um círculo, porque a representação, o desenho, o traçado da circunferência no quadro já foge da definição, da unidimensionalidade da linha, pois o traçado do giz já tem uma areazinha.

Tendo em vista as falas de Davis e Hersh[327], até entrar na faculdade, eu nunca tinha pensado que os círculos que eu desenhava e utilizava para resolver exercícios de matemática na escola não poderiam ser círculos, somente representações mentais do círculo verdadeiro. Eu não pensava que com esse conjunto de falas existia uma visão de que os objetos matemáticos não são reais, de que "Sua existência é um fato objetivo, totalmente independente de nosso conhecimento sobre eles. [...]. Existem fora do espaço e do tempo da experiência física. São imutáveis – não foram criados, e não mudarão ou desaparecerão"[328]. Estaria a minha intuição equivocada diante de uma concepção segundo a qual não se inventa nada e a única coisa que se pode fazer é descobrir as coisas?

Nos fragmentos abaixo, há um diálogo de Sócrates com Gláucon, no Livro VII da obra *A República* de Platão[329], que mostra a matemática – no caso a geometria e a ciência de calcular – como não pertencente ao mundo sensível.

> – Que se tem em vista o conhecimento do que existe sempre, e não do que a certa altura se gera ou se destrói.
> – É fácil de concordar – respondeu ele – uma vez que a geometria é o conhecimento do que existe sempre.
> – Portanto, meu caro, serviria para atrair a alma para a verdade e produzir o pensamento filosófico, que leva a começar a voltar o espírito para as alturas e não para cá para baixo, como agora fazemos, sem dever.[330]
>
> – Ora depois de falar da ciência de calcular, agora é que eu compreendo como é bela e útil de tantas maneiras ao nosso propósito, desde que uma pessoa cultive por amor ao saber, e não para a traficância.
> – De que maneiras?
> – É o facto de, como agora mesmo dizíamos, elevar poderosamente a alma para o alto e forçá-la a discorrer sobre os números em si, sem aceitar jamais que alguém introduza nos seus raciocínios números que tenham corpos visíveis ou palpáveis.[331]

Por esse diálogo, a matemática faz a ligação do mundo inteligível com o mundo que vivemos, o mundo sensível, havendo a compreensão do primeiro mundo por meio de quatro modos: nome, definição, imagem e conhecimento (ou ciência).

---

[327] DAVIS e HERSH, 1985.
[328] DAVIS E HERSH, 1985, p. 359.
[329] PLATÃO, 2001.
[330] Ibid., 527b, p. 336.
[331] Ibid., 525 d-e, p. 334.

O objeto, cujo nome é “círculo”, possui, em terminologia moderna, a definição que enunciei acima e a possibilidade de ser representado por meio de construções, podendo ser apagado ou destruído, o que não acontece com o círculo verdadeiro. Nome, definição e imagem são os três primeiros modos (ou graus) de conhecimento.

> O conhecimento, quarto modo, não é nem o círculo real (o próprio círculo em si mesmo), nem são os três modos de conhecimento [...], mas a compreensão que nossa alma tem da ligação entre eles – o quarto modo é o que se passa em nossa mente quando o nome, a definição e a imagem são produzidos. [...] O quarto modo é o conhecimento do conhecer, isto é, o sabermos que temos três modos de conhecer e sabermos que o objeto alcançado por esses três modos não se confunde com o objeto real (isto é, o círculo em si, a essência do círculo, pois o verdadeiro círculo está além das palavras e dos traços).[332]

Só se chega ao conhecimento verdadeiro do objeto por uma espécie de “fricção” entre os quatro primeiros modos, o que

> [...] produz uma espécie de faísca, uma luz que nos faz ver a pura ideia da coisa. Ou seja, passando de um a outro, indo e voltando de um a outro dos quatro modos, subitamente, como num lampejo, nossa alma vê diretamente o objeto real, tem dele uma visão intelectual, tem o que, mais tarde Platão chamará de intuição, um contato direto e instantâneo com a essência pura ou ideia pura da coisa procurada.[333]

Os modos de conhecer ou a “exposição da teoria do conhecimento [de Platão] é, ao mesmo tempo, a exposição da separação e diferença entre o sensível e o inteligível”[334] e, como já disse, a matemática – no caso o pensamento – é quem faz a ligação desses mundos, que se dá por uma passagem aos graus de conhecimento, utilizando o método da dialética que é

> [...] o único que procede, por meio da destruição das hipóteses, a caminho do autêntico princípio, a fim de tornar seguros os seus resultados, e que realmente arrasta aos poucos os olhos da alma da espécie de lodo bárbaro em que está atolada e eleva-os às alturas, utilizando como auxiliares para ajudar a conduzi-los às artes que analisamos.[335]

Nesse processo de conhecimento, é a alma que rememora, que descobre o que já existe no mundo inteligível, pois conhecer é lembrar (Teoria da

---

[332] CHAUÍ, 2002, p. 245-246.
[333] Ibid., p. 247.
[334] Ibid., p. 249.
[335] Platão, 2001, 533 c-d, p. 347.

Reminiscência), ou seja, “a alma aprendeu, antes da encarnação[336], tudo aquilo de que ela, novamente, adquirirá o conhecimento, de sorte que investigar e aprender é reativar um saber total que se encontra latente na razão”[337].

Um exemplo de rememoração se dá no diálogo de Sócrates com um escravo de Mênon[338], no qual Sócrates leva o escravo a rememorar (descobrir), por meio da dialética (maiêutica socrática), a solução do problema de encontrar o lado de um quadrado cuja área é o dobro da área de um dado quadrado. Neste processo, Sócrates conduz a discussão por meio de diálogos (perguntas e respostas), que levam inicialmente o escravo a contradições e aporias. Uma vez em aporias e contradições, tem início o processo de descoberta pelo escravo, por meio do diálogo com Sócrates (no mesmo processo de perguntas e respostas), sem induzir o escravo à resposta correta e sim levando-o a rememorá-la.

Essa filosofia de Platão a respeito do mundo sensível e inteligível e a ligação entre eles é conhecida como platonismo que, no decorrer do tempo, assumiu algumas alterações. Silva[339] afirma que há várias versões do platonismo em filosofia da matemática, dentre elas o racionalismo e o estruturalismo, por compartilharem algumas ideias originais de Platão, que são, de certo modo, as filosofias realistas (ontológicas – que acreditam que os objetos matemáticos não são objetos deste mundo – ou epistemológicas – que acreditam ser a verdade matemática independente da ação do sujeito).

Nessas versões de platonismo, tem-se, com base em Silva[340], que a matemática é uma ciência objetiva, que investiga realidades objetivas e busca verdades por meio de descobertas e não criação, o que nos remete à Teoria da Reminiscência de Platão; é uma ciência *a priori*, ou seja, independe da experiência, em que um caso exemplar é a discussão feita sobre o círculo; é verdadeira na medida em que corresponde à realidade matemática como ela é, de fato, e seus enunciados têm um valor de verdade (verdadeiro ou falso), ainda que desconhecido, determinado de uma vez por todas[341]; sempre soluciona seus problemas e, se ainda existem

---

[336] Sobre a imortalidade da alma e como se dá o processo de encarnação dela, ver o Mito de Er, em PLATÃO, 2001.
[337] CHAUÍ, 2002, p. 266.
[338] PLATÃO, 2010.
[339] SILVA, 2007.
[340] Ibid.
[341] Por sua vez, filósofos não-platonistas, como os intuicionistas – para os quais só faz sentido afirmar que uma asserção tem um valor definido de verdade se estivermos em condições de demonstrá-la, ou a sua negação –, estão impedidos de usar o princípio do terceiro excluído irrestritamente, pois não é o

problemas em aberto na matemática[342], é porque não há desenvolvimento matemático suficiente para solucioná-los, já que as respostas em si estão determinadas[343].

Se a minha intuição já estava equivocada, diante da filosofia platônica, predominante nos modos de ver matemática dos meus professores de graduação, e se a intuição, na filosofia platônica é um contato direto com o objeto real, imagine a confusão que eu fiquei quando me disseram que, com a definição de círculo, que já enunciei, podemos ter um quadrado.

O que era tido como único, verdadeiro e infalível (um conceito dogmático), advindo da intuição que é um contato direto e instantâneo com a essência pura ou ideia pura da coisa procurada, passa a ser tido como uma imagem, isto é, como o "resultado da fixação do pensamento em uma concepção limitada e limitadora da linguagem"[344] e possui uma outra possibilidade.

Aquilo que antes eu pensava que fosse um círculo, como a Figura 17, pode ser um quadrado, se levar em consideração a seguinte definição: Uma *métrica* num conjunto não vazio *M* é uma função $d : M \times M \to R$ que associa a cada par ordenado de elementos $x, y \in M$ um número real $d(x, y)$, chamado de *distância* de *x* a *y*, de modo que sejam satisfeitas as seguintes condições, para quaisquer $x, y, z \in M$:

1) $d(x,x) = 0$, a distância de um ponto a ele mesmo é zero;

2) Se $x \neq y$ então $d(x, y) > 0$, a distância entre dois pontos distintos é positiva;

3) $d(x, y) = d(y, x)$, a distância de um ponto até outro é a mesma do outro até este um;

4) $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$ (desigualdade triangular), se me desviar do caminho usado para medir a distância entre dois pontos e passar por um terceiro ponto, esta nova distância não poderá ser menor[345].

---

caso de podermos demonstrar a veracidade ou falsidade de qualquer asserção matemática (Silva, 2007, p.66)

[342] Como, por exemplo, a *Conjectura de Goldbach*, de Christian Goldbach (1690-1764): todo número inteiro, par, maior que dois, pode ser escrito como uma soma de dois números primos.

[343] Um problema matemático que ficou mais de trezentos anos sem solução foi o *Último Teorema de Fermat*, proposto por Fermat (1601-1665), cujo enunciado é: não existem números inteiros distintos *x*, *y*, *z* e *n*, com $n > 2$ tal que $x^n + y^n = z^n$. Este problema foi solucionado em 1994 pelo matemático Andrew Wiles utilizando resultados matemáticos avançados que não existiam na época de Fermat.

[344] MORENO, 1995, p. 12.

[345] LIMA, 2003.

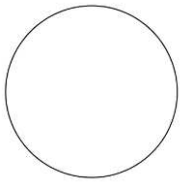


Figura 17. Representação[346] de um círculo

Usando essa definição e o fato de que, no espaço euclidiano $R^2 = R \times R$ – que no meio matemático representa o plano usual, sob o ponto de vista da geometria euclidiana – os pontos são da forma $x = (x_1, x_2)$, dados os pontos $x = (x_1, x_2)$ e $y = (y_1, y_2)$, posso escrever as seguintes fórmulas para distância: $d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2}$, $d'(x, y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2|$. A definição de Euclides[347] para círculo atende tanto a primeira quanto a segunda fórmula. No entanto, a representação física muda, a primeira corresponde à Figura 17 e a segunda a um quadrado (Figura 18).

