

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

DAVI SAVIETO SUBIÑAS

**Estratégias de gestão de demanda energética através de otimização do
carregamento de carros elétricos**

Campinas,
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

DAVI SAVIETO SUBIÑAS

**Estratégias de gestão de demanda energética através de otimização do
carregamento de carros elétricos**

Trabalho Final de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção
do título de **Bacharel em Engenharia
Civil** à Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius de Carvalho Neiva
Pinheiro

Campinas,
2024

**Estratégias de Gestão da demanda energética para otimização do
carregamento de carros elétricos**

DAVI SAVIETO SUBIÑAS

BANCA EXAMINADORA

.....

Prof. Dr. Vinícius de Carvalho Neiva Pinheiro
Orientador

.....

Dra. Kelly Kawai Venancio

.....

Me. Adriano Henrique Tognato

Aprovado em:

Resumo

A eletrificação do transporte pessoal é uma solução promissora para reduzir emissões de gases do efeito estufa e promover um transporte mais sustentável. No entanto, a integração de veículos elétricos na rede elétrica apresenta desafios significativos, como a sobrecarga do sistema energético. Para abordar esses desafios, é crucial desenvolver estratégias eficazes de gestão da demanda energética. Este trabalho propõe um modelo computacional que auxilia no planejamento e na gestão da demanda de carregamento de carros elétricos no Brasil, considerando as particularidades do cenário nacional. As estratégias incluem a otimização dos horários de carregamento com base em ferramentas de otimização numérica, simulando a gestão de múltiplos veículos elétricos simultaneamente, sem sobrecarregar a rede elétrica e minimizando os custos com energia. O modelo também permitiu calcular os custos de energia elétrica sob diferentes cenários e modelos de contratação, conforme as regulamentações brasileiras. Essas práticas não apenas melhoram a eficiência da infraestrutura de carregamento, mas também protegem a rede elétrica de sobrecargas, garantindo uma transição sustentável e economicamente viável para a mobilidade elétrica. Os resultados mostraram que o sistema de carregamento de carros com técnicas simples de otimização e automação pode trazer resultados muito benéficos para o consumidor e para a rede elétrica brasileira, como por exemplo a proteção da rede elétrica e uma economia relevante no custo da energia.

Palavras-chave: Veículos elétricos, Gestão, Carregamento, Economia, Demanda e Rede.

Abstract

The electrification of personal transportation is a promising solution to reduce greenhouse gas emissions and promote more sustainable transportation. However, the integration of electric vehicles into the power grid presents significant challenges, such as overloading the energy system. To address these challenges, it is crucial to develop effective energy demand management strategies. This work proposes a computational model that assists in the planning and management of electric vehicle charging demand in Brazil, considering the particularities of the national scenario. The strategies include optimizing charging times based on numerical optimization tools, simulating the management of multiple electric vehicles simultaneously without overloading the power grid, and minimizing energy costs. The model also allows for the calculation of electricity costs under different scenarios and contracting models, in accordance with Brazilian regulations. These practices not only improve the efficiency of the charging infrastructure but also protect the power grid from overloads, ensuring a sustainable and economically viable transition to electric mobility. The results showed that car charging systems with simple optimization and automation techniques can bring highly beneficial results for consumers and the Brazilian electrical grid, such as protecting the power grid and achieving significant savings in energy costs.

Keywords: Electric Vehicles, Management, Charging, Economy, Demand, and Grid

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não estaria aqui e ele quem me deu força nos momentos de mais dificuldade em minha vida. Após este agradecimento especial agradeço à minha família pois me deu todo o suporte tanto emocional como financeiro para alcançar meus objetivos, em especial aos meus irmãos Pedro e Maria Luiza e aos meus pais Fernando e Fabiana. Após esse agradecimento, agradeço também à minha namorada Patrícia Mason que com sua paciência, carinho e apoio incondicional foram fundamentais para que eu pudesse concluir essa jornada de maneira mais leve e especial. Nos momentos mais desafiadores, você esteve ao meu lado, oferecendo palavras de incentivo e compreensão. Obrigado por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava, e por tornar cada etapa desse caminho mais leve e significativa. Este trabalho é, em parte, reflexo da parceria e do companheirismo que construímos juntos.

Por fim agradeço também a todos os meus amigos, em especial Eduardo Zimmerman, que sempre esteve ao meu lado e teve um impacto significativo em minha vida e carreira profissional e aos meus melhores amigos Thales Sotano e Edrick Blasse por sempre estarem ao meu lado me apoiando e torcendo por mim.

Além disso, expresso minha gratidão a todos os professores que tive a honra de contar como valiosos orientadores e guias durante esse período crucial em minha jornada acadêmica, destacando especialmente o Prof. Dr. Vinícius de Carvalho Neiva Pinheiro, que me inspira como profissional e pessoa e que me deu a oportunidade de concretizar esse projeto, marcando o término de um ciclo tão significativo e que guardarei com saudades e gratidão.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Contextualização.....	8
1.2	Justificativa de Pesquisa.....	10
1.3	Objetivos.....	10
1.3.1	Objetivos Específicos.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	Contexto Histórico (Ascensão e Queda).....	12
2.2	Contexto Global de VEs.....	14
2.3	Contexto nacional de VEs (Veículos Elétricos).....	21
2.4	Desafios e oportunidades no contexto Brasileiro.....	28
1.1.1	Regulamentações no cenário brasileiro.....	28
1.1.2	Tributação.....	30
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Revisão Bibliográfica.....	32
3.2	DESENVOLVIMENTO DO MODELO EM EXCEL.....	32
3.2.1	Situação Problema.....	33
3.2.2	Premissas e variáveis.....	34
3.2.3	Caso Referência.....	36
3.2.4	Limitações e pontos de melhoria.....	42
3.2.5	Resultados e Impactos esperados.....	42
4	Resultados.....	44
5	Conclusões.....	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A eletrificação dos veículos no Brasil dita uma mudança brusca no setor de transporte e esse movimento se dá principalmente por questões ambientais, políticas e a redução de emissões de carbono e demais gases do efeito estufa. De acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) em uma pesquisa sobre crescimento do número de carros elétricos, ela relata que em 2023 a quantidade de VEs superou 100 mil unidades com tendência de crescimento nos próximos anos. Além disso, apesar de no início o governo brasileiro ter se mostrado resistente à essa nova dinâmica a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) vem propondo iniciativas com o objetivo de integrar os VEs à rede de distribuição de energia, regulamentando assim o uso de carregadores em ambientes residenciais e tarifas diferenciadas incentivando o carregamento fora dos horários de pico.

Tendo esse contexto de crescimento em mente um problema é identificado, conforme a quantidade de VEs aumenta a demanda por carregamento desses veículos também aumenta, porém se observa facilmente que o sistema energético brasileiro ainda não suporta toda esse carga elevada e repentina, principalmente em ambientes mais residenciais como condomínios.

Mas a problemática vai muito além disso, já que o problema mais impactante é o carregamento de veículos elétricos (VEs) durante o início da noite que está relacionado a um fenômeno conhecido como pico de demanda energética. No Brasil, esse período geralmente ocorre entre 18h e 21h, quando a maioria das pessoas chega em casa e utiliza diversos equipamentos elétricos, como chuveiros, ar-condicionado e iluminação.

Nesse intervalo de tempo, a demanda é bem mais alta e a rede elétrica precisa atender a uma carga significativamente maior do que durante o resto do dia. Como consequência, usinas termelétricas, que possuem um custo mais elevado de operação e maior impacto ambiental, são frequentemente acionadas para complementar a geração elétrica. Assim, há um aumento dos custos operacionais e do preço da energia, que é repassado ao consumidor por meio de tarifas de horário de ponta, que são tarifas mais elevadas nesse intervalo de tempo.

A introdução de veículos elétricos nesse contexto agrava essa situação, pois carregadores de VEs têm uma alta demanda de energia em comparação com dispositivos residenciais comuns. Se muitos proprietários optarem por carregar seus veículos assim que chegam do trabalho, a demanda elétrica se concentrará justamente no período mais crítico do dia.

Essa concentração de carregamento pode alterar a curva de carga, causando picos ainda mais pronunciados. A infraestrutura da rede elétrica não é projetada para lidar com aumentos bruscos na demanda sem a necessidade de reforços significativos, como a ampliação de subestações e redes de transmissão. Essa expansão representa um custo elevado, que eventualmente será repassado aos consumidores ou exigirá subsídios governamentais.

Além disso, a depender da penetração dos VEs, pode haver a necessidade de um planejamento energético mais complexo para evitar apagões ou falhas localizadas, especialmente em áreas urbanas com alta densidade populacional e infraestrutura elétrica sobrecarregada.

Desse modo faz-se necessária uma otimização, e ela requer estratégias eficientes de gestão da demanda, equilibrando a oferta e a demanda de eletricidade para garantir eficiência no carregamento, reduzir custos e evitar sobrecargas na rede. Em um estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ela relata que a adoção de modo desordenado de carregadores para veículos elétricos em condomínios tende a levar a picos de demanda e sobrecarga da rede de abastecimento, gerando possíveis quedas e aumento das tarifas elétricas.

Pensando nisso a implementação de estratégias automatizadas e inteligentes de carregamento poderia auxiliar de modo decisivo na solução desse problema. Algumas delas estão disponíveis no mercado brasileiro e são relativamente fáceis de implementar como é o caso da tarifação dinâmica e sistemas de gerenciamento de energia (EMS). De acordo com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) o uso de alguma ferramenta de inteligência computacional para auxiliar na gestão pode reduzir em até 30% a demanda nos horários de pico.

Portanto esse trabalho final de curso (TFC) visa explorar e analisar as diferentes formas de automatização computacional para otimização do carregamento de VEs no Brasil, mais especificamente nas regiões Sudeste, Sul, Norte e Nordeste. Utilizando uma abordagem, que inclui uma revisão bibliográfica, análise de casos práticos e simulações computacionais utilizando a ferramenta Excel como base.

1.2 Justificativa de Pesquisa

Com base em uma pesquisa introdutória sobre o tema e analisando o cenário futuro do Brasil sobre a infraestrutura para carregamento de carros elétricos e a gestão de demanda de carregamento de carros elétricos, é evidente o crescente interesse pelo tema no cenário nacional, refletido no aumento de vendas de carros nessa modalidade e a crescente procura pelos modelos com essa tecnologia. No entanto, uma revisão bibliográfica mais aprofundada revela a escassez de publicações focadas no contexto brasileiro e em como abordar a questão do colapso do sistema energético e o sobrecarregamento da rede pública com tanta demanda. Assim, este trabalho busca modestamente contribuir para o tema, abordando especificamente as características do cenário brasileiro e uma possível solução para esse problema.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo computacional de fácil utilização que auxilie no planejamento e gestão da demanda de carregamento de carros elétricos no Brasil. Este modelo visa identificar oportunidades de aperfeiçoamento na infraestrutura de carregamento e propor soluções para evitar o colapso do sistema energético e o sobrecarregamento da rede pública, considerando as particularidades do cenário brasileiro.