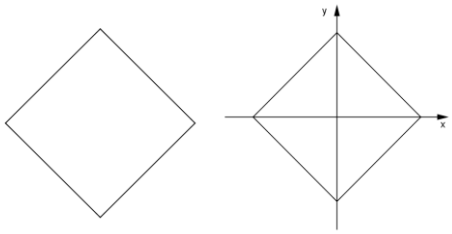


Figura 18. Representação de um quadrado

A conexão entre as Figuras 17 e 18 com a definição de círculo em Euclides[348] não se dá por uma conexão causal ou experiencial ou por rememoração, "é sempre uma conexão na gramática"[349], uma relação interna de sentido. "A gramática não diz como a linguagem tem que ser construída para cumprir com sua finalidade, para agir desta ou daquela maneira sobre as pessoas. Ela apenas descreve o emprego dos signos, mas de maneira alguma os elucida"[350].

E por que posso falar em círculo quadrado? Há uma outra gramática que vai dizer que espécie de objeto uma coisa é[351], a partir da definição de métrica, na

[346] "Uma representação não é uma imagem, mas uma imagem pode corresponder-lhe." (WITTGENSTEIN, 2009, §301)
[347] EUCLIDES, 2009.
[348] Ibid.
[349] WITTGENSTEIN, 1978, I, §128, p. 64.
[350] WITTGENSTEIN, 2009, §496.
[351] Ibid., §373.

qual o jeito que escolhemos para medir distância vai dizer sobre a figura que pode ser formada, representada fisicamente, havendo casos em que essa representação física não seja possível. Aqui, não é mais a definição de círculo que é importante para o fazer matemático, mas a definição de métrica, na qual uma de suas consequências físicas pode ser o círculo da Figura 18.

Para Wittgenstein: "Uma nova técnica de cálculo nos proporciona uma nova imagem, uma *nova forma de expressão*; [...][352], um novo jogo de linguagem que posso comparar com outros descrevendo-os, "descrevendo um como variação do outro; descrevendo-os e colocando em relevo as diferenças e analogias"[353], suas semelhanças de família, como é o caso do círculo na Geometria Analítica e nos Espaços Métricos.

Em uma perspectiva wittgensteiniana em que o matemático é um inventor e não um descobridor[354], em que ele "inventa sempre novas formas de representação, umas estimuladas por necessidades práticas; outras, por necessidades estéticas, e várias outras ainda"[355], posso dizer que, na Geometria Euclidiana[356] e nos Espaços Métricos[357], a definição de círculo desempenha papéis diferentes: no primeiro caso, ela é normativa, e daí, qualquer menção a círculos, em teoremas, decorrerá da definição dada por Euclides[358]; no segundo caso, a definição opera como descrição de uma métrica.

Dessa discussão sobre círculo, as concepções realistas ou mentalistas de intuição como essência pura de algo ou como lugar da verdadeira razão, como é o caso do platonismo, poderiam ser colocadas em dúvida. Assim como as falas de que uma disciplina, tal como Cálculo, desenvolveria um *feeling*, pois o que cada nova reconceptualização do círculo, por exemplo, inventa, nada mais é do que um novo uso da palavra "círculo" em um novo jogo de linguagem, orientado por um novo propósito normativo. "O matemático produz essências"[359]; e por fazer isso, produz novos estranhamentos em relação às essências anteriormente produzidas, bem como a impossibilidade de se produzir uma essência pura que possa dar conta de todas as

[352] WITTGENSTEIN, 1978, II, §46, p. 111.
[353] Ibid., II, §49, p. 112.
[354] Ibid., I, §168, p. 75.
[355] Ibid., I, §167, p. 75.
[356] EUCLIDES, 2009.
[357] LIMA, 2003.
[358] EUCLIDES, 2009.
[359] WITTGENSTEIN, 1978, I, §32, p. 29.

outras já produzidas ou ainda por virem. E na medida que cada uma dessas invenções é também a invenção de um novo jogo de linguagem, tais essências não podem ser vistas nem como contraditórias e nem como "falíveis", no sentido do empirismo falibilista de Imre Lakatos.

Mas isso significa que a matemática fica reduzida à atividade produtiva de matemáticos profissionais? A matemática pode ser vista como uma doutrina, mas também como um fazer, como aspectos de atividades humanas baseadas em práticas sociais tais como "aquelas realizadas pelos matemáticos profissionais, pelos professores de matemática, pelas diferentes comunidades constituídas com base em vínculos profissionais, bem como pelas pessoas em geral em suas atividades cotidianas"[360]. Um exemplo pode ser o da dona de casa Marjorie Rice, sem formação em matemática específica, que pesquisou novos tipos de pavimentações do plano por pentágonos convexos[361]. Mesmo não restrita a um fazer de matemáticos profissionais, a matemática que tenho falado até agora apareceu, nas falas dos meus entrevistados, ligada a uma matemática acadêmica/escolar. Esse é o único modo de se vê-la? De novo, os modos de ver matemática entram em cena.

Gottschalk[362] afirma que Wittgenstein faz uma distinção entre proposições empíricas e gramaticais, considerando que as primeiras têm uma função descritiva (descrever objetos empíricos, ideais ou mentais) e as segundas um papel normativo, ou seja, dizem o que é ser algo, que são as condições para qualquer descrição do mundo empírico.

Essa distinção entre proposições não é rígida, porque uma mesma proposição pode ter diferentes funções,

> [...] uma mesma afirmação, como "isto é branco", pode ter, ora função descritiva, ora função normativa, dependendo do contexto da enunciação. Se for uma resposta à pergunta "o que é branco?" estará sendo empregada normativamente, enquanto que em outro contexto, pode estar sendo empregada simplesmente para descrever a cor de terminado objeto. O que é importante ressaltar nesta distinção que Wittgenstein faz em relação aos diferentes usos possíveis de uma mesma proposição, é que a função exercida se mostra no próprio *uso* da proposição. São as circunstâncias que esclarecem o tipo de função que estarão exercendo.[363]

---

[360] MIGUEL e VILELA, 2008, 112.
[361] Mais sobre esse assunto pode ser encontrado em: http://www.mat.ufmg.br/~chico/pavimentacao.pdf. Acesso em 12 de setembro de 2015.
[362] GOTTSCHALK, 2007.
[363] GOTTSCHALK, 2007, p. 117.

Quando falo de matemática, de jogos de linguagem da matemática, não estou tratando de uma realidade matemática independente, que dá condições de se fazer matemática, mas atentando para os diferentes usos que podem ser feitos das proposições matemáticas, ora empírico ora gramatical.

Para Gottschalk,

> As proposições matemáticas institucionalizadas é que dão sentido à atividade matemática, e não que sejam geradas por ela, através de processos empíricos (mentais ou consensuais). São certezas *convencionais* pertencentes a uma determinada comunidade. "'Estamos seguramente certos disso' não significa apenas que cada único indivíduo está certo disso, mas que pertencemos a uma comunidade a qual está ligada conjuntamente pela ciência e pela educação (WITTGENSTEIN, DC, §298). [364]

Por essas proposições serem convencionalmente aceitas, formam o pano de fundo de nossas vivências. A palavra 'mente', como lugar que habita pensamentos ou intuições, também é uma criação cultural, convencional, de uma comunidade.

> Imagine uma comunidade primitiva cujos membros se comunicassem através de uma linguagem oral em que todas as enunciações proferidas só se referissem a coisas e eventos públicos observáveis por todos. Certo dia, um indivíduo chamado José teve a ideia de enriquecer aquela linguagem de modo que se tornasse possível, por ela, distinguir os membros da comunidade como seres dotados de pensamentos, intenções, desejos e sensações. Para isso, teve de convencer os demais indivíduos não apenas de que as enunciações que eles proferiam deviam ter um significado, como também, a de que elas poderiam ser verdadeiras ou falsas. Desse modo, José não apenas teria inventado a noção de "significado", como também introduzido as crenças de que pensamento e linguagem eram coisas distintas e de que o ato físico de proferir uma enunciação, em vez de ser visto como um comportamento corporal, deveria passar a ser entendido como um ato de expressar o que a pessoa que a proferiu estaria pensando, isto é, aquilo que supostamente estaria passando por sua cabeça e que não poderia ser diretamente observável. Após convencer as pessoas da existência de ENTIDADES NÃO-OBSERVÁVEIS, um passo além, mais sutil, dado por José, foi persuadi-las de que o comportamento linguístico observável *era causado* por essas entidades não-observáveis que seriam os pensamentos, bem como de que esses pensamentos poderiam ocorrer mesmo quando nenhum tipo de enunciação estivesse sendo proferida. Assim, pensar seria

[364] Ibid., p. 313.

> produzir um discurso interno silencioso. E o silêncio entre uma palavra e outra passaram a ser vistos como o estágio preliminar onde estariam ocorrendo processos internos não observáveis em algum lugar na cabeça das pessoas. Esse lugar foi chamado mente.[365]

Assim, muitas vezes usamos a palavra 'mente', tal como a palavra 'coração', como uma metáfora topológica para expressarmos linguisticamente coisas que temos dificuldades de descrever, mas que, de certa forma, possuem importância em nossas vidas e podem ter suas gramáticas clarificadas.

Voltando a discussão sobre matemática, Gottschalk[366] ainda afirma que

> [...] a matemática não é *descritiva*, não se refere a nenhum tipo de realidade, apenas nos dá as condições necessárias para a compreensão do sentido de certos enunciados em determinados contextos. Por exemplo, dizer que "por dois pontos passa uma reta" é uma condição de sentido para qualquer afirmação empírica sobre essa reta (desde que estejamos no universo euclidiano), é uma regra gramatical [...].[367]

Mesmo podendo fazer usos empíricos de proposições matemáticas, no interior dos sistemas que vão sendo inventados pelos matemáticos, elas

> [...] têm função normativa, são certezas que não são passíveis de ser revisadas pela experiência. Embora estejam enraizadas em determinadas práticas e formas de vida, em um *background* em que são constituídos suas definições, axiomas e postulados, essas proposições não descrevem entidades abstratas, ou a realidade empírica e tampouco são produto de uma negociação interpessoal. Fazem parte de nossas certezas, constituindo também uma imagem do mundo, da mesma forma que as afirmações do senso comum (temos certeza de que o mundo existe há milhares de anos, de que existem montanhas e rios, etc.). No entanto, não constitui nossa primeira língua a ser aprendida. Não estamos inseridos em uma forma de vida onde cotidianamente demonstramos teoremas ou operamos com objetos matemáticos, da mesma forma que sentamos em cadeiras ou utilizamos copos para beber água.[368] (GOTTSCHALK, 2004, p. 323)

Do mesmo modo que as proposições matemáticas têm função normativa, outras proposições também podem ter essa função, denominadas por Wittgenstein de

---

[365] MIGUEL, 2012, p. 21-22. Essa citação é uma síntese adaptada por Miguel de uma explicação que João de Fernandes Teixeira deu no livro *Mente, Cérebro e Cognição* – publicado pela Editora Vozes em 2008 – sobre a noção de mente - fornecida, na década de 60, do século passado, pelo filósofo norte-americano Wilfrid Sellars – ser como uma espécie de ilusão cultural. Optei, nesta citação, por manter a estética original e não fazer uso da fonte padrão.

[366] GOTTSCHALK, 2004.

[367] Ibid., p. 325-326.

[368] Ibid., 323.

proposições gramaticais. O que diferenciaria as proposições matemáticas de outras proposições? “Se a matemática é um jogo, então jogar um jogo é fazer matemática, e por que não também bailar?”[369].

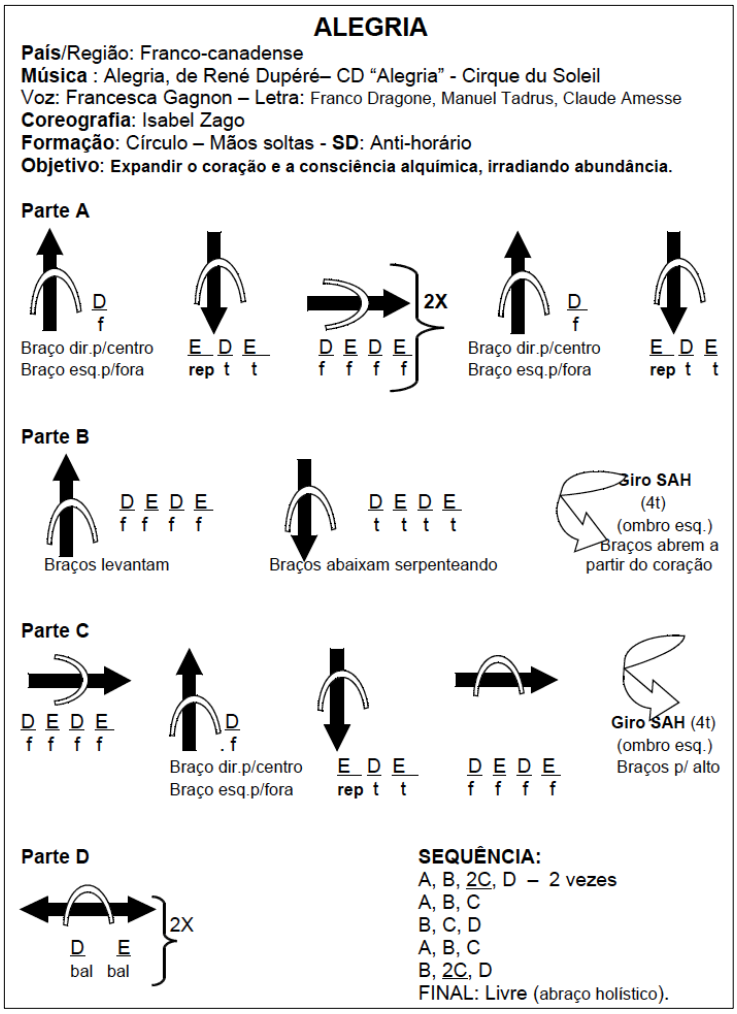


Figura 19. Diagrama de uma dança circular

A figura 19 pode ser vista como normativa, ou seja, ela mostra um modo exclusivo de dançar a música *Alegria*. Podem existir outros diagramas para dançar essa música. No entanto, para dançá-la com a coreografia de Isabel Zago, de forma inequívoca, temos que seguir o que está na Figura 19.

O que daria um caráter de inequivocidade à matemática maior do que ao diagrama acima a ponto de se ouvir “a matemática leva o homem à lua e a dança não”?

[369] WITTGENSTEIN, 1978, V, §4, p. 216.

O diagrama é inequívoco para uma versão de coreografia da música *Alegria*. O nosso modo de proceder na matemática, por exemplo, quando somamos 2+2, na base dez, independentemente da versão de procedimento (uso de calculadora ou uso de papel e lápis ou uso dos dedos das mãos), o resultado deverá ser 4.

> A verdade e a necessidade dos enunciados matemáticos não exprimem fatos nem essências matemáticas. Exprimem, pelo contrário, nossa "atitude" (*Einstellung*) em face de técnicas de cálculos e ao uso que fazemos dos números. Passamos a ver que a necessidade de "2+2=4" é relativa a um sistema preciso de convenções aceitas consensualmente, e que essas convenções desempenham papéis importantes em nossas vidas: elas permitem, por exemplo, que se espere com certeza a repetição de um mesmo resultado – sem que, para isso, seja preciso postular princípios *a priori* organizadores da experiência e nem uma crença (*belief*) irracional como fundamento do conhecimento científico. Passamos a ver que a proposição "2+2=4" poderia tornar-se inútil para nós se os objetos somados apresentassem, subitamente, um comportamento não-padrão, ou que sua necessidade tornar-se-ia relativizada se propuséssemos outras formas úteis de organização das mesmas situações – como "2+2+2=4". A necessidade aparece, assim, como uma propriedade regional e relativa aos jogos de linguagem, e não como expressão de princípios *a priori* e nem desígnios dos fatos naturais.[370]

Pelo fato dos objetos possuírem uma regularidade, ou melhor, um comportamento padrão, que não muda subitamente, que os enunciados sobre eles, como 2+2=4, fazem parte de sistemas precisos de convenções, tais como os do Cálculo Diferencial e Integral e da Geometria Analítica e Vetores, e fazem com que a matemática ocupe uma posição central nos jogos de linguagem de que os engenheiros participam, por exemplo: a construção de modelos matemáticos e lógicos para descrever os processos químicos, para o trabalho com controladores e para o uso de modelos matemáticos de ajustes de controladores industriais.

Para Miguel, em uma perspectiva wittgensteiniana de que a matemática é um fazer, no mundo da granja, em que as práticas devem ser realizadas em conformidades com regras, inclusive a divisão de ovos de galinhas em cartelas,

> [...] faria sentido (mesmo que, em tal mundo, a palavra "matemática" não seja usada nesse sentido) falar-se em práticas matemáticas como o conjunto de jogos de linguagem normativamente orientados – isto é, orientados por propósitos inequívocos – que nele são realizados. Entretanto, tais jogos não devem ser vistos como uma transposição de uma "matemática escolar" ou de uma "matemática acadêmica" para a forma de vida granjeira. Assim, nesse mundo, os trabalhadores que encenam práticas normativamente orientadas quer, por regras definidas pela legislação, quer por outras de naturezas diversas, estariam envolvidos em atividade matemática, ainda que nenhum

[370] MORENO, 1995, p. 39-40.

> conteúdo “tipicamente matemático” (escolar ou científico-acadêmico) pudesse ser visibilizado ou percebido nessas encenações corporais.[371]

Essa fala de Miguel muda o modo de ver a matemática como um conhecimento dominante universal feita pelos matemáticos, a serviço tanto dos matemáticos quanto das pessoas em geral, mas ao mesmo tempo diz que faz sentido falar das práticas granjeiras como práticas matemáticas, o que parece não mais reduzir as práticas – como as práticas dos engenheiros que entrevistei – à matemática do ponto de vista visível (acadêmica/escolar) ou que possa ser passível de modelagem matemática, mas a práticas matemáticas por cumprirem papéis inequívocos.

O foco deixa de ser a matemática vista como um corpo cumulativo proposicional de conhecimentos ou conteúdos universais consensualmente considerados como matemáticos por uma determinada comunidade de especialistas e passa a ser um conjunto ilimitadamente aberto de práticas ou ações humanas, realizadas (ou que poderão vir a sê-lo) em quaisquer campos de atividade humana, que sejam orientadas por propósitos sociais normativos – isto é, que precisam ser vistos como inequívocos – para que tais propósitos possam ser atingidos. O fato de se poder ou não traduzir esse conjunto de ações normativamente orientadas por um conjunto de proposições verbais de uma língua nativa qualquer ou por um conjunto de proposições expressas em um sistema simbólico de outra natureza – como é o caso daquele empregado na dança *Alegria* para traduzir inequivocamente as ações corporais que *devem* ser realizadas – constitui o domínio sempre aberto da investigação matemática, o qual não está absolutamente restrito à comunidade de matemáticos profissionais, mas aberto a todas as comunidades que, por alguma razão necessitam controlar normativamente algumas de suas práticas, como seria o caso, por exemplo, a comunidade (e não apenas os engenheiros) que habita e faz mover o mundo das refinarias e plataformas de petróleo.

Esse modo de falar de práticas de Miguel[372] me faz ver as diversas práticas dentro da Petrobras para processar o petróleo, para gerar produtos imprescindíveis ao mercado brasileiro, como gasolina, óleo diesel, parafinas, qav (querosene de

[371] MIGUEL, 2014, p. 23.
[372] MIGUEL, 2014.

aviação), etc.[373], de forma inequívoca, como as práticas relacionadas à engenharia eletrônica podem ser vistas como práticas matemáticas. No entanto, em que medida isso pode trazer contribuições para as discussões curriculares sobre matemáticas em cursos de engenharia nas quais a matemática, dita acadêmica, é vista como se fosse uma chave de fenda para um engenheiro? Essa é uma questão em aberto.

E a intuição? E a intuição que a matemática desenvolve? Por que não seria mais interessante dizer: "em cada ponto é necessária uma intuição, seria quase dizer: em cada ponto é necessária uma nova decisão"[374]?

[373] Na página da Petrobras Distribuidora há a listagem de produtos fornecidos pela Petrobras. Disponível em: http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/home/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwN3d09XAyNTb5_AwKBgQwMDA30v_aj0nPwkoEo_j_zcVP2C7EBFAJ3zqc0!/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=#. Acesso em: 12 de setembro de 2015.

[374] WITTGENSTEIN, 2009, §186.

O mediador entre o cérebro e a mão deve ser o coração

Há dias o epigrama “o mediador entre o cérebro e a mão deve ser o coração” do filme *Metropolis*[375] me incomoda, principalmente agora que estou na última problematização ou discussão de temas que chamaram a minha atenção no processo de entrevistas e de realização do doutorado. As possibilidades de problematizações das entrevistas são tantas quantas quaisquer pessoas possam desejar e, nesse sentido, diferentes teses poderiam ser escritas.

Então, com o ar de fim de tese, volto ao filme *Metropolis*. Ele mostra, de um lado, “o cérebro” que comanda a grande cidade-máquina *Metropolis*, com ajuda de alguns subordinados, e, do outro lado, o grande número de trabalhadores – as mãos ou os músculos – que se revezam em turnos para garantir que as máquinas sejam alimentadas. Em meio a essa relação homem-máquina aparece Maria, que anuncia a vinda de um escolhido – o coração – que representará “os músculos” na luta contra as condições de trabalho, nas quais os homens trabalham como autômatos e as máquinas são colocadas como deidades – Baal e Moloch, Huitziopochtli e Durgha – que precisam ser cuidadas e alimentadas.