1.3.1 Objetivos Específicos

Especificamente, propõem-se:

- Otimizar os horários de carregamento dos carros elétricos com base na utilização de ferramentas computacionais de otimização numérica.
- Simular a gestão de carregamento de 6 carros simultaneamente sem sobrecarregar a rede elétrica e minimizando os custos com energia elétrica.
- Calcular os custos de energia elétrica sob diferentes modelos de contratação possíveis, diferentes cenários de carregamento e estados conforme a regulação brasileira.

Além disso, como meta secundária, propõe-se:

Elaborar um caso de aplicação ilustrativo para demonstrar resultados tangíveis do modelo desenvolvido

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa seção visa apresentar o contexto geral do cenário de veículos eletrizados no Brasil e no mundo e como atualmente está sendo feita essa gestão de demanda gerada pelo carregamento de carros elétricos. Realizaremos essa etapa através de um banco de dados científicos contidos em artigos, monografias e trabalhos de conclusão de curso com os temas principais dessa pesquisa como base.

2.1 Contexto Histórico (Ascensão e Queda)

O tema dos veículos elétricos tem sido uma tendência crescente há alguns anos, mas recentemente alcançou uma projeção e relevância global sem precedentes. Esse aumento se deve ao crescimento acelerado da tecnologia e à perspectiva de uma sociedade mais sustentável. A pauta dos veículos elétricos está presente em diversos fóruns de discussão e no imaginário popular dos entusiastas de carros, tecnologia e sustentabilidade. No entanto, ao contrário do que muitos imaginam, os carros elétricos existem desde o século XIX. Somente agora essa tecnologia está sendo considerada uma alternativa real, mais sustentável e flexível para o futuro da mobilidade.

De acordo com Hoyer (2008) em seu artigo “Análise de Veículos Elétricos dentro da Mobilidade Elétrica em Busca de Metrópoles Sustentáveis e Eficientes em Energia” e segundo BARAN, 2012 o surgimento do carro elétrico se deu através do surgimento da bateria em meados de 1859, o belga Gaston Planté utilizando chumbo e ácido certificou para toda a comunidade científica que a bateria que ele havia desenvolvida funcionava e então logo após essa descoberta em 1880 William Morrison inventou o primeiro carro elétrico, um veículo com capacidade para 6 passageiros e capaz de atingir 22 Km/h,. Após esse marco diversos carros elétricos foram surgindo, principalmente nos Estados Unidos e França, eles competiam com demais veículos a vapor e a combustão interna, porém eram considerados tecnologicamente bem superiores até que em 1900 eles alcançariam seu auge compondo um terço de toda a frota de veículos americanos.

No começo dos anos 1900 o automóvel elétrico continuou se aprimorando com o surgimento da bateria níquel – ferro que era capaz de armazenar 40% a mais de

energia do que uma bateria de chumbo e foi durante esse período também que surgiram os primeiros veículos híbridos com o intuito de suprir a maior deficiência e desafio dos carros elétricos até hoje, a baixa eficiência energética e autonomia desses automóveis.

Por conta dessa limitação os automóveis à combustão foram ganhando cada vez mais espaço, pois tinham uma eficiência melhor em km/litro e a infraestrutura elétrica naquela época era bem mais precária se comparada a hoje. Além disso o petróleo era um produto de muito mais fácil transporte do que a construção de uma infraestrutura elétrica robusta para as precárias rodovias e vias do interior e então após esse auge o carro elétrico sofreu uma grave queda por conta de montadoras como a Ford, que produziu o veículo Ford T em 1908, fornecendo ao consumidor mais eficiência por um preço mais acessível do que os carros movidos a eletricidade da época, o auge do carro a combustão se consolidou devido a descoberta de reservas de petróleo nos Estados Unidos e em muitos outros países.

Porém, segundo BARAN, 2012 no final dos anos 1960 o debate sobre a sustentabilidade e problemas ambientais começou a renascer e com isso o debate sobre os automóveis movidos a eletricidade resurgiu e foi potencializado por alguns fatores:

- A Crise do petróleo de 1973, quando a Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo (OAPEC) decidiu implementar um embargo total de petróleo contra os países que apoiaram Israel durante a Guerra do Yom Kippur
- A sociedade começou a entender que haviam limites para o crescimento econômico e que os recursos eram escassos, principalmente quando se tratava de petróleo, uma commodity que demora muito para ser respondida no meio ambiente

Desse modo, segundo BARAN, 2012 o final da década de 70 foi o período onde se iniciaram as tentativas de projetos e primeiros incentivos por parte dos governos para a admissão de uma nova estratégia de mobilidade visando a redução da emissão de poluentes e a utilização de energias renováveis. Diversos países tentaram implementar iniciativas para a produção em massa de VEs e uma mudança significativa na estratégia de mobilidade como a França, os E.U.A e o Japão, porém nenhuma das iniciativas foi de fato implementada e evoluída devido às limitações tecnológicas, especialmente nas baterias, interesses sociais e políticos principalmente

de montadoras e dos poderosos detentores de petróleo.

2.2 Contexto Global de VEs

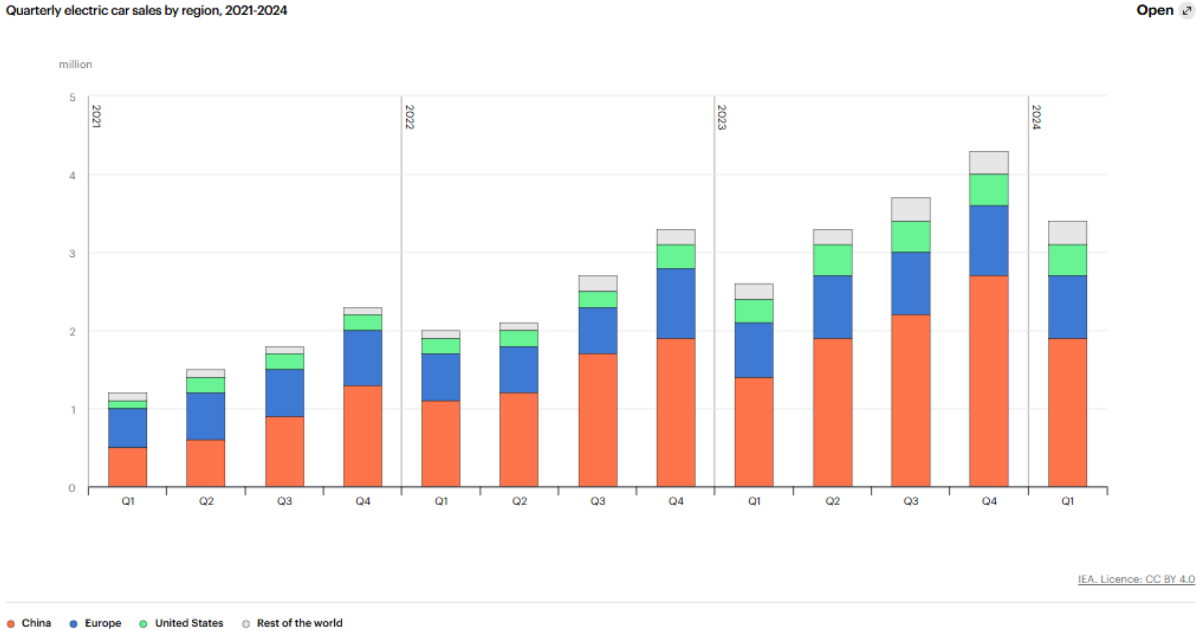
O cenário global dos veículos elétricos (VEs) continuou evoluindo impulsionado por avanços tecnológicos, preocupações ambientais, políticas governamentais favoráveis e parcerias público – privadas para fomentar o desenvolvimento de uma nova forma de mobilidade elétrica como uma solução sustentável para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a dependência de combustíveis fósseis. A transição para veículos elétricos é vista como um componente crucial na luta contra as mudanças climáticas e na promoção de um futuro mais verde e sustentável.

Segundo AOKI, 2021 Diversas nações têm implementado incentivos financeiros, subsídios e regulamentações para acelerar a adoção de VEs. Além disso, investimentos significativos estão sendo feitos na infraestrutura de recarga e no desenvolvimento de tecnologias de baterias mais eficientes e acessíveis. Este contexto global reflete um esforço conjunto para transformar o setor de transportes, tornando-o mais limpo e eficiente, e destaca a importância da colaboração internacional para enfrentar os desafios ambientais e energéticos do século XXI.

Segundo a IEA, 2024 em 2023 o número de veículos elétricos vendidos no mundo chegou a 14 milhões, que representam 18% dos carros vendidos. Isso é um número muito significativo e vem apontando que o crescimento dos VEs tende a continuar na mesma intensidade para os próximos anos.

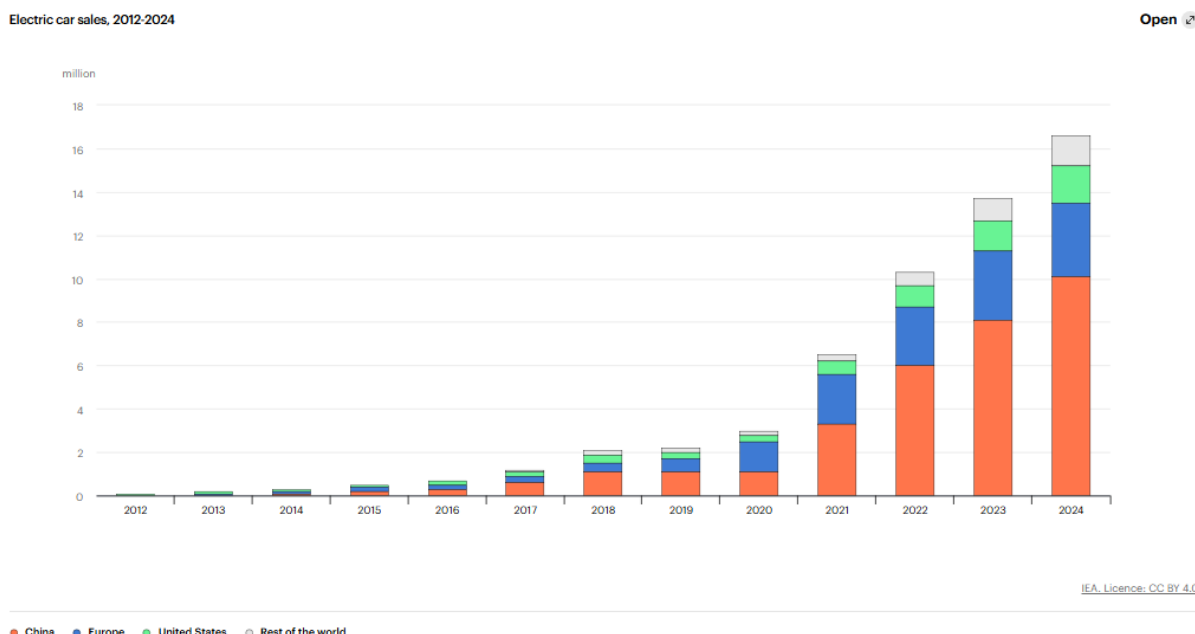
Como pode-se notar nas figuras abaixo há um aumento de vendas exponencial de carros elétricos no contexto global, podemos notar que comparando o primeiro semestre de 2023 com o primeiro semestre de 2024 em vendas, as vendas no primeiro trimestre de 2024 foram 800 mil dólares maiores do que as vendas no primeiro semestre de 2024 e as vendas totais chegaram a uma diferença de 2,9 milhões de dólares de 2023 para 2024.