Cérebros, mãos e máquinas acabaram me remetendo à Petrobras, que desenvolve ou compra tecnologias, possibilitando, cada vez mais, maior exploração e produção de petróleo e maior aproximação das atuações de seus operadores, ou seja, automatizam cada vez mais seus processos de produção. Seus “cérebros” recebem as listas de eventos, que são registros que as próprias máquinas geram, possibilitando que sejam analisados por esses “cérebros” e, a partir disso, que sejam analisados por eles outros eventos e dados recebidos para que, em sintonia com os interesses da empresa, possam produzir o planejamento da produção.

Existem *softwares* para automatizar o planejamento da produção, mas eles não são tão utilizados quanto aqueles destinados ao controle de processos e da instrumentação industrial[376]. Automatizar o planejamento de produção? Como assim?

---

[375] METROPOLIS, 1927. Há uma tradução livre do livro Metropolis de Thea von Harbou disponível em: https://leiturasparalelas.files.wordpress.com/2013/12/metropolis-thea-von-harbou.pdf. Acesso em: 27 de agosto de 2015.

[376] No texto “Uma outra Universidade... O Curso de Formação em Automação Industrial da Universidade Petrobras” eu abordei uma pirâmide de processos composta por: planejamento do processo, controle de processo e instrumentação industrial.

> Suponha que você tenha um problema de logística que é o seguinte: a embarcação tem que chegar tal dia. Depois que ela chegar você vai escoar o óleo e a refinaria vai receber o óleo naquele outro dia e vai poder processar tudo isso. Está tudo interconectado. Você poderia, digamos assim, automatizar o processo de controle disso, ou seja, eu sei que se a embarcação atrasar 3 dias, vou receber 3 dias depois o petróleo na refinaria e só vou poder processar ele 3 dias depois e assim vai. Então, supondo que a x tempo eu vou ter um petróleo com características diferentes, quanto tempo eu tenho que usar para desenvolver meu parque de refino para estar preparado para receber esse tipo de óleo? É todo esse controle que a gente chama de planejamento da produção, todo esse controle você poderia, de certa forma, automatizar. Só que as decisões são decisões, você nunca vai automatizar. Você está lá no topo tem alguém decidindo, "olha, agora a gente vai para esse lado e não vai para aquele". Essa decisão você não automatiza. (Filipe)

Então eu posso ficar tranquila que as máquinas não vão controlar tudo? "Não, não vai, está muito longe disso, hoje não!" (Filipe)

Hoje não; mas, no caso do algoritmo de detecção de golfadas, as experiências dos operadores foram utilizadas para treinar os controladores que poderão executar as ações que esses operadores executam. Quando os controladores começam a fazer o que o operador faz, como fica o papel dele? Ele muda? A máquina o substitui?

> A máquina substitui o que ele fazia antes, a parte operacional que ele fazia. A parte operacional de olhar tudo e tomar atitude a máquina substitui, porque ela faz melhor isso do que ele. Nem sempre ele vai fazer da mesma forma aquilo que ele falou que faz. O que a gente fez neste trabalho? A gente pegou várias atuações que a gente considerou e os próprios operadores classificaram como boas atuações no processo e usamos isso para treinar o controlador, para que ele sempre fizesse a mesma coisa, daquela mesma forma, dadas aquelas condições. E o que o operador faz? Ele fica supervisionando o controlador. Se o controlador começar a atuar de uma forma que ele não considera adequada, ele passa o controlador para manual e ele mesmo faz a atuação. É assim que funciona. Então, você não deixa de precisar do operador no processo, ele continua sendo necessário, mas agora com um nível de atuação, digamos assim, mais alto. Ele está olhando como o processo está se comportando e consegue até otimizar: "olha, eu sei que ele está fazendo como eu fazia, mas estou observando aqui uma forma melhor de fazer". Você pode mudar também, reprogramar o controle para que possa fazer daquela forma melhor que o operador falou. (Filipe)

O controlador substitui o operador, mas não substitui tanto.

> Substitui a parte operacional, eu diria. Substitui o dia a dia, toda hora, mas ele ganha um nível de abstração: ele pode atuar agora olhando o todo. Eu diria que, nesse caso especifico, não substitui; apenas ele muda de atividade. (Filipe)

O desenvolvimento tecnológico muda as condições de trabalho. Se no filme *Metropólis* os operadores ficavam mexendo em um monte de alavancas e não desgrudavam os olhos de manômetros, em um ambiente bem quente e com vapores sufocantes de óleo, os operadores – que são técnicos –, por exemplo, do centro nervoso da REDUC, chamado CIC (Centro Integrado de Controle), ficam em uma sala com cadeiras confortáveis, num ambiente com ar condicionado, monitorando 24h os consoles de operação – que são computadores que fazem interface entre o operador e o campo – e atuando no processo, por meio do mouse, para garantir que ele se comporte de forma adequada, ou de forma ótima.

O desenvolvimento tecnológico também muda as atividades dos operadores. Há operadores que além de monitorar e intervir no processo, podem até propor estratégias para otimizar a produção, passam a jogar outros jogos de linguagem. Mas, eu estou falando dos operadores das máquinas, dos "músculos". Sim, estou falando deles e sei que esta tese não é sobre eles, e sim, sobre a matemática na prática e na formação dos que os "comandam", que são os "cérebros" engenheiros que determinam os *setpoints* de operação ou, de uma forma mais ampla, o modo como os processos deverão acontecer, que fazem análise de ocorrências, que realizam trabalhos mais administrativos, que trabalham com configurações do SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído –, que fazem projetos de unidades, que fornecem cursos de formação e de formação continuada, que realizam pesquisas, que trabalham com manutenção, etc.

São esses "cérebros" que assumem posturas decisórias em um determinado lugar, relacionado com a posição que ocupam e com o contexto de atividade que normatiza as formas de controle que deverão exercer sobre processos, máquinas e operadores de máquinas. Ao longo desta tese, eu tentei mostrar diferentes cérebros que estão nas refinarias, no CENPES, na UP e na UNICAMP. Todos eles passaram por um processo de formação em que, de certa forma, a tecnologia assumiu, e ainda assume, uma posição privilegiada.

> A tecnologia é uma parte integral do mundo moderno – tanto no que diz respeito a soluções e a problemas. A engenharia – entendida como a profissão que lida com criar e implementar mudança tecnológica – tem, então, se tornado um empreendimento de maior significância para a sociedade moderna. Correta ou não, as soluções tecnológicas são vistas como

> respostas à maioria dos problemas que nós enfrentamos hoje e engenhosos engenheiros estão se esforçando para resolver problemas.[377]

A resolução de muitos problemas de nossas sociedades envolve criar tecnologias e, consequentemente, usá-las nessa resolução. Mas pode passar, também, por inventividades (técnicas, de problemas e existenciais) que ampliam a visão de engenheiro como resolvedor de problemas dados e até mesmo criados por alguém fora do contexto da engenharia[378].

Essas criações tecnológicas passam, de certa forma, pela matemática. No algoritmo de detecção de golfadas, a lógica fuzzy e o algoritmo genético foram utilizados. No sensor de detecção de golfadas: modelagem do poço de petróleo e otimização de processo envolveram matemática. No doutorado de Marcelo, envolvendo controlador multivariável, também foi utilizado um problema de otimização e matemática para provar estabilidade. Neste último caso,

> Você passa por tudo isso, você tem essa matemática complicada, pesada, você prova que um controlador é estável, garantia de estabilidade. Agora isso precisa virar realidade. Então, para virar realidade, tem outro trabalho: pensar na engenharia disso, quer dizer, a matemática agora tem que virar um programa, um procedimento, um produto. E eu acho que é isso que é fazer engenharia da coisa: é você pegar a teoria matemática pesada e fazer com que ela fique transparente para quem usa [...]. É isso que eu vou tentar fazer e se eu conseguir, o engenheiro que vai pegar isso, ele não necessariamente tem que saber toda essa matemática pesada, o teorema que prova estabilidade: ele precisa saber o que esperar, conhecer um pouquinho da teoria. Talvez não precise saber a prova de estabilidade, mas precisa saber que existe uma garantia de estabilidade para o que ele vai usar. Uma vez engenheirado, você acaba tirando um pouco da complexidade para a coisa ser prática e usável. A complexidade tem que estar na ferramenta e não no uso da ferramenta. (Marcelo)

Há uma diferenciação entre o construtor e o usuário, entre o desenvolvedor e o usuário de uma tecnologia? Estamos diante de uma nova dicotomia e conflitos hierárquicos? Um usuário de uma tecnologia da Petrobras a vê da mesma forma de alguém da – ou contratado pela – Petrobras que a desenvolveu? A matemática é a mesma tanto para um usuário quanto para um desenvolvedor?

O significado de algo é o seu papel no jogo[379], em jogos de linguagem. Pode ser que, em alguns jogos, um usuário nem veja matemática na tecnologia que

---

377 BUCH e JØRGENSEN, 2010, p. 2.
378 ARAVENA-REYES, 2014.
379 WITTGENSTEIN, 1978, p. 83, §19.

está sendo utilizada e para um desenvolvedor a tecnologia só foi possível porque há toda uma matemática envolvida.

> Por ser usuário final, a matemática fica no entendimento dos princípios de funcionamento dos equipamentos, instrumentos, modelar unidades para fazer controle. O desenvolvedor lida com a matemática dentro do equipamento e deixa uma margem de opções que o usuário pode ter, do que uma visão dos cálculos que estão dentro, que estão realizados dentro do equipamento. (Carlos)

O contexto de atividade de quem desenvolve algo para quem usa esse algo pode ser diferente e isso muda o modo como matemática pode ser vista nesses contextos.

Se a matemática participa na criação e no uso de tecnologias, ela também contribui para a alteração das práticas das pessoas em seus contextos de trabalho, como o processo de substituição de atividade do operador. Nesse caso, o operador assume uma posição de otimizar o processo e posso supor que isso pode se confundir com as funções de engenheiros que cuidam dessa parte de otimização. Teríamos aí a fronteira entre técnicos e engenheiros se confundindo? Teríamos a fronteira entre técnicos e engenheiros ficando embaçada quando engenheiros não levam em consideração, por exemplo, em suas propostas de sintonias de controladores PID, métodos de sintonia de controladores, problemas associados às não linearidades do processo e as características multivariáveis das plantas, como a interação entre controladores? Estaríamos em outra engenharia, que difere da moderna ou do passado, em um híbrido de empirismo e cientificismo?