Figura 1 - IEA (2024), Vendas trimestrais de carros elétricos por região, 2021-2024



Fonte: IEA (2024)

Figura 2 - IEA (2024), Vendas de carros elétricos, 2012-2024



Fonte: IEA (2024)

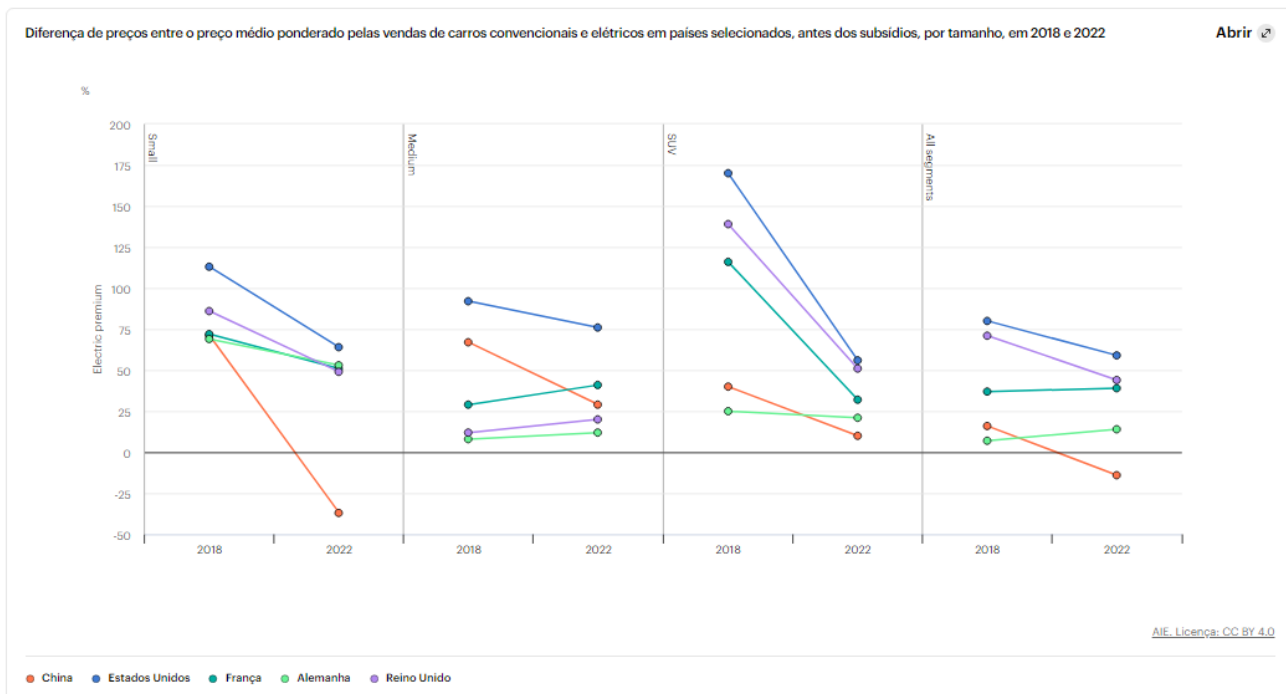
O crescimento elevado dos VEs se dá por conta dos fortes incentivos financeiros e políticas públicas favoráveis a essa solução. Segundo um estudo publicado pela IEA, 2024 os países orientais e ocidentais vêm adotando novas medidas e metas de emissão de carbono que não condizem com o matriz de transportes que temos hoje e assim diversos incentivos tem surgido como os incentivos industriais do Irã e dos Estados Unidos, a Lei da Indústria da UE (União Europeia), o 14º Plano Quinzenal da China e o regime PLI da Índia, que incentivam não somente a produção direta dos VEs mas toda a cadeia de valor que o envolve.

Além dos mercados americanos e Chineses o mercado europeu chama atenção com um crescimento ímpar, segundo RAJPER, 2020 em seu artigo “Prospects of Electric Vehicles in the Developing Countries: A Literature Review” a Europa representa 23% da participação global em VEs com destaque para a Noruega, que alcançou 29% de participação em VEs no contexto europeu e isso se deu pela agressivas metas climáticas e sustentáveis que o país vem adotando, além da Noruega outros países de destaque são a Holanda e a Suécia com 6,4% e 3,4% de participação respectivamente.

Desse modo é possível notar que os veículos elétricos já são uma realidade na China, EUA e na Europa e tendem a crescer de maneira acentuada nos próximos anos acompanhando as agendas cada vez mais agressivas e frequentes relacionadas à

sustentabilidade e redução da emissão dos gases do efeito estufa e principalmente do CO₂.

Figura 3 - Gráfico de diferença de preço entre carros elétricos e à combustão da mesma categoria.



Fonte: IEA (2024)

Olhando para a figura 3 vemos que um dos desafios mais relevantes são os desafios macroeconômicos, como taxas de juros mais altas, que estão reduzindo a demanda por financiamento de veículos elétricos (VE). O custo elevado dos VEs, especialmente na Europa e América do Norte, é um grande obstáculo. Segundo o EUROMONITOR, 2023 65% dos entrevistados globais não compraram um VE devido ao alto custo, portanto uma das estratégias a ser adotadas pelas montadoras para o sucesso dos VEs no contexto global será a revisão das estratégias de precificação adotadas pelos fabricantes de automóveis, visando atingir principalmente os mercados em massa com os carros de segunda linha ou pequeno porte, além disso um fator muito relevante de sucesso seria melhorar a conveniência e o acesso aos carregadores de VE ajudando a reduzir frustrações ligadas a baixa suficiência dessa modalidade de veículos como falta de carregadores, tempos de carregamento longos e baixa confiabilidade. Além desses limitadores há um que praticamente dita os preços dos VEs e pode ser um fator de sucesso muito relevante que são as baterias. No cenário atual há uma redução contínua dos preços das baterias que é influenciada

por uma maior procura e por incentivos governamentais e fiscais. Em 2022, a instabilidade nos mercados de metais para baterias resultou no primeiro aumento de preço dos pacotes de íons de lítio, que ficaram 7% mais caros em comparação a 2021. No entanto, em 2023, os preços dos principais metais utilizados na fabricação de baterias caíram, resultando em uma redução de quase 14% nos preços dos pacotes de baterias em relação ao ano anterior e refletindo no preço final que é repassado ao consumidor e em 2024 as fabricantes de automóveis e baterias de VE focarão em novas tecnologias para reduzir ainda mais o custo das baterias, que representam até 40% do custo total do VE. Novas químicas, especialmente no cátodo, minimizarão o uso de metais caros como lítio, níquel e cobalto. Empresas como Tesla e BYD já estão investindo em tecnologias de baterias mais baratas, como baterias de fosfato de ferro-lítio (LFP) e baterias de sódio-íon.

O mercado de baterias é um importante fator para o preço dos VEs se tornar mais acessível e com a produção e os preços se nivelando globalmente e a China deixando de se tornar uma das únicas produtoras e exportadoras a expectativa é que o preço delas abaixe e tenha uma padronização e qualidade de produção e fiscalização melhores. As baterias de fosfato de ferro-lítio, que são significativamente mais baratas do que as baseadas em lítio, níquel, manganês e óxido de cobalto, representaram mais de 40% das vendas globais de VE por capacidade em 2023, mais que o dobro de sua participação em 2020, justamente por esse preço muito mais atrativo que se transforma em margem para as empresas e acessibilidade para o consumidor.

Em 2023, o mercado de veículos elétricos de duas e três rodas já mostrava um futuro promissor, especialmente em economias emergentes fora da China. Cerca de 1,3 milhão de veículos elétricos de duas rodas foram vendidos na Índia e no Sudeste Asiático, representando 5% e 3% do total de vendas, respectivamente. Além disso, um em cada cinco veículos de três rodas vendidos globalmente era elétrico, com quase 60% desses veículos sendo vendidos na Índia, impulsionados pelo esquema de subsídio Faster Adoption and Manufacturing of Electric Vehicles (FAME II) 1.

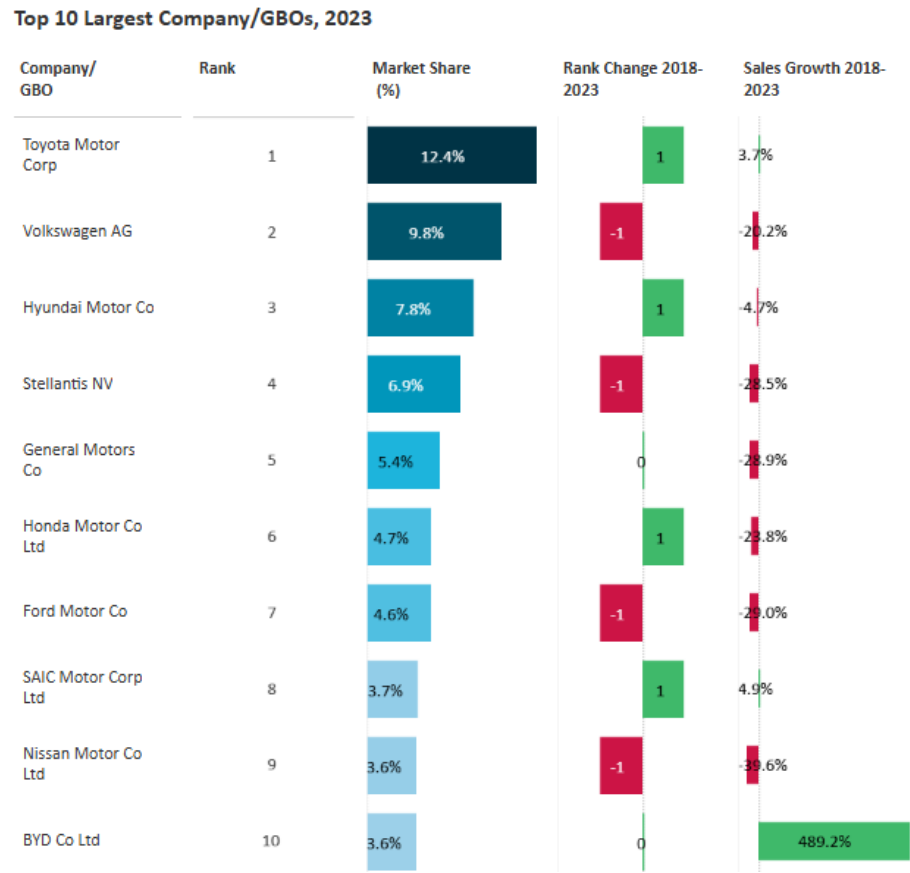
Além dessa evolução surpreendente nos meios de locomoção de 2 e 3 rodas, os carros elétricos mais populares começaram a se tornar mais acessíveis à medida que os mercados amadurecem. Segundo a pesquisa realizada em EUROMONITOR, 2023 em 2023, o mercado de carros elétricos usados contava com cerca de 800.000 veículos na China, 400.000 nos Estados Unidos e mais de 450.000 na França,

Alemanha, Itália, Espanha, Holanda e Reino Unido. Os preços desses carros estão caindo rapidamente, tornando-se competitivos com os veículos de motor de combustão e pode-se perceber um crescimento exponencial das montadoras que detêm em seu portfólio esse tipo de veículo como podemos ver no gráfico abaixo.

Modelos de carros elétricos mais acessíveis também começaram a chegar a economias em desenvolvimento fora da China. Em 2023, entre 55% e 95% das vendas de carros elétricos nas principais economias emergentes e em desenvolvimento foram de modelos grandes, inacessíveis para o consumidor médio, dificultando a aceitação em massa. No entanto, modelos menores e mais acessíveis lançados em 2022 e 2023 rapidamente se tornaram best-sellers, especialmente aqueles de fabricantes chineses que se expandem para o exterior como é o caso da montadora de carros que vem crescendo exponencialmente no Brasil a BYD.

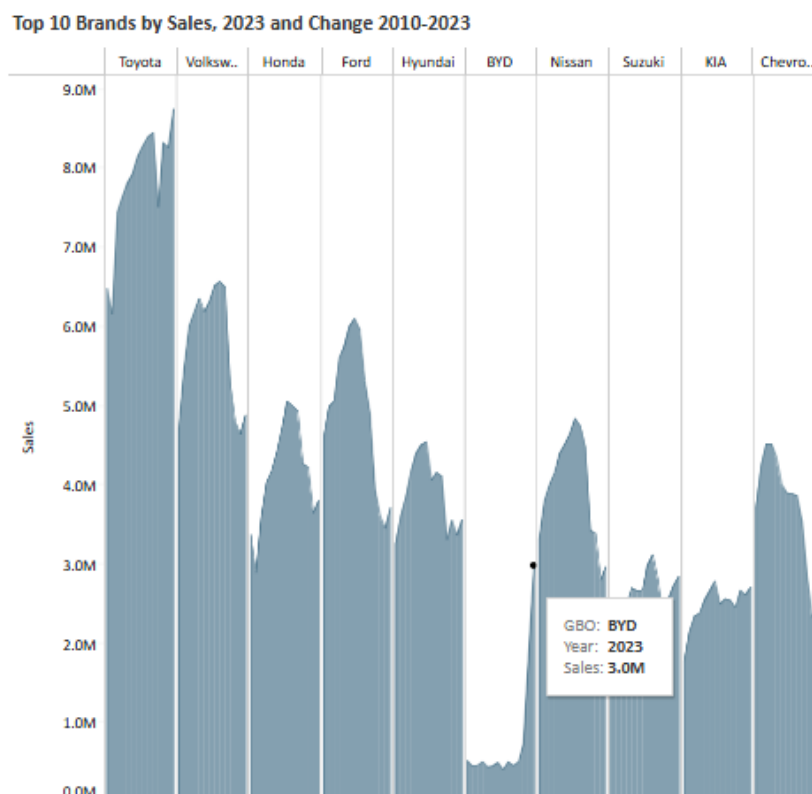
Pode-se ver na Figura 4 todo esse crescimento que está sendo citado, segundo o EUROMONITOR, 2023 a BYD como uma das 10 maiores companhias globais do setor, o que é impressionante visto o tempo que tem de mercado e outra coisa que também chama bastante a atenção é que a empresa teve um aumento de vendas de 489,2% de 2018 até 2024 no cenário global, isso somente reforça o potencial de crescimento e de transformação que os VEs possuem para as companhias que estão adotando esse tipo de modelo.

Figura 4 - Top 10 maiores companhias do meio automobilístico em 2023



Fonte: EUROMONITOR (2023)

Figura 5 - Top 10 marcas com maiores vendas em de 2010 a 2023.

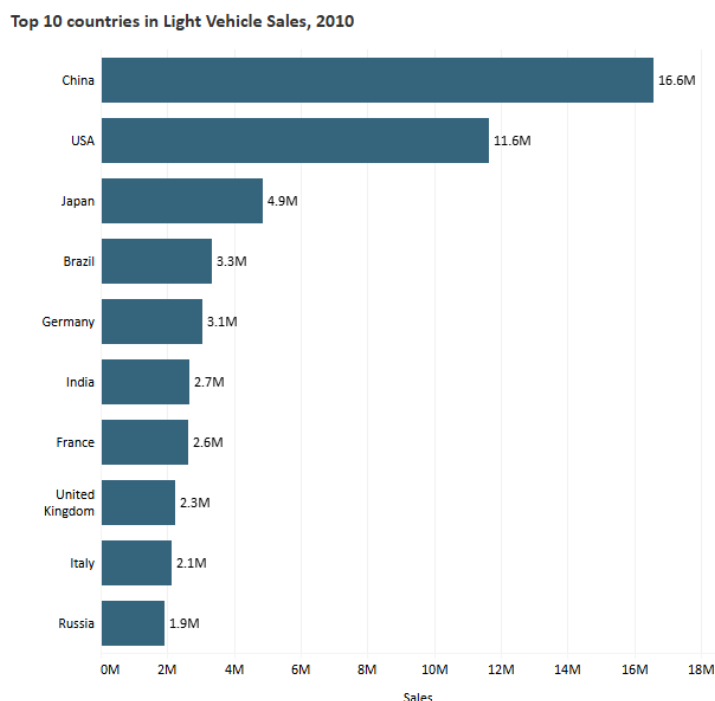


Fonte: EUROMONITOR (2023)

2.3 Contexto nacional de VEs (Veículos Elétricos)

O mercado brasileiro de automóveis é bem aquecido e está entre os maiores de todo o mundo, segundo o EUROMONITOR, 2023 o Brasil ocupa a quarta posição em total de vendas na categoria de veículos leves no mundo, o que mostra o potencial e tamanho do mercado Brasileiro. Além disso o país conta com uma matriz energética primordialmente renovável e limpa, sendo 83% da sua eletricidade proveniente de hidrelétricas, eólicas solares e biomassa (Mobilidade Estadão) desse modo a solução apresentada pelos veículos elétricos parece ser muito favorável ao país, porém estamos significativamente atrasados em relação ao restante do mundo.

Figura 6 - Top 10 países com maiores vendas de carros leves em 2010.



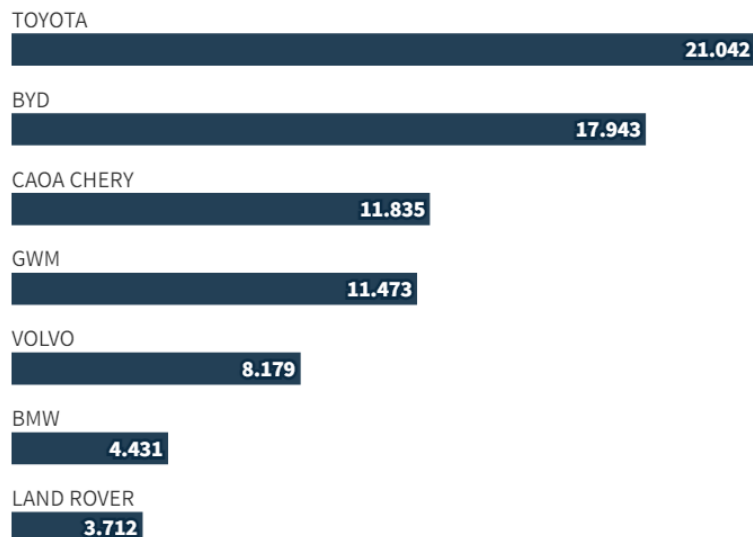
Fonte: EUROMONITOR (2023)

O cenário fora dos grandes centros, como o da América Latina é de crescimento mas em um ritmo mais lento, segundo o estudo da IEA as vendas de carro elétrico chegaram a quase 90.000 em 2023, e o Brasil lidera a região com mais carros elétricos vendidos, além disso o país apresentou um crescimento significativo triplicando os registros de carros elétricos, chegando a mais de 50 mil e 3% de market share. A ascensão expressiva no mercado brasileiro se deu pela entrada das montadoras chinesas BYD, Great Wall e a Chery, que vem investindo forte no mercado e aproveitando as tendências e peculiaridades brasileiras como a aposta da BYD em modelos híbridos com etanol e a sua parceria com a Raízen, gigante do setor, para aumentar a infraestrutura de pontos de carregamento em mais de 8 cidades.