> Tem muita coisa que está migrando para a computação. Por exemplo, há uns 20, 30 anos atrás existia o técnico em eletrônica. Outro dia encontrei um técnico em eletrônica no ônibus. Ele estava procurando outro emprego, [...]. Aquele técnico que – você nem pegou esse tempo – você levava um aparelho de som [por exemplo] para ele e ele abria, ficava trocando transistor, trocando capacitor, hoje não [tem mais isso]. [Hoje], você leva, ele joga a placa fora e põe outra placa, placa de computador é assim. Aquele técnico era um artista, a arte da eletrônica, [...], [ele] conhecia tudo. Hoje está tudo em um chip. A gente não sabe fazer chip, [...]. Tem várias áreas que estão substituindo por placas já compradas prontas e programáveis. Então o trabalho do cara passa a ser programar. Você vê muito isso em eletrônica de potência. A gente tem o carro elétrico, aí tem os motores, motor elétrico para a roda e tem um circuito de transistores que fica ligando esses motores, uma placa de potência que esquenta, tal, que a corrente é alta, e ela é programável, ligada a um computador, e você programa o que quer, velocidade, torque. O cara tem que saber programar. Quando estragar aquela placa, ele vai jogar ela fora e vai pôr outra. Então, o engenheiro cada vez mais tem que saber computação. Hoje tudo é programação, é versátil, a placa é versátil, você tem que programar para aquela aplicação que você quer. [...]. A gente mais uma vez

> está perdendo porque a gente não sabe desenvolver placas que tenham chip, porque a gente não fabrica chip no Brasil. A gente fica dependendo disso e aí, nesse ponto, pode ser que a matemática esteja perdendo um espaçozinho no sentido de que, se o engenheiro souber bem programação ele vai se virar bem, razoavelmente bem, mas é uma coisa que é lamentável [...]. O engenheiro vai se aproximar de um operador, simples operador, porque a gente fica dependendo de tecnologias que são feitas lá fora, não são feitas aqui, e quem está desenvolvendo – a Coréia do Sul, por exemplo – está fazendo coisa avançadíssima. Eles formam 250 mil engenheiros por ano. Só tem engenheiro naquele país! No Brasil, parece que é 50 mil. [...]. A Samsung está a potência que está porque eles investiram em educação. Tem uma estatística que mostra que 63% dos jovens de 25-34 anos da Coréia do Sul estão na Universidade, já no Brasil 14% de jovens de 25-34 estão na universidade. Aí esses caras sabem bastante matemática porque eles estão desenvolvendo. (Ely)

Mesmo a computação aparentemente assumindo um papel que pode fazer a matemática perder espaço, ainda que a fronteira entre matemática e computação seja sutil, como exemplificado por Fasshauer[380], a matemática é tida como um divisor de águas do desenvolvedor e do usuário de tecnologias e como uma espécie de Midas, faz com que tudo em que ela participa se transforme em ouro.

O crescimento da criação e dos usos de tecnologias, seja para a resolução de problemas ou inventividades que contribuam para a sociedade, faz com que as tradicionais fronteiras entre conhecimento científico e conhecimento técnico fiquem embaçadas, segundo Buch e Jørgensen[381], criando novas necessidades e finalidades para a formação em engenharia, principalmente no processo de formação de engenheiros eletrônicos, em que a tecnologia assume uma posição privilegiada.

Essas novas necessidades colocam em questão as tradicionais disciplinas dos cursos de graduação em engenharia como: matemática, física e químicas para a compreensão das novas áreas de pesquisa e de produção industrial e apontam a dificuldade de novas disciplinas incorporarem a complexidade técnico-científica da engenharia.[382]

Volto à frase que me incomoda: “o mediador entre o cérebro e a mão deve ser o coração”. Será a matemática o coração mediador entre o cérebro e a mão? Mas que matemática?

> O engenheiro do futuro eu não sei como vai ser, se ele vai ser só um agregador de funções, de *softwares*, ou se vai ser um cara que vai ter que botar mais atenção. Eu sempre penso na questão do ensino. O ensino da

[380] FASSHAUER, 2011.
[381] BUCH e JØRGENSEN, 2010.
[382] JØRGENSEN, 2015.

> matemática muitas vezes é um ensino muito desinteressante e isso atrapalha muito as pessoas depois a se motivarem para isso. Elas acabam vendo isso como uma coisa da qual elas deveriam fugir. E isso é culpa do modo como ela é abordada, desse modo desconectado. [...]. Muitas vezes, o pessoal agora visualiza menos porque se usa muitos *softwares* que fazem as contas todas para ele. Isso acaba sendo ruim, porque ele esquece das contas que estão por trás. O próprio simulador é um resolvedor de contas e acaba que [o engenheiro] não se preocupa nem com as contas que estão por trás e nem com os problemas numéricos de poder chegar aquela solução, porque para chegar àquela solução eu tenho um grande sistema algébrico ou algébrico diferencial para ser resolvido, tem a dificuldade matemática para resolver aquilo ali, e [...] tem [que] escolher alguns métodos numéricos para resolver. Esses métodos numéricos têm sua parametrização também e isso acaba sendo esquecido pelo usuário. O usuário acaba sendo só o cara que vai operar ali, ter uma resposta, mas acaba que se dissocia mais do problema real, problema real nem tanto é o problema da fábrica. O problema real é como chegar na solução. Eu tenho aqueles dados, quero chegar naquela resposta: como eu chego lá? Tem um monte de métodos numéricos que eu vou ter que usar. Esses métodos numéricos têm suas vantagens e desvantagens, têm suas parametrizações específicas. O usuário do simulador não está pensando nisso. Na verdade, ele quer o seguinte: ele quer um simulador que dê menos opções de escolha para ele. “Esse simulador aqui eu nem preciso escolher nada”, [...] só que ele esquece que quando você não faz uma escolha, ou o simulador ou na vida, alguém vai fazer para você. O simulador vai usar um método padrão, uma consequência lá que você não sabe qual vai ser. Isso é outro aspecto, no uso da engenharia isso está ficando cada vez mais comum, você esquecer das coisas matemáticas que existem porque você olha uma capa, sob forma de *software* que faz todas aquelas complexidades dos cálculos para você. Daqui a pouco alguém vai perguntar: “você faz matemática?”. “Não, o que é matemática?”. (Quelhas)

Qual a finalidade desse possível coração mediador (a matemática) nos cursos de engenharia, qual a finalidade da universidade com os cursos de engenharia, hoje e no futuro? Derrida[383], nos trabalhos “*Mochlos ou o Conflito das Faculdades*” e “*As pupilas da Universidade*”, utiliza o texto de Kant “*O conflito das faculdades*” para questionar se há, para a Universidade, uma “razão de ser” e falar sobre responsabilidade da Universidade. Esse perguntar pela razão de ser é, para ele, perguntar “por que a Universidade?”, mas com um “por que” no sentido de “em vista de quê?”.

> Desde as primeiras palavras, a Metafísica associa a questão da vista à do saber, e a do saber à do saber-aprender e do saber-ensinar. Preciso: a *Metafísica* de Aristóteles, e desde as primeiras linhas. [...]. É a primeira frase (980a): todos os homens têm, por natureza, o desejo do saber. Aristóteles crê descobrir o signo *(semeion)* disso no fato de as sensações darem prazer "até fora de sua utilidade" *(khoris tes khreias).* Esse prazer da sensação inútil explica o desejo de saber por saber, do saber sem finalidade prática. E isso é mais verdadeiro para a vista do que para os demais sentidos. Preferimos sentir "pelos olhos" não apenas para agir *(prattein),* mas mesmo quando não temos em vista nenhuma práxis. Esse sentido naturalmente teórico e

[383] DERRIDA, 1999.

> contemplador ultrapassa a utilidade prática e nos dá a conhecer mais do que qualquer outro: com efeito, descobre numerosas diferenças *(polias deloi diaphoras).* Preferimos a vista como preferimos o desvelamento das diferenças.[384]

Derrida questiona se quando se tem a vista sem tem o suficiente e se o desvelamento é suficiente para o ensinar e para o aprender,

> Mas, para saber aprender e aprender a saber, a vista, a inteligência e a memória não bastam, é mister também saber ouvir, poder escutar o que ressoa *(tôn psophôn akouein).* Brincando um pouco, eu diria que se deve saber fechar os olhos para escutar melhor.[385]
>
> Abrir o olho para saber, fechar o olho ou pelo menos escutar para saber aprender e aprender a saber, este é um primeiro esboço do animal racional.[386]

A citação de Aristóteles enfatiza o saber teórico, que ultrapassa o prático. Parece uma semelhança com as diversas falas de que a Universidade, uma instituição do saber, se preocupa com a teoria, o saber teórico pelo saber teórico, enquanto a vida de trabalho a prática, a utilização desse saber teórico. Mas essas falas têm sido criticadas e abordadas, como pode ser visto nesta tese, de diferentes formas, sendo que, nesta seção, a ênfase no teórico visaria a formação do engenheiro desenvolvedor de tecnologias, ou de outras áreas de atuação, e a ênfase no prático a formação de engenheiros ou técnicos ou tecnólogos usuários de tecnologias.

Talvez, a ênfase no teórico, pelas universidades, tenha uma ligação com a fala de Derrida, citando Kant, de que a Universidade é uma instituição artificial que tem por fundamento a ideia de razão.

Derrida fala que "A origem do princípio da razão, que também está implicado na origem da Universidade, não é racional. A fundação de uma instituição universitária não é um acontecimento universitário"[387] e, por isso, não há um conceito puro de universidade. Também, a razão não é suficiente para garantir a autonomia universitária, pois ela é autorizada por uma instância não universitária – o Estado – "e de acordo com critérios que não são mais, necessariamente e em última análise, os da competência científica, mas os de uma certa performatividade"[388].

---

[384] Ibid., p. 125.
[385] Ibid., p.125.
[386] Ibid., p. 127.
[387] DERRIDA, 1999, p. 118.
[388] Ibid., p. 87.

> Nem em sua forma medieval, nem em sua forma moderna, a Universidade dispôs de sua autonomia absoluta e das condições rigorosas de sua unidade. Por mais de oito séculos, "Universidade" terá sido o nome dado por nossa sociedade a uma espécie de corpo suplementar que ela quis, ao mesmo tempo, projetar para fora de si e guardar ciosamente dentro de si, emancipar e controlar. Por esses dois motivos, presumia-se que a Universidade *representava* a sociedade. E, de certa maneira, ela também o fez, reproduziu sua cenografia, suas vistas, seus conflitos, suas contradições, seu jogo e suas diferenças, bem como seu desejo de união orgânica num corpo total. A linguagem organicista está sempre associada à linguagem "técnico-industrial" no discurso "moderno" sobre a Universidade. Mas, com a relativa autonomia de um dispositivo técnico, e até de uma máquina e de um corpo pro-tético, esse artefato universitário somente *refletiu* a *sociedade* dando-lhe a oportunidade da reflexão, isto é, também, da *dissociação.*[389]

A Universidade vive o dilema do interno e externo, o dilema de suas fronteiras e de ser, assim como ela responde ao externo, ao Estado e à sociedade, ela responde ao interno, a suas próprias demandas. Interno e externo fica cada vez mais difícil de delimitar pelas semelhanças que mantêm entre si “de participação e de parasitismo que pode dar lugar a um abuso de poder, a um excesso propriamente político”[390], e abuso de ideias e ideais. Uma ilustração interessante sobre isso pode ser lida na reportagem “Indústria quer participar de elaboração de currículo universitário” [391], já mencionada nesta tese.