Figura 7 - Ranking das marcas que possuem modelos elétricos que dominam o setor

Vendas de veículos elétricos e híbridos por montadora

Toyota liderou o mercado brasileiro em 2023, seguida pela BYD

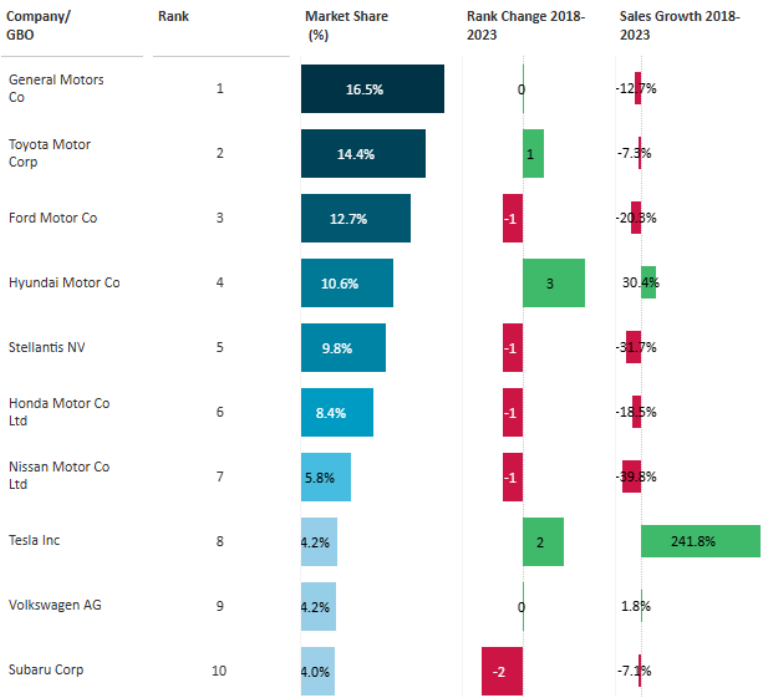


Fonte: EUROMONITOR (2023)

O Brasil ainda está em uma situação mais atrasada se em relação aos grandes centros, como pode - se ver pela figura abaixo, diferente do cenário global a BYD e outras marcas relevantes do setor que possuem os modelos elétricos não figuram nem no top 10 das marcas com mais carros vendidos no Brasil no ano de 2023. Isso se da principalmente por que os maiores impecílios dessa modalidade, que são o preço dos veículos, o preço das baterias e a infraestrutura são agravados no Brasil possui preços inflados para o setor automotivo, tecnologia insuficiente para produção em território nacional e infraestrutura escassa, o que deixa os compradores inseguros na hora da tomada de decisão para adquirir um VE.

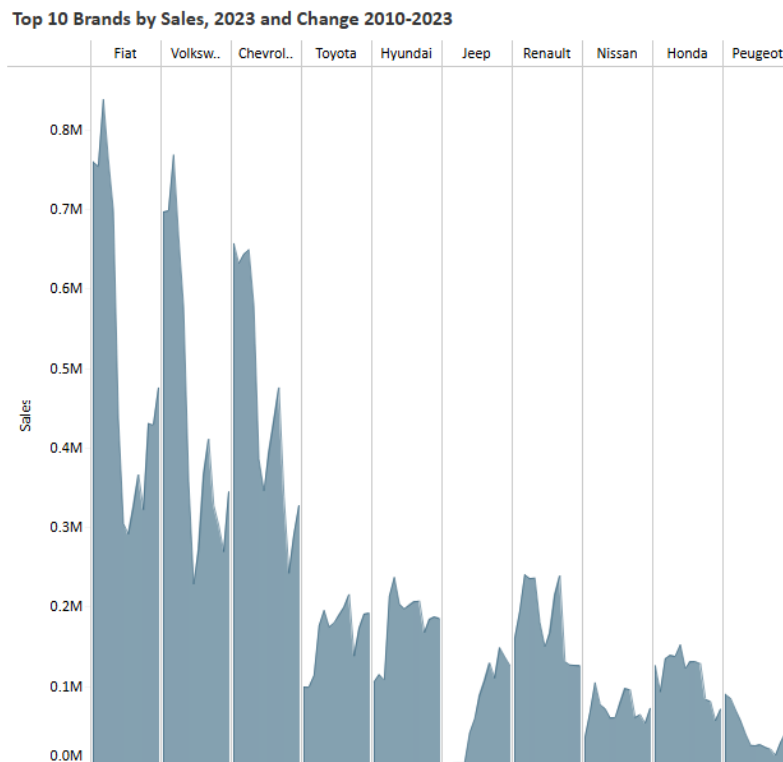
Figura 8 - Top 10 maiores companhias em 2023

Top 10 Largest Company/GBOs, 2023



Fonte: EUROMONITOR (2023)

Figura 9 - Top 10 marcas com maiores vendas em de 2010 a 2023.



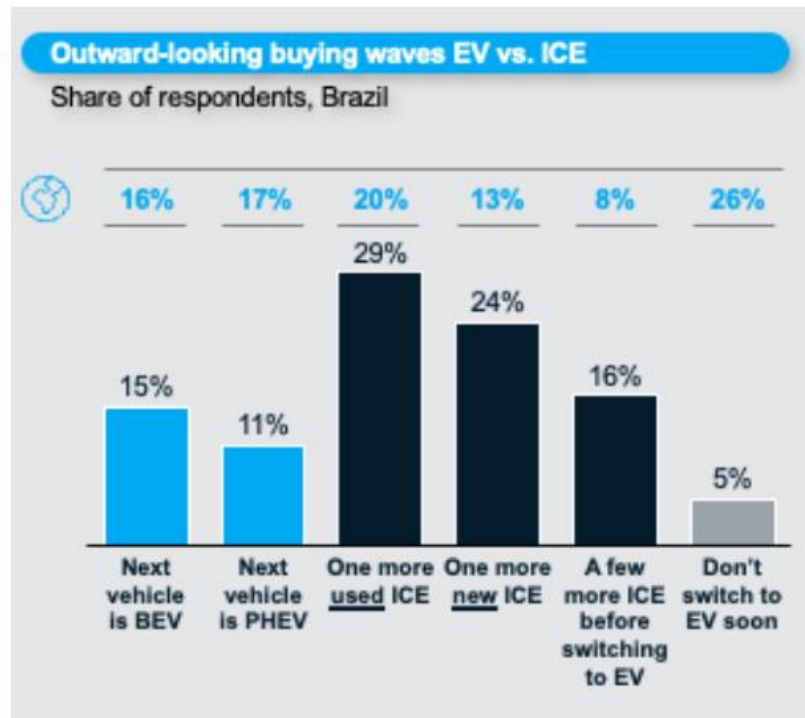
Fonte: EUROMONITOR (2023)

Apesar do Brasil estar atrasado em relação aos grandes centros o país apresenta uma tendência agressiva de crescimento na categoria para os próximos anos, segundo FANTONI, 2023 em um estudo realizado pela Mckinsey o país contará com mais de 11 milhões de BVEs (automóveis movidos à bateria elétrica) em 2040 representando um volume de vendas de 55 % nos novos veículos o que é equivalente a 65 bilhões de reais. O estudo demonstra que o crescimento tão acentuado se deve ao fato de que o brasileiro de modo geral é mais sensível às questões de sustentabilidade e modos alternativos de mobilidade, mas o preço e a duração das baterias durante trajetos mais extensos preocupam de modo significativo a população.

O custo ainda é um impeditivo para o crescimento desse mercado, mas como vimos no cenário global ele tende a abaixar devido a incentivos governamentais ao consumo e à produção. Tendo isso em mente no cenário nacional não é diferente, segundo o mesmo estudo o TCO (Custo Total de propriedade) de um carro elétrico médio submetido a um uso intenso (+150km/dia) já é menor do que um carro movido à combustão e além disso até 2023 a previsão é que esse custo seja inferior para veículos de uso pessoal e comercial, com menos intensidade no uso. A população

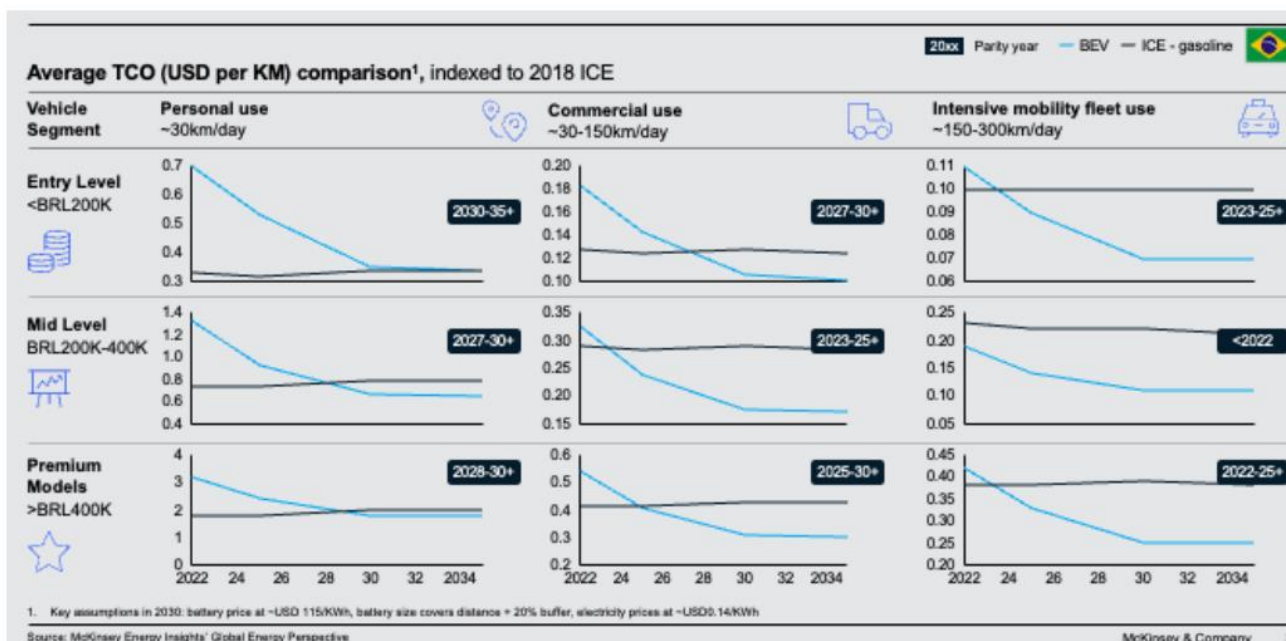
brasileira acredita tanto no modelo que 55 % dos brasileiros estariam dispostos a pagar de 5 a 20 % a mais que em carros tradicionais e 30 % dos participantes da pesquisa comprariam um VEs mesmo que não tivessem uma base de carregamento em sua residência.

Figura 10 - Ondas futuras de compra EV vs. ICE.



Fonte: FANTONI (2023)

Figura 11 - Comparação do TCO médio (USD por KM) Indexado ao ICE de 2018



Fonte: FANTONI (2023)

No entanto o mercado nacional ainda apresenta alguns obstáculos a serem superados como a falta de regulamentação para a maioria dos estados e a falta de incentivo do governo para esse tipo de iniciativa, já que ao contrário dos demais países o Brasil apresenta poucas políticas de incentivo e não dá a devida importância à esse pilar que foi fundamental para o crescimento exponencial do mercado Chinês.

O estudo *“O futuro da mobilidade no Brasil: uma rota para eletrificação”* da McKinsey&Company ressalta que já existem alguns incentivos aos VEs como a redução de IPI, isenção de IPVA e IPTU em alguns estados e à produção também com possibilidades mais atrativas no BNDES e redução do ICMS, mas ainda há muito o que se evoluir comparado aos grandes centros.

Por fim entende-se que o fator mais limitante no cenário nacional será o acompanhamento da infraestrutura ao crescimento acelerado dos VEs no país, visto que a legislação não está avançada o suficiente e desenvolver uma rede de suporte robusta com pontos de recarga suficientes, capacidade de rede elétrica para suportar a demanda e etc e o desenvolvimento de todos esses pilares levará tempo e pode impactar no desenvolvimento dessa tendência no cenário nacional.

2.4 Desafios e oportunidades no contexto Brasileiro

A frota brasileira atual é composta principalmente por automóveis movidos a bicomcombustíveis, ou flex, e aqueles que são movidos exclusivamente a gasolina. A introdução de VEHs, especialmente de veículos puramente elétricos, requer investimentos principalmente em infraestrutura, tecnologia e é altamente dependente de incentivos governamentais. Durante este processo será preciso cobrar o empenho das montadoras e despertar o interesse dos consumidores, além de vencer as outras barreiras que são apresentadas abaixo.

1.1.1 Regulamentações no cenário brasileiro

A regulamentação e as políticas públicas incentivadoras à eletromobilidade no Brasil ainda são iniciais para atrair grandes investimentos das empresas em infraestrutura para desenvolvimento da oferta e do mercado, bem como para programas que fomentem em âmbito nacional o setor da mobilidade elétrica. Fazer avançar a eletromobilidade no Brasil exige a coordenação da criação de uma estratégia única coordenada pelo governo federal, na medida em que a maioria das iniciativas no Brasil é feita de forma híbrida, desconectadas, por alguns estados, dificultando uma abordagem equivalente e coesa em nível nacional.

No entanto, o Brasil fez em algum grau limite alguns avanços, tendo algumas normas importantes ajudado a desenvolver o mercado de veículos elétricos. A primeira delas é a Lei nº 12.587 de 2012 (Política Nacional de Mobilidade Urbana), que estabelece diretrizes que incentivem, ao invés disso, modos de transportes sustentáveis, assim como tecnologias mais limpas, além de buscar reduzir a dependência de combustíveis fósseis, abrindo espaço para a eletromobilidade. O Decreto nº 10.634 de 2021 promove a transparência dos preços nos eletropostos, exigindo que os prestadores de serviços de recarga informem claramente os preços, ajudando a aumentar a confiança dos consumidores.

A Lei nº 14.300 de 2022 (Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída) também dá um impulso à eletromobilidade, incentivando a produção de energia limpa, como solar, que pode ser utilizada para o carregamento dos veículos elétricos. A Resolução CONTRAN nº 799 de 2020 trata da identificação visual dos veículos elétricos, facilitando sua difusão e proporcionando benefícios como isenção de rodízio

em São Paulo e uso de faixas exclusivas.

Propostas em trâmite incluem o Projeto de Lei nº 5.149/2020 que propõe incentivos fiscais para a produção e a comercialização de veículos elétricos, e a Lei Estadual do Rio de Janeiro nº 8.615 de 2019 que estabelece isenção de IPVA e outras vantagens para os veículos elétricos. Pois bem, a Resolução CONFAZ nº 159 de 2020 permite a isenção do ICMS, em determinados estados, para os veículos elétricos, possibilitando a difusão desses veículos no mercado.

Essas providências fazem parte de um esforço progressivo do Brasil de fomentar a transição para um transporte mais sustentável. No plano internacional, o Brasil participa de diversos acordos, dentre os quais o Acordo de Paris, do qual é signatário. O país se comprometeu a eliminar suas emissões de gases de efeito estufa até 2050, o que implica a necessidade de uma completa reformulação de sua frota de veículos.

Outras normas têm papel fundamental no desenvolvimento da eletromobilidade. A Resolução CAMEX nº 97 de 2015 estabeleceu a isenção ou redução do Imposto de Importação para veículos elétricos e híbridos, enquanto a Resolução ANEEL nº 819 de 2018 foi o primeiro marco regulatório para serviços de recarga em eletropostos. O Decreto Presidencial nº 9.442 de 2018, embora revogado em 2021, foi um passo importante para a redução da alíquota de IPI para esses veículos.

Programas como o Programa de Eletromobilidade do BNDES e a Chamada 22 da ANEEL também apoiaram o desenvolvimento do ecossistema de eletromobilidade, oferecendo financiamentos para o desenvolvimento de veículos elétricos e soluções de mercado. A Lei nº 13.755 de 2018, parte do programa "Rota 2030", incentiva inovações em tecnologias de propulsão e eletromobilidade.

A nível municipal, São Paulo tem um papel essencial no avanço da eletromobilidade. Sua Lei Municipal nº 16.802 de 2018 estabelece rígidas metas para a redução das emissões em sua frota ônibus, com prazos que incluem a eliminação de novos veículos a diesel até 2022, fazendo jus ao comprometimento em descarbonizar o transporte público.

Mas o Brasil ainda precisa de uma estratégia mais consistente para competir com mercados como os da Europa e da China, onde a transição para os veículos elétricos já é mais avançada. Existem países, como a Noruega, por exemplo, que já estão planejando banir os veículos a combustão até o ano de 2025. Embora o Brasil

tenha avançado consideravelmente, ainda há um longo caminho a percorrer para que ele consiga estabelecer uma estratégia nacional de descarbonização de transporte coerente, com metas escalonadas até chegar à implementação em massa dos veículos elétricos.

1.1.2 Tributação

Os veículos híbridos e elétricos tendem a receber, ao longo dos anos, incentivos fiscais como a redução ou isenção de impostos, como já vemos ser implementado na Europa, mas principalmente em países como a China e os Estados Unidos. No Brasil a estratégia ainda é tímida. Os esforços para a produção de veículos elétricos e híbridos nacionais têm enfrentado barreiras significativas, principalmente devido ao sistema tributário, que foi estruturado em um período anterior à existência dessas tecnologias.

Atualmente, segundo ELETRICUS, 2022 e de acordo com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), os veículos elétricos são classificados sob o código 8703.90.00, que abrange automóveis para transporte de pessoas, mas sem uma categorização específica para os veículos elétricos. Desse modo, esses veículos estão sujeitos à alíquota máxima do IPI, que é de 25%, muito superior à alíquota média de 12% aplicada aos automóveis convencionais movidos a motor de combustão. Para comparação, a alíquota do IPI para veículos convencionais com motores de até 1000cc, que já foi zero, hoje é de 7%.

Além do IPI, os veículos elétricos também sofrem incidência de outros impostos, como o ICMS, que varia entre 18% e 19%, além de contribuições sociais como PIS/COFINS (11,6% sobre o faturamento bruto) e o IPVA, que pode chegar a 4% ao ano. Em alguns estados a isenção do IPVA já vem sendo implementada para incentivar o uso de veículos elétricos. No entanto, o preço final dos veículos elétricos continua elevado devido a essas tributações, tornando o seu valor de mercado muito pouco atrativo para muitos consumidores, mas acima de tudo para os médios consumidores que têm vontade de possuir um segundo FANTONI, 2023, porém não possuem poder de aquisição o suficiente. No caso de veículos importados, outros custos, como taxa de importação, despesas portuárias e honorários de despachantes, elevam ainda mais os preços.

Uma solução paliativa de curto prazo seria a isenção ou redução significativa

dessas alíquotas para viabilizar a inclusão de veículos elétricos no mercado brasileiro, até que a indústria nacional seja capaz de atender a demanda interna. Embora o cenário atual seja desfavorável tanto para a produção quanto para a importação de veículos elétricos, há um movimento crescente de defensores dessa tecnologia no Brasil.

No entanto, a redução ou isenção de impostos deve ser avaliada com cautela, pois pode impactar o equilíbrio da balança comercial e desestimular a produção nacional de veículos elétricos, já que, em um cenário de isenção, a importação poderia se tornar mais atrativa do que a fabricação local. Portanto, é crucial que seja promovida uma igualdade competitiva entre os veículos elétricos e os convencionais, ajustando os impostos de forma justa para ambos, uma vez que as atuais taxas impõem um grande ônus sobre os veículos elétricos.

Uma proposta plausível, sugerida pelo Grupo de Estudos sobre o Veículo Elétrico (Gruve), seria a criação de um sistema de tributação proporcional ao consumo energético (MJ/km) e às emissões de dióxido de carbono não renovável (gCO₂/km), com base em ciclos típicos de testes veiculares. Isso garantiria que os veículos mais eficientes e menos poluentes pagassem menos impostos, incentivando a adoção de tecnologias mais limpas e eficientes.

3 METODOLOGIA

3.1 Revisão Bibliográfica

A metodologia deste trabalho será segmentada em duas principais frentes. A primeira parte consiste em uma revisão bibliográfica abrangente de diversos estudos e artigos científicos relacionados com o tema de “Gestão de Carregamento de VEs”, “Contexto Global de VEs”, “Contexto Nacional de VEs” e etc.

A ideia da revisão bibliográfica neste trabalho é inicialmente entender o contexto macro dos carros elétricos e depois ir aprofundando na pesquisa até entender se seria viável aplicar o modelo que será descrito de uma forma mais aprofundada no tópico seguinte. Desse modo inicialmente será feito uma pesquisa abordando o contexto global dos veículos elétricos, analisando sua evolução no mercado, taxa de crescimento, políticas públicas incentivadoras e os principais desafios e oportunidades desse mercado. Tendo isso como objetivo serão utilizados relatórios e estudos de organizações internacionais como a Agência Internacional de Energia (IEA), BloombergNEF e diretórios de pesquisa como ScienceDirector e Google Scholar.

Em seguida aprofundando mais a visão do mercado de veículos elétricos será feita uma revisão de todo o mercado brasileiro de VEs, destacando o exponencial crescimento, aumento da demanda, oferta e políticas governamentais e incentivos. Para analisar todas essas métricas, utilizaremos como fonte principal de dados o Ministério de Minas e Energia, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) e estudos acadêmicos diversos coletados principalmente a partir dos repositórios Science Director e Google Scholar.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO EM EXCEL

O modelo foi desenvolvido pensando em solucionar o problema iminente que é a alta demanda por carregamento de VEs, principalmente nos horários de pico. Com isso em mente o modelo utiliza a ferramenta solver do Excel para realizar a gestão, gestão do carregamento de VEs, considerando dois pontos principais:

- Capacidade da Rede Elétrica

- O modelo considera a capacidade máxima da rede elétrica e não permite que esta seja ultrapassada
- Otimização custo com energia elétrica
 - O modelo considera uma curva hipotética de preços horários baseada no PLD - Preço de Liquidação de Diferenças para identificar qual seria o modo ótimo de carregamento para os preços estipulados a cada hora. A ideia de usar o PLD como referência para a curva de preços horários é fazer com que o modelo de gestão de carregamento opere de forma a trazer benefícios para a rede elétrica nacional, ou seja, priorizando o carregamento em momentos em que o PLD é mais baixo e, por consequência, quando as condições de atendimento à demanda são mais favoráveis. Além disso é importante ressaltar que o PLD é um preço referência e, portanto, não é ele que é repassado diretamente ao consumidor, mas para efeitos de análise ele pode ser utilizado, já que o preço repassado ao consumidor seria proporcionalmente maior. Assim, a porcentagem de economia encontrada pelo modelo e as simulações não se alteram, só estariam desse modo em proporções mais adequadas. Outro motivo que faz com que o PLD seja uma boa referência para o estudo é que ele reflete o custo horário de geração na rede elétrica brasileira. Isso significa que deixar de consumir energia em horários em que o PLD é maior alivia a carga no sistema justamente em momentos de alta demanda. Desta forma, o modelo de otimização traz benefícios não só para o consumidor mas também para a rede elétrica.