Tanto indústrias quanto centros de pesquisas fora da universidade compartilham saberes teóricos e práticos, compartilham práticas. A visão da universidade como *a* detentora de saberes teóricos perde o lugar privilegiado e, ao mesmo tempo, mantém o poder privilegiado de ser a única capaz de formar engenheiros, não sem ser questionada, o que pode contribuir para um outro lugar fundador da universidade e de seus cursos, no qual

> A dificuldade consistirá, como sempre, na determinação da melhor alavanca, os gregos diriam do melhor *mochlos*. O *mochlos* podia ser uma barra de madeira, uma alavanca para deslocar um navio, uma espécie de estaca para abrir ou fechar uma porta, em suma, aquilo sobre o que alguém se apoia para forçar e deslocar.[392]

Mas esse *mochlos* são currículos de engenharia úteis com finalidade profissional? Ou cursos ainda mais profundos e aprofundados em práticas teóricas

---

[389] Ibid., p. 156.
[390] Ibid., p. 87.
[391] Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/educacao/2014/11/1552374-industria-quer-participar-de-elaboracao-de-curriculo-universitario.shtml. Acesso em: 12 se setemebro de 2015.
[392] DERRIDA, 1999, p. 119-120.

que visem à formação de engenheiros desenvolvedores de tecnologias e não engenheiros apertadores de botões de máquinas? Seria pensar em como um novo coração mediador, a matemática, visto como doutrinas e fazeres, pode forçar e deslocar os atuais modelos brasileiros de cursos de engenharia?

A discussão é implacável,

> [...] um passo a mais com vistas ao aprofundamento ou à radicalização, até mesmo além do profundo e do radical, do principal, da *arqué*, um passo a mais rumo a uma espécie de an-arquia original corre o risco de produzir ou de reproduzir a hierarquia. O "pensamento" requer *tanto* o princípio de razão *quanto* o além do princípio de razão, a *arqué* e a an-arquia. Entre os dois, diferença de um sopro ou de um acento, somente a *implementação* desse "pensamento" pode decidir.[393]

Tomar uma decisão é um risco que se assume, mas não tomar e deixar tudo como está é deixar a decisão para que outros a tomem por mim, por nós.

Nesta tese, na qual levanto algumas discussões e exibo algumas práticas de engenheiros, ou que talvez não seja nada mais que a escrita de minha trajetória de adentrar territórios desconhecidos, não cabe a mim decidir sozinha qual deve ser um novo papel da matemática nos cursos de engenharia, mas espero que, ao menos, ela contribua para um olhar um pouco mais cuidadoso para a prática que eu e diversos professores exercemos em cursos de serviço e os papéis que exercemos nas decisões curriculares de que participamos. Para isso, um alerta final de Derrida pode ser interessante:

> Cuidado com os abismos e as gargantas, mas cuidado também com as pontes e as "*barriers*". Cuidado com o que abre a Universidade para o exterior e para o sem-fundo, mas cuidado também com o que, fechando-a em si mesma, não criaria senão um fantasma de cercado, a colocaria à mercê de qualquer interesse ou a tornaria perfeitamente inútil. Cuidado com as finalidades, mas o que seria uma Universidade sem finalidade?[394]

[393] Ibid., p. 155.
[394] DERRIDA, 1999, p. 155.

Referências

ABDELMALACK, Andrea. **O ensino-aprendizagem: avaliação da Derivada para o Curso de Engenharia através da resolução de problemas**. 2011. 175p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Cruzeiro do Sul, UNICSUL, São Paulo (SP).

ALMEIDA, Lourdes Maria Werle de. The "Practice" of Mathematical Modeling under a Wittgensteinian Perspective. In: **RIPEM (International Journal for Research in Mathematics Education)**. v.4, n.2, 2014.

ARAÚJO, Alyne Maria Rosa de. **Modelagem matemática nas aulas de cálculo***:* uma estratégia que pode contribuir com a aprendizagem dos alunos de engenharia. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemáticas) — Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento da Educação Matemática e Científica, UFPA, Belém (PA).

ARAVENA-REYES, José Antônio. A problematização como invenção: fundamentos para a educação em engenharia. In: **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 33, n. 2, p. 65-71, 2014.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática:** uma nova estratégia. 3 ed. São Paulo: Contexto, 2009.

BARBOSA, Jonei Cerqueira. Modelagem matemática em cursos para não-matemáticos. In: CURY, Helena Noronha (org). **Disciplinas Matemáticas em cursos superiores:** reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: Edipucrs, 2004.

BARROSO, Natália Maria Cordeiro. **Um modelo de ensino dos conceitos de cálculo para os cursos de engenharia fundamentado em uma epistemologia histórica e baseado na metodologia da engenharia didática**: validação por meio do conceito de integral. 187p, 2009. Doutorado. Universidade Federal do Ceará – Engenharia de Teleinformática.

BARKER, Stephen F. **Filosofia da Matemática**. Trad. Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1967.

BAZZO, Walter António; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução à engenharia**: conceitos, ferramentas e comportamentos. Florianópolis : Ed. da UFSC, 2006.

BILLINGTON, David; DEODATIS, George. **Performance of the Menai Straits Bridge**: before and after reconstruction. Disponível em: http://www.princeton.edu/~civ102/labs/billington_article.pdf. Acesso em 03 de setembro de 2015.

BONDÍA, Jorge Larrosa. Notas sobre a experiência e o saber de experiência. In: **Revista Brasileira de Educação**. n.19, Jan/Fev/Mar/Abr, Rio de Janeiro: ANPED, 2002, p.20-28.

BOURDIEU, Pierre. **Para uma Sociologia da Ciência**. Trad. Pedro Elói Duarte. Portugal: Edições 70, 2004.

BRANDÃO, Murillo César de Mello Brandão; BORGES, Jorge Luiz Pereira Borges; RODRIGUEZ, Martius V. Rodriguez y. Universidades Corporativas: um estudo de caso. In: **Transinformação**, v.13, n.2, julho/dezembro de 2001, p.131-141.

BRASIL, Conselho Nacional de Educação (CNE), Câmara de Educação Superior (CES). **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Brasília: CNE/CES, Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002.

BUCH, Anders. What are the 'practices' in engineering practice?. In: **Annual Conference for the Society for Social Studies of Science**. Buenos Aires, Argentina, 2014.

BUCH, Anders; JØRGENSEN, Ulrik. Multi-sited ethnographies and studies of engineering practice. In: **EASST (European Association for the study of science and technology) Conference**. Itália, Trento, 2010.

BULFINCH, Thomas. **O livro de ouro da mitologia**: (a idade da fábula): histórias de deuses e heróis. Trad. David Jardim Júnior. ed. 26. Rio de janeiro: Ediouro, 2002

CABRAL, Tânia Cristina Baptista e BALDINO, Roberto Ribeiro. O ensino de matemática em um curso de engenharia de sistemas digitais. In: CURY, Helena Noronha. **Disciplinas Matemáticas em cursos superiores:** reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: Edipucrs, 2004, p. 139-186.

CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Hebert C. G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CHAUÍ, Marilena. **Introdução à história da filosofia**: dos pré-socráticos a Aristóteles. v.1. 2 ed. 8 reimp. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

CLARETO, Sônia Maria, et. al. Formação como Processo Ético-Estético-Político... e... e... In: **Linha Mestra**, n.23, agosto-dezembro, 2013.

COMTE, Auguste. **Curso de filosofia positiva**. Trad. José Arthur Giannotti e Miguel Lemos. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Os pensadores)

CURY, Helena Noronha. **Disciplinas Matemáticas em cursos superiores:** reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: Edipucrs, 2004.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. **Etnomatemática:** elo entre as tradições e a modernidade. 2 ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2005.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. Prefácio. In: BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática:** uma nova estratégia. 3 ed. São Paulo: Contexto, 2009.

DAVIS, Philip J. e HERSH, Reuben. **A Experiência Matemática**. Trad. João Bosco Pitombeira. 2 ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1985.

DESCARTES, René. **Discurso do método**. Trad. Elza Moreira Marcelina. Brasília: Editora da Universidade de Brasília; São Paulo: Ática, 1989.

DERRIDA, Jacques. **O olho da universidade**. Tradução de Ricardo Iuri Canko e Ignacio Antonio Neis. São Paulo: Estação Liberdade, 1999.

DIAS, André Luís Mattedi. **Engenheiros, Mulheres, Matemáticos:** interesses e disputas na profissionalização da matemática na Bahia (1896-1968). Tese. Programa de Pós-Graduação em História Social. São Paulo: USP (Universidade de São Paulo). 2002. 310 páginas.

DUMMETT, Michael. Wittgenstein's Philosophy of Mathematics. In: **Philosophical Review**. vol. 68, n. 3, jul 1959, PP. 324-348.

DUQUE-ESTRADA, Paulo César. Jacques Derrida, primeiros passos: da linguagem à escritura. In: **Revista Mente, Cérebro & Filosofia**. (Fundamentos para a compreensão contemporânea da psique). São Paulo: Duetto. n. 12, agosto, 2008. p.49-57.

EBOLI, Marisa P. ; HOURNEAUX JUNIOR, Flávio ; IVANOFF, G. B. ; MANCINI, Sérgio. Breve Panorama da Educação Corporativa no Brasil: Apresentação de Resultados de Pesquisa. In: **XXIX EnANPAD - Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração**, 2005, Brasília - DF. Encontro ANPAD, 2005. v. 1.

ENGELMAN, Mauro L. As filosofias da matemática em Wittgenstein: Intensionalismo sistêmico e a aplicação de um novo método (sobre o desenvolvimento da filosofia da matemática de Wittgenstein). In: **doispontos**. Curitiba, São Carlos, vol. 6, n. 2, p. 165-184, outubro, 2009.

ESPINOLA, Aïda. **Ouro Negro – petróleo no Brasil**: pesquisa em terra, na plataforma continental e em águas profundas. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

EUCLIDES. **Os Elementos**. Trad. e Intr. Irineu Bicudo. São Paulo: Editora Unesp, 2009.

FASSHAUER, Gregory E. Positive Definite Kernels: past, present and future. In: **Dolomites Research Notes on Aproximation**. v.4. Special Issue. P. 21-63, 2011. Disponível em: http://www.math.iit.edu/~fass/PDKernels.pdf. Acesso em: 29 de Agosto de 2015.

FECCHIO, Roberto. **A modelagem matemática e a interdisciplinaridade na introdução do conceito de equação diferencial em cursos de engenharia**. 2011.

209f. Tese (Doutorado em Educação Matemática) — Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, PUC-SP, São Paulo (SP).