3.2.1 Situação Problema

Primeiramente, esse trabalho identificou e estruturou o problema que se pretendia solucionar: o impacto da crescente demanda de eletricidade gerada pela expansão dos veículos elétricos (VEs) no Brasil. A partir de uma revisão bibliográfica e de estudos aprofundados, percebeu-se que o aumento significativo da frota de VEs apresenta um desafio iminente para a oferta de energia, principalmente devido ao

crescimento da demanda elétrica residencial e indústria.

Esse fenômeno configura-se como um problema, pois o carregamento de diversos VEs ao mesmo tempo, principalmente no horário de pico, pode sobrecarregar a infraestrutura atual de distribuição de energia, exigindo investimentos em novas linhas de transmissão e geração. Além disso, o pico de demanda pode coincidir com os horários de maior consumo residencial, já que a tendência é que assim que a poluição em massa chegar em casa ou então ao final do expediente em uma empresa que contém uma frota de carros elétricos esses carros sejam colocados para carregar no mesmo momento o que eleva o risco de apagões, flutuações no fornecimento, aumento do preço da energia nesses horários e superação do limite de carga suportado pela rede.

3.2.2 Premissas e variáveis

Foi construído um modelo numérico de otimização linear determinístico com o objetivo de minimizar custos com energia elétrica para o carregamento de 6 carros. O modelo tem discretização de 30 minutos e horizonte de 16 horas (33 intervalos). As variáveis de decisão são as potências de carregamento de cada carro em cada intervalo de tempo. As restrições incluem capacidade de carregamento de cada carregador, capacidade de armazenamento, nível de armazenamento mínimo desejado e corrente máxima no circuito de alimentação dos carregadores.

É importante destacar que o modelo foi desenvolvido com uma interface em Excel bastante versátil, que permite alterar os parâmetros de entrada do modelo com facilidade, tornando-o aplicável para diversos cenários diferentes. Além disso, o número de variáveis utilizado nas simulações foi limitado pela versão gratuita do Solver disponível, mas a metodologia proposta é aplicável a modelos muito maiores, que poderia, por exemplo, ter centenas de carros e discretização de intervalos mais refinada.

Para realizar a simulação de gestão de demanda, o usuário deverá inserir variáveis como:

Tabela 1 - Variáveis de entrada consideradas para o estudo

Variáveis de entrada
Horário de Estacionamento
SoC inicial (%)
SoC objetivo (%)
Capacidade da Bateria (kWh)
Potência Carregador (kW)

Fonte: Elaboração Própria

Após inseridos os dados acima e rodar a ferramenta solver o modelo irá dispor os carregamentos da melhor forma com base em todas as informações acima e no preço estipulado energia/hora utilizando como base o PLD - Preço de Liquidação de Diferenças. Desse modo a fim de avaliar e demonstrar o impacto do modelo em custo e em eficiência serão realizados 10 cenários distintos, que variam de acordo com os parâmetros previamente mencionados.

Os cenários foram construídos com algumas premissas principais como:

1. Os horários de estacionamento serão todos as 18:00, já que consideramos no modelo que durante o dia eles estarão carregados e em utilização, portanto fora da base de carregamento e as 18:00 retornarão à base de carregamento.
2. O PLD - Preço de Liquidação de Diferenças é um preço referência para energia elétrica de forma horária e será utilizado nesse modelo para os cálculos, ele foi obtido através do site da CCEE.org e está considerando a data do dia 01/10/2024 para a região sudeste.
3. O comparativo de ganho será feito entre um cenário em que o modelo realiza a gestão de carregamento e um outro cenário controle onde o carregamento se inicia logo que os carros são estacionados, ou seja a forma convencional de carregamento
4. Outra premissa muito importante que garante a correta funcionalidade do modelo é que o SOC final, ou seja, a porcentagem de carregamento final ele deve ser maior ou igual ao objetivo.
5. Além disso o modelo estabelece como premissa para o modelo de gestão que os carros não podem ser carregados simultaneamente se isso ocasionar uma superação da carga máxima suportada pela rede. Esse ponto irá variar de acordo com a bitola do fio e a tensão do circuito que está sendo considerado, sendo desse modo variáveis de entrada a

serem consideradas nos cenários.

6. Por fim o modelo estabelece como premissa que o SOC final não pode ser maior do que 100%, ou seja, o carregamento final não pode ser maior do que o máximo que é 100%.

Todas essas premissas garantem que o modelo funcione de modo a atingir o carregamento mais ótimo possível e expressar a significativa diferença financeira e de carga utilizando o modelo de gestão.

3.2.3 Caso Referência

Para a análise de desempenho do modelo, serão utilizados como referência os 10 cenários apresentados abaixo, conforme mencionado anteriormente. Adicionalmente, será considerada a utilização de um fio com bitola de 16mm² e um de 25 mm², cujos dados estão descritos a seguir. No entanto, o modelo é automatizado e permite a simulação com qualquer bitola, conforme a necessidade. É importante ressaltar que para encontrar a carga máxima do sistema consideramos as seguintes premissas:

Primeiramente deve-se encontrar a corrente corrigida (I_c) e para isso adotaremos as seguintes premissas:

1. Será considerado o método B1 que se refere a instalação de cabos em eletrodutos embutidos em alvenaria ou ao ar livre.
2. A capacidade do condutor será considerada como 76 A para o fio de 16 mm² e 101 A para o fio de 25 mm² de acordo com a Tabela 1
3. Além disso consideramos os fatores FT (fator de temperatura ambiente) para 30 °C, ou seja 1 e o fator FN (fator referente a quantidade de circuitos no eletroduto, no caso como estamos considerando somente 1 fio por eletroduto o fator FT é igual a 1 também.)

Tabela 2- Dados utilizados como base para a obtenção da potência aparente

Seção Nominal do Condutor (mm²)	Potência (V)	Fator	Potencia Aparente (kW)
0,5	220	0,9	1,782
0,75	220	0,9	2,178
1	220	0,9	2,772
1,5	220	0,9	3,465
2,5	220	0,9	4,752
4	220	0,9	6,336
6	220	0,9	8,118
10	220	0,9	11,286
16	220	0,9	15,048
25	220	0,9	19,998
35	220	0,9	24,75
50	220	0,9	29,898
70	220	0,9	38,016
95	220	0,9	45,936
120	220	0,9	53,262
150	220	0,9	61,182
185	220	0,9	69,894
240	220	0,9	82,17
300	220	0,9	94,446
400	220	0,9	113,058
500	220	0,9	129,888

Fonte: Elaboração própria

Desse modo temos que:

$$I_c = I_z \cdot F_T \cdot F_N$$

Para o fio de 16 mm²:

$$I_c = 76 \cdot 1 \cdot 1 = 76 A$$

Para o fio de 25 mm²:

$$I_c = 101 \cdot 1 \cdot 1 = 101 A$$

Após isso podemos encontrar a Potência Aparente, que será utilizada no nosso modelo como referência para a carga máxima que o sistema elétrico suporta. Para isso consideraremos algumas premissas também:

- I_c foi encontrada anteriormente e será utilizada agora para o cálculo da potência
- A tensão que será utilizada será de 220 V
- O fator de potência ($\cos \varphi$) é uma medida da eficiência com que a energia elétrica é convertida em trabalho útil em sistemas com cargas. No contexto deste cálculo e com base no [catálogo da WEG](#) consideraremos $\cos \varphi = 0,9$, assumindo que o sistema opera com uma carga indutiva típica, como motores ou transformadores, que apresentam esse comportamento comum em instalações elétricas.

Por fim, pode-se efetivamente calcular o valor da potência para os fios de bitola 16 mm² e 25 mm²

$$P = I_c \cdot V \cdot \cos \varphi$$

Para o fio de 16 mm²:

$$P = \frac{(76 \cdot 220 \cdot 0,9)}{1000} = 15,048 \text{ kW}$$

Para o fio de 25 mm²:

$$P = \frac{(101 \cdot 220 \cdot 0,9)}{1000} = 19,998 \text{ kW}$$

Tabela 3 - Potências aparentes para as bitolas de 16 mm² e 25 mm²

Fio 16,0 mm ²	Unidade	Fio 25,0 mm ²	Unidade
76	A	101	A
220	V	220	V
16720	W	22200	W
0,9 (FP)	-	0,9 (FP)	-
15,048	kW	19,998	kW

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4 - Cenário 1 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	10%	80%	50	7,2	3,60
2	18:00	15%	85%	75	8	4,00
3	18:00	20%	70%	50	9	4,50
4	18:00	10%	90%	50	10	5,00
5	18:00	5%	60%	50	7,2	3,60
6	18:00	10%	100%	50	8	4,00

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 5 - Cenário 2 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	20%	75%	50	8	4,00
2	18:00	10%	90%	50	7,2	3,60
3	18:00	15%	85%	75	9	4,50
4	18:00	10%	90%	50	10	5,00
5	18:00	5%	85%	50	7,2	3,60
6	18:00	20%	100%	50	8	4,00

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 6 - Cenário 3 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	10%	90%	50	9	4,50
2	18:00	10%	75%	50	8	4,00
3	18:00	25%	85%	50	7,2	3,60
4	18:00	5%	65%	75	9	4,50
5	18:00	10%	80%	50	10	5,00
6	18:00	20%	100%	50	7,2	3,60

Fonte: Elaboração Própria

Cenário 4:

Tabela 7 - Cenário 4 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	20%	80%	50	8	4,00
2	18:00	10%	75%	50	7,2	3,60
3	18:00	30%	90%	50	9	4,50
4	18:00	15%	85%	75	10	5,00
5	18:00	10%	90%	50	7,2	3,60
6	18:00	5%	100%	50	8	4,00

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 8 - Cenário 4 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	10%	80%	50	7,2	3,60
2	18:00	5%	75%	50	8	4,00
3	18:00	15%	85%	50	9	4,50
4	18:00	20%	100%	75	10	5,00
5	18:00	25%	80%	50	7,2	3,60
6	18:00	10%	100%	50	9	4,50

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 9 - Cenário 6 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	15%	80%	50	7,2	3,60
2	18:00	5%	60%	75	10	5,00
3	18:00	25%	100%	50	9	4,50
4	18:00	20%	80%	50	8	4,00
5	18:00	10%	100%	50	7,2	3,60
6	18:00	10%	100%	50	9	4,50

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 10 - Cenário 7 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	5%	100%	50	8	4,00
2	18:00	10%	100%	50	7,2	3,60
3	18:00	20%	100%	50	9	4,50
4	18:00	15%	66%	75	10	5,00
5	18:00	10%	100%	50	7,2	3,60
6	18:00	25%	90%	50	9	4,50

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 11 - Cenário 8 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	10%	90%	50	9	4,50
2	18:00	5%	90%	50	7,2	3,60
3	18:00	20%	90%	50	10	5,00
4	18:00	25%	90%	75	8	4,00
5	18:00	10%	90%	50	7,2	3,60
6	18:00	15%	70%	50	9	4,50

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 12 - Cenário 9 utilizado para as simulações

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	5%	90%	50	7,2	3,60
2	18:00	10%	90%	50	8	4,00
3	18:00	25%	75%	50	9	4,50
4	18:00	20%	60%	75	10	5,00
5	18:00	15%	100%	50	9	4,50
6	18:00	10%	80%	50	7,2	3,60

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 13 - Cenário 10 utilizado para as simulações.