FIGUEIREDO, Lydia. **Planejamento e programação de um projeto de construção civil**. (trabalho de formatura para obtenção do diploma de Engenheiro de Produção). São Paulo: USP/Escola Politécnica/Departamento de Engenharia de Produção. 2009. 119p.

FRANCHI, Regina Helena de Oliveira Lino. **Uma proposta curricular de Matemática para cursos de engenharia utilizando modelagem matemática e informática.** 2002. 189p. Tese (Doutorado em Educação Matemática). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.

FUSCO, Cristiana Abud da Silva. **Ensino de uma disciplina básica de matemática:** (Geometria Analítica e Cálculo Vetorial) num curso de engenharia 2002. 167f. Tese (Doutorado em Educação: Currículo). São Paulo: PUC-SP.

GEBAUER, Gunter. **O pensamento antropológico de Wittgenstein**. Trad. Milton Camargo Mota. São Paulo: Edições Loyola, 2013.

GERRARD, Steve. Wittgenstein's Philosophies of Mathematics. In: **Synthese**. vol. 87, n. 1. Wittgenstein part 1 april 1991, PP. 125-142.

GLOCK, Hans-Johann. **Dicionário Wittgenstein**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 1998.

GOMES, Gisela Hernandes. **A Matemática em um curso de Engenharia***:* vivenciando culturas. 2009. Tese (Doutorado em Educação Matemática) — Centro das Ciências Exatas e Tecnologias, PUC-SP, São Paulo (SP).

GOTTSCHALK, Cristiane Maria Cornelia. Natureza do Conhecimento Matemático sob a Perspectiva de Wittgenstein: algumas implicações educacionais. In: **Caderno de História e Filosofia das Ciências**. Campinas, série 3, v. 14, n. 2, p. 305-334, jul.-dez., 2004.

GOTTSCHALK, C. M. C. Três Concepções de Significado na Matemática: Bloor, Granger e Wittgenstein. In: MORENO, A. R. (org.). **Wittgenstein: aspectos paradigmáticos**. Coleção CLE. Campinas, v. 49, p. 95-133, 2007.

HUISMAN, Denis. Apresentação e comentários. In: DESCARTES, René. **Discurso do método**. Trad. Elza Moreira Marcelina. Brasília: Editora da Universidade de Brasília; São Paulo: Ática, 1989.

JØRGENSEN, Ulrik. Constructions of the Core of Engineering: technology and design as modes of social intervention. In: CHRISTENSEN, Steen Hyldgaard; et al. (editors). **International Perspectives on Engineering Education Engineering**: education and practice in context. v. 1. Springer International Publishing, Switzerland, 2015.

JULIO, Rejane Siqueira. **Uma leitura da produção de significados matemáticos e não-matemáticos para dimensão**. Dissertação de mestrado (Programa de pós-

Graduação em Educação Matemática. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática, 2007, 118p.

LATOUR, Bruno; WOOLGAR, Steve. **A Vida de Laboratório**: a produção dos fatos científicos. Trad. Ângela Ramalho Vianna. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LIMA, Elon Lages. **Espaços Métricos**. 3ed. Rio de Janeiro: Associação Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, 2003.

LINS, Romulo Campos. Characterising the mathematics of the teacher from the point of view of meaning production. In: **10th International Congress on Mathematical Education**, 2004, Copenhagen. Plenary and Regular Lectures (abstracts) (2004b)

LISPECTOR, Clarice. **A paixão Segundo G.H.** Rio de Janeiro: Rocco, 2009.

LOBATO, Monteiro. **O Poço do Visconde**: geologia para crianças. São Paulo: Editora Brasiliense, 1965.

MARAFON, Adriana Cesar de Mattos. **Vocação Matemática Como Reconhecimento Acadêmico**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação. Campinas (SP): Faculdade de Educação/Unicamp, 2001. 311p.

METROPOLIS. Direção: Fritz Lang. Alemanha. 1927. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=TZuEkC-o5mE. Acessdo em: 28 de agosto de 2015.

MIGUEL, Antonio e VILELA, Denise Silva. Práticas Escolares de Mobilização de Cultura Matemática. In: **Caderno CEDES**. Campinas, v.28, n.74, p.97-120, 2008.

MIGUEL, Antonio. Percursos Indisciplinares na Atividade de Pesquisa em História (da Educação Matemática): entre jogos discursivos como práticas e práticas como jogos discursivos. In: **Bolema**. Rio Claro (SP): v. 23, n.35ª, p.1-57, 2010.

MIGUEL. Antonio. Vidas de professores de matemática: o doce e o dócil do adoecimento. In: TEIXEIRA, I. A. C; PAULA, M. J.; GOMES, M. L. M; AUREK, W. A. (orgs). **Viver e contar: história de professores de Matemática**. São Paulo: Livraria da Física, 2012, p. 271-309.

MIGUEL, Antonio. Is the mathematics education a problem for the school or is the school a problem for the mathematics education? In: **RIPEM (International Journal for Research in Mathematics Education)**. vol 4, n. 2, 2014.

MORENO, Arley Ramos. **Wittgenstein:** através das imagens. 2 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1995.

MORENO, Arley Ramos. **Wittgenstein**: os labirintos da linguagem: ensaio introdutório. 1 ed. São Paulo: Moderna; Campinas,SP: Editora da Universidade de Campinas, 2000. (Coleção logos)

MORENO, Arley Ramos. Prefácio. In: SILVA, João Carlos Salles Pires da. **A gramática das cores em Wittgenstein**. Campinas: Unicamp, Centro de Lógica, Epistemologia e História das Ciências, 2002, p. 11-23. (Coleção CLE; v.35)

MORENO, Arley Ramos. Pensamento e Realidade: em direção a uma pragmática filosófica. In: MORENO, Arley Ramos (org.). **Wittgenstein**: aspectos pragmáticos. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 2007, p. 55-94. (Coleção CLE; v. 49).

NOSS, Richard; HOYLES, Celia; POZZI, Stefano. Working Knowledge: Mathematics in Use. In: BESSOT, Annie e RIDGWAY, Jim (orgs). **Education for Mathematics in the Workplace**. Estados Unidos: Kluwer Academic Publishers, 2002.

OLIVA, Eduardo; ROMAN, Valquiria e MAZZALI, Leonel. A universidade corporativa como instrumento de sustentação do negócio: A experiência das empresas estatais. In: **Rev. Portuguesa e Brasileira de Gestão** [online]. 2010, vol.9, n.1-2, pp. 75-84.

OLIVEIRA, Vanderlí Fava de. Crescimento do número de cursos e de modalidades de engenharia: principais causas e consequências. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**: promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças. Paraíba, Campina Grande, 2005.

OTRANTO, Celia Regina. Universidades Corporativas: o que são e para que servem? In: **30ª Reunião Anual da ANPEd**. 2007, Caxambu. ANPEd: 30 anos de pesquisa e compromisso social, 2007.

PENFOLD, Alastair, B.A., PHIL, M. **The Public Works of Thomas Telford**. Inglaterra: Microform Limited,1983. Disponível em: http://www.microform.co.uk/guides/R97063.pdf. Acesso em 03 de setembro de 2015.

PETROBRAS. **Almanaque Memória dos Trabalhadores da Petrobras**. Rio de Janeiro: Petrobras; São Paulo: Museu da Pessoa, 2003.

PINTO, Danilo Pereira; PORTELA, Júlio César da Silva ; OLIVEIRA, Vanderli Fava de. Diretrizes Curriculares e Mudança de Foco no Curso De Engenharia. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, 2003, Rio de Janeiro. XXXI COBENGE, 2003. v. 1. p. 1-10.

PINTO, Danilo Pereira; OLIVEIRA, Vanderlí Fava de. Reflexões sobre a prática do engenheiro-professor. **Anais do XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, COBENGE, Belém, PA, 2012.

PLATÃO. **A República**. Trad: Maria Helena da Rocha Pereira. 9 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

PLATÃO. **Mênon**. 6 ed. Rio de Janeiro/São Paulo: Editora PUC-Rio/Editora Loyola-Editora, 2010.

RODRIGUEZ, Martius V. Rodriguez y; DANTAS, Mario Ribeiro. A Implantação de Universidades Corporativas: uma revisão bibliográfica. In: **Sustainable Business International Journal**, n. 8, maio de 2011, p. 1-17.

SANTOS, Madalena Pinto dos. **Encontros e esperas com os Ardinas de Cabo Verde**: aprendizagem e participação numa prática social. 2004. Tese (Doutorado) – Departamento de Educação, Universidade de Lisboa, Lisboa

SHITSUKA, Ricardo. **Proposta de reestruturação de matrizes curriculares por meio de cobertura conceitual: um estudo de caso para disciplinas de matemática em um curso de graduação em Engenharia Mecânica**. 2011. 218p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Cruzeiro do Sul, UNICSUL, São Paulo (SP).

SILVA, Circe Mary Silva da. **A Matemática Positivista e sua Difusão no Brasil**. Vitória: EDUFES, 1999.

SILVA, Clodomiro Pereira; GUEDES, Henrique Jorge; FREIRE, Victor da Silva. **Engenharia e seu Ensino Superior**: relatório preliminar apresentado a comissão de ensino superior e universitário da sociedade paulista de educação. São Paulo: Estabelecimento Graphico Irmãos Ferraz, 1931.

SILVA, Jairo José da. **Filosofias da Matemática**. 2 reimp. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

SOARES, Eliana M. do Sacramento. **Comportamentos matemáticos e o ensino de matemática para os cursos de engenharia**. Tese de Doutorado. São Carlos/Caxias do Sul: UFSCar-UCS, 1997.

SOUZA, Elizabeth Gomes e BARBOSA, Jonei Cerqueira. Some Implications of Wittgenstein's Idea of *Use* for Learning Mathematics through Mathematical Modelling. In: **RIPEM (International Journal for Research in Mathematics Education)**. v.4, n.2, p. 114-138, 2014.

SOUZA, Luana Poltronieri de. **A matemática na Engenharia Mecânica na UFES**. 2008. 221p. Dissertação (Mestrado em Educação). Vitória: Centro de Educação, UFES.

STEWART, James. **Cálculo**. v.1. Trad. Antonio Carlos Moretti e Antonio Carlos Gilli Martins. São Paulo: Cengage Learning, 2011, p. 302.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **História da Engenharia no Brasil**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

THOMAS, José Eduardo (org.). **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência e Petrobras, 2004.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Controle e Automação**. Faculdade de Engenharia Mecânica, 2011.

VEIGA-NETO, Alfredo. Grupo de Estudos e Pesquisas em Currículo e pós modernidade/GEPCPÓS: concepções sobre a prática. In: MACEDO, E.; MACEDO, R. S.; AMORIM, A. C. (Org.). **Como nossas pesquisas concebem a prática e com ela dialogam?** Livro digital. Campinas: FE/UNICAMP, 2008. Disponível em: http://libidigi.unicamp.br. Acesso em 02 de setembro de 2015.

VIANNA, Carlos Roberto. O Cão do Matemático: Discutindo o ensino de matemática em cursos de formação de professores. In: **Educação**. Porto Alegre, ano XXV, n. 47, pp. 153-160, Junho 2002.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Observaciones sobre los fundamentos de la matemática**. Espanha: Alianza Editorial, 1978.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **O livro castanho**. Trad. de Jorge Marques. Lisboa: Edições 70, 1992.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Investigações Filosóficas**. Trad. Marcos G. Montagnoli. Revisão e apresentação Emmanuel Carneiro Leão. 6 ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2009.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Movimentos do Pensamento**: diários de 1930-1932/1936-1937. Trad. Edgard da Rocha Marques. São Paulo: Martins Fontes, 2010.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Tractatus Logico-Philosophicus**. Tradução, apresentação e introdução Luiz Henrique Lopes dos Santos. 3 ed 2 reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2010b.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Da Certeza**. Trad. Maria Elisa Costa. Portugal: Edições 70, 2012.

WRIGLEY, Michael. Wittgenstein's Philosophy of Mathematics. In: **The Philosophical Quarterly**. vol. 27, n. 106, jan 1977, PP. 50-59.

ZADEH, Lotfi A. The Birth and Evolution of fuzzy logic. In: **International Journal General Systems**. v. 17, p. 95-105, 1990.

ZILL, Dennis, G. **Equações Diferenciais com Aplicações em Modelagem**. Trad. Cyro de Carvalho Patarra. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

Apêndice A – Roteiro para entrevistas com engenheiros da Petrobras

1. Caracterizar sua formação universitária, no aspecto geral, e falar o que lembra sobre a matemática nesse contexto de formação.

2. Após a formação universitária, qual foi sua trajetória? Descrever uma dessas trajetórias e dizer como via/vê e utilizava/utiliza a matemática em sua atuação profissional? Exemplificar.

3. Quando entrou na Petrobras, como foi seu processo de formação?

4. Para professores: na Petrobras, que função exerce? Descrever sua atuação na empresa e como a matemática participa dela, exemplificando.
Para alunos: relatar a experiência do contato com a área de atuação na Petrobras, descrevendo essa área de atuação; dizer se nesse contato consegue ver a matemática nas práticas desenvolvidas e que passará a desenvolver e como ela aparece.

5. Como vê as relações:
a) curso de graduação e/ou pós-graduação com a prática profissional;
b) curso de graduação e/ou pós-graduação com o curso de formação da Universidade Petrobras e a prática profissional?
Como o(a) Sr.(a) vê a matemática nessas relações?

6. Houve alguma matemática que o(a) Sr.(a) aprendeu na sua prática profissional e que não foi aprendida enquanto estava em processo de formação universitária? Qual? Exemplificar.

7. Ao olhar para sua trajetória, há aspectos de suas atividades profissionais que são tão inequívocos como 2+2=4?

Apêndice B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
UNICAMP/CAMPINAS

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Título do projeto: Jogos de linguagem [matemáticos] na formação e na prática de engenheiros.
Pesquisador: Rejane Siqueira Julio
Orientador: Professor Doutor Antonio Miguel

Objetivos: O(a) Sr.(a) está sendo convidado(a) para participar de uma pesquisa que tem como objetivo descrever e problematizar os modos como formadores de engenheiros, alunos do curso de Engenharia e engenheiros falam sobre matemática e os papéis que ela pode assumir no processo de formação acadêmica e de atuação profissional.

Procedimentos: A pesquisadora Rejane Siqueira Julio, fará uma entrevista com o(a) Sr.(a) através de perguntas relacionadas ao papel que a matemática desempenha/desempenhou em trajetória de formação e de atuação profissional. Esta entrevista terá, aproximadamente, 2 horas de duração e será gravada, respeitando na sua divulgação os códigos de ética vigentes para pesquisa e usada para fins acadêmicos. O(a) Sr.(a) receberá uma cópia da gravação.

Riscos e desconfortos: Informamos que sua participação neste estudo não tem riscos nem desconfortos. Sua participação **é voluntária** e, mesmo que inicialmente o(a) Sr.(a) concorde em participar da pesquisa, poderá desistir de participar a qualquer momento, sem que isso acarrete qualquer penalidade ou represálias de qualquer natureza. Além disso, o(a) Sr.(a) poderá solicitar informações sobre a pesquisa pelo e-mail da pesquisadora: resiju@gmail.com ou pelo telefone: (19) 98440-8752.

Benefícios: Ao participar da pesquisa o(a) Sr.(a) não receberá nenhum benefício direto.

Custo para o participante: Sua participação no estudo não envolve qualquer tipo de despesa.

Confidencialidade da pesquisa: Sua identidade será ou não será mantida em segredo em todas as apresentações, publicações e qualquer outra forma pela qual esta pesquisa for divulgada, de acordo com o que for assinalado na **Declaração de Consentimento**.

Declaração de Consentimento

Declaro que li as informações contidas nesse documento e fui devidamente informado(a) pela pesquisadora Rejane Siqueira Julio, RG MG-12.204.028 e CPF 013.621.286-78, dos procedimentos que serão utilizados, riscos e desconfortos, benefícios, custo/reembolso dos participantes, confidencialidade da pesquisa. Concordo em participar da pesquisa, de forma voluntária. Permito a gravação da entrevista por meio de: ( )imagem, ( )áudio, ( ) imagem e áudio. Sobre a confidencialidade: ( ) cedo os direitos de minha entrevista, bem como autorizo a utilização dos dados e da gravação integralmente e sem restrições de prazos e de citações; ( ) minha identidade deverá ser mantida em segredo em todas as apresentações, publicações e qualquer outra forma pela qual esta pesquisa for divulgada. Foi-me garantido que posso retirar o consentimento a qualquer momento, sem que isso leve a qualquer penalidade.

_____, ___ de _____ de _____

Entrevistado: _____

Assinatura: _____

CPF: _____ **RG**: _____

Email para envio de cópia da gravação: _____

Assinatura da Pesquisadora: _____

Em caso de dúvidas, o Sr.(a) poderá entrar com contato com a pesquisadora através do email: resiju@gmail.com ou pelo telefone: (19)98440-8752.

Apêndice C – Roteiro para entrevista com os professores do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Unicamp

1. Caracterizar sua formação universitária, no aspecto geral, e falar o que lembra sobre a matemática nesse contexto de formação.

2. Após a formação universitária, qual foi sua trajetória profissional antes de começar a trabalhar na Unicamp como docente? Descrever uma dessas trajetórias e dizer como via e utilizava a matemática em sua atuação profissional? Exemplificar.

3. Qual disciplina o(a) Sr.(a) leciona no Curso de Engenharia de Controle de Automação? O(a) Sr.(a) pode descrevê-la e relacioná-la com matemática?

4. Como o(a) Sr.(a) vê as disciplinas de matemática no Curso de Engenharia de Controle de Automação?

5. Como vê a relação: curso de graduação e/ou pós-graduação com a prática profissional?

6. Houve alguma matemática que o(a) Sr.(a) aprendeu na sua prática profissional e que não foi aprendida enquanto estava em processo de formação universitária? Qual? Exemplificar.

7. Ao olhar para sua trajetória, havia/há aspectos de suas atividades profissionais que eram/são tão inequívocos como 2+2=4?

Apêndice D – Roteiro para as entrevistas com Educadores Matemáticos

1. Você já deu aula em cursos de engenharia? Ou em cursos de serviço, em que a matemática aparece como disciplina básica? Como foi essa experiência? Como você lidou com a matemática que estava na ementa?

2. Nos EUA, tem uma Universidade chamada Olin College, que possui curos de graduação em engenharia. Neste curso, eles não eliminam as disciplinas de Cálculo, mas pensam o curso de outra forma. Você consegue pensar um curso desse no Brasil? Eu fiz o exercício de verificar a sugestão de cumprimento do curso de engenharia em Controle e Automação da Unicamp e vi que das 64 disciplinas obrigatórias, 40, incluindo as de matemática, dependem de 2: Cálculo I e Geometria Analítica e Vetores. Você conseguiria pensar em um curso de engenharia que não tivesse essas duas disciplinas? Como seria um curso desse?

3. Depois de ouvir as minhas entrevistas com engenheiros da Petrobras e professores da Unicamp, tirei 4 enunciados que são, no meu julgamento, fortes não só na engenharia mas na educação, quais sejam: a) a matemática é um conjunto de ferramentas, umas se usam mais do que outras; b) a matemática é a base, é o fundamento, da engenharia; c) a matemática é a linguagem que representa a realidade, os fenômenos; d) a matemática desenvolve a capacidade de abstração, desenvolve o raciocínio lógico, desenvolve a intuição. Como você vê esses enunciados?

4. Depois que uma pessoa passa por um curso de graduação, presta um concurso concorrido para entrar na Petrobras e é aprovada, ela tem que fazer um curso de Formação, como é o caso entrevistados da Petrobras que fizeram o Curso de Formação em Automação Industrial (CFAI) na UP. Na fala de um entrevistado, o CFAI funciona como uma ponte entre a graduação e a indústria e tem, aproximadamente, 9 meses de duração, antes do(a) engenheiro(a) ingressante na empresa começar a atuar em alguma área de negócio. Isso me fez questionar o papel dos cursos de

graduação. Como você vê essa formação dita generalista no campo da engenharia e a necessidade de uma UP, por exemplo, para formar um engenheiro para lidar na empresa em que vai trabalhar.

5. O que para você é tão inequívoco quanto 2+2=4 no trabalho que você desenvolve, nas suas aulas de matemática para cursos de serviço?

Anexo 1 – Autorização para realização de pesquisa

AUTORIZAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE PESQUISA

Eu **Juliano Mesquita Loureiro,** RG **12.616.656-0**, **IFP-RJ**, autorizo a realização da pesquisa intitulada ***Jogos de Linguagem [matemáticos] na formação e na prática de engenheiros***, junto ao coordenador, professores e alunos do **Curso de Formação em Automação Industrial** ministrado pela **Universidade Petrobras**, tendo como interlocutor indicado pela Petrobras o Engenheiro **Filipe Leandro de Figueiredo Barbosa**, RG 662.160-1 MB.

Estou ciente de que a pesquisa será realizada sob a responsabilidade de **Rejane Siqueira Julio**, RG MG-12.204.028, aluna de doutorado da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), no período de 01 de fevereiro a 31 de março de 2014.

Rio de Janeiro, 02 de dezembro de 2013.

Atenciosamente,

Juliano Mesquita Loureiro
Universidade Petrobras
Gerente de Suporte à Gestão
Matrícula: 962198-4

Juliano Mesquita Loureiro
Petrobras - Petróleo Brasileiro S.A.
Recursos Humanos/Universidade Petrobras
Gerente de Suporte à Gestão