Carros	Horário de Estacionamento	SoC Inicial (%)	SoC Objetivo (%)	Capacidade da bateria (kWh)	Potência do Carregador (kW)	Energia Car./int (kWh)
1	18:00	10%	80%	50	9	4,50
2	18:00	5%	90%	50	7,2	3,60
3	18:00	20%	90%	50	10	5,00
4	18:00	15%	70%	75	8	4,00
5	18:00	10%	100%	50	9	4,50
6	18:00	25%	90%	50	7,2	3,60

Fonte: Elaboração Própria

3.2.4 Limitações e pontos de melhoria

Por fim, algumas limitações do modelo incluem a análise para um número máximo de 6 veículos sendo carregados ao mesmo tempo, a análise de intervalo será de 30 minutos em 30 minutos, o que não é o ideal, pois engloba um intervalo de tempo muito grande se olharmos pela perspectiva de análise energética. Porém o modelo é integralmente automatizado, o que possibilita posteriormente, com a premissa de utilização de uma ferramenta de resolução de problemas como o solver mais potente para otimizar mais cenários e carros sendo carregados ao mesmo tempo.

3.2.5 Resultados e Impactos esperados

Com esse modelo e a realização dos cenários espera-se comprovar as

seguintes hipóteses iniciais, que são:

- Hipótese base do estudo: A infraestrutura do sistema elétrico brasileiro não suportará a demanda cada vez maior de carregamento de VEs.
- O carregamento dos 6 VEs sem a utilização do modelo de gestão extrapola a carga máxima da rede elétrica, para os fios com bitola de 16mm² e 25 mm² cargas máximas da rede de respectivamente 15,048 kW e 19,998 kW. Confirmando assim a hipótese base do estudo.
- Espera-se que o cenário utilizando o modelo proposto de gestão seja capaz de realizar o carregamento proposto de maneira mais ótima, não extrapolando a carga máxima da rede e alcançando uma economia significativa em relação ao controle.
- Por fim uma hipótese mais a longo prazo, espera-se que com o modelo desenvolvido em uma escala maior ele possa impactar no pico energético brasileiro diluindo a carga demandada pela rede nesse momento. Cenário que traria um benefício enorme ao setor, barateando o custo da energia como um todo e facilitando o atendimento da demanda pela companhia de energia responsável.

4 Resultados

Nessa seção apresentaremos os resultados obtidos através da simulação dos dez cenários propostos no Caso de referência pode-se fazer a análise dos resultados obtidos a partir das simulações.

Para a análise foram simulados três cenários principais, que são:

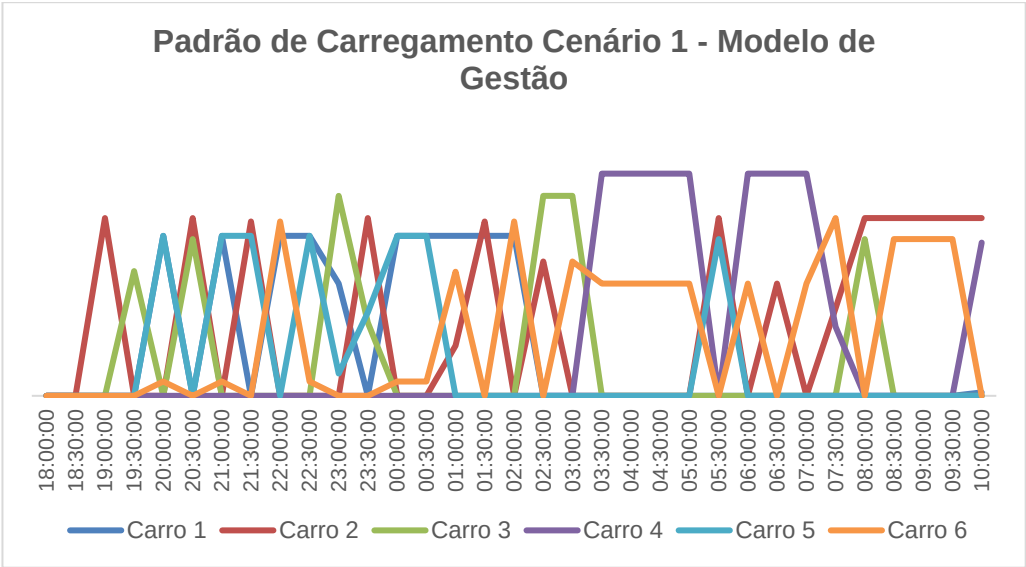
- **Modelo de Gestão Restrito:** Esse cenário considera a proteção da rede elétrica, ou seja, ele distribui o carregamento respeitando o limite máximo da rede que varia de acordo com o tamanho da bitola.
- **Modelo de Gestão Irrestrito:** Esse cenário não considera a proteção da rede elétrica e utiliza o modelo de gestão, ele foi utilizado como forma de mensurar qual seria a máxima economia que o modelo poderia atingir, ou seja, o cenário mais ideal para o carregamento
- **Sem o Modelo de Gestão:** Esse cenário não utiliza do modelo de gestão e também não considera a proteção da rede, ele representa o cenário atual de carregamento e demonstra a necessidade do desenvolvimento deste trabalho para a viabilidade dos VEs no Brasil

E ela foi focada em entender principalmente se as premissas adotadas inicialmente estavam corretas e qual é o impacto financeiro e na rede elétrica utilizando o modelo.

Pode-se observar que a análise dos dez cenários demonstrou que as premissas adotadas inicialmente realmente fazem sentido e abaixo segue a justificativa e evidências coletadas diretamente das simulações.

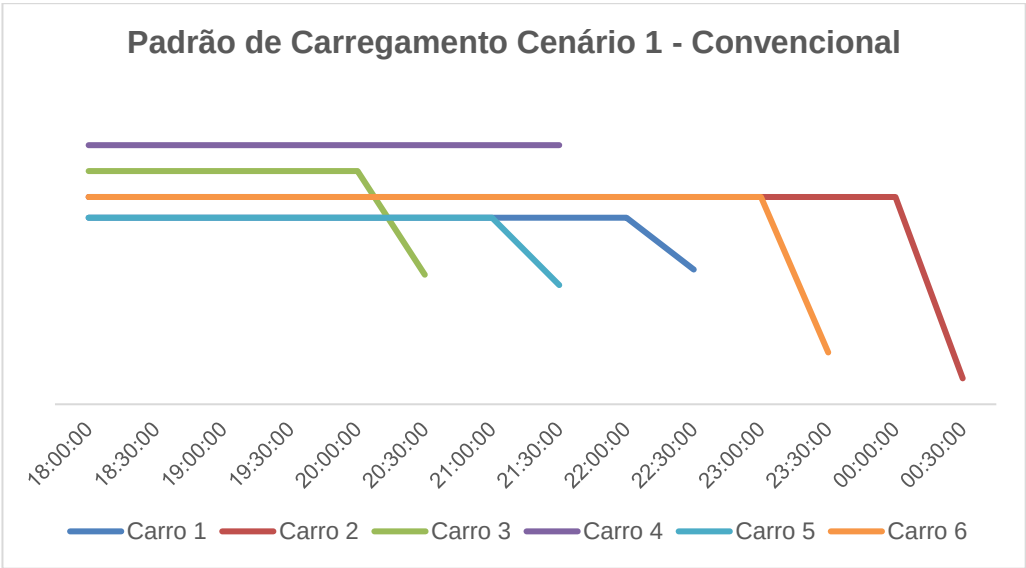
Simulações para o fio de bitola **16 mm²**:

Figura 12 - Padrão de carregamento cenário 1 – Modelo de gestão



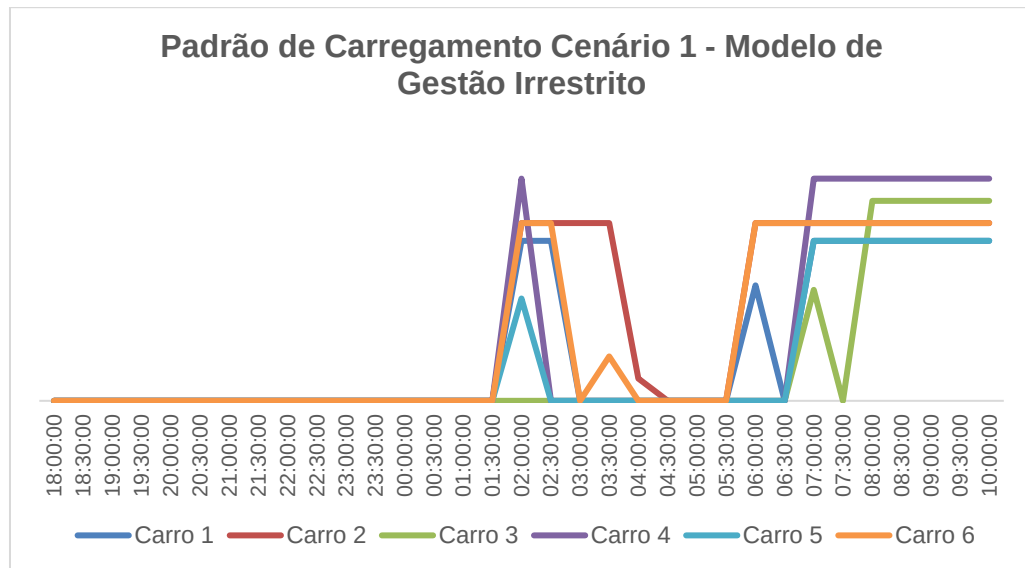
Fonte: Elaboração Própria

Figura 13 - Padrão de carregamento cenário 1 – Convencional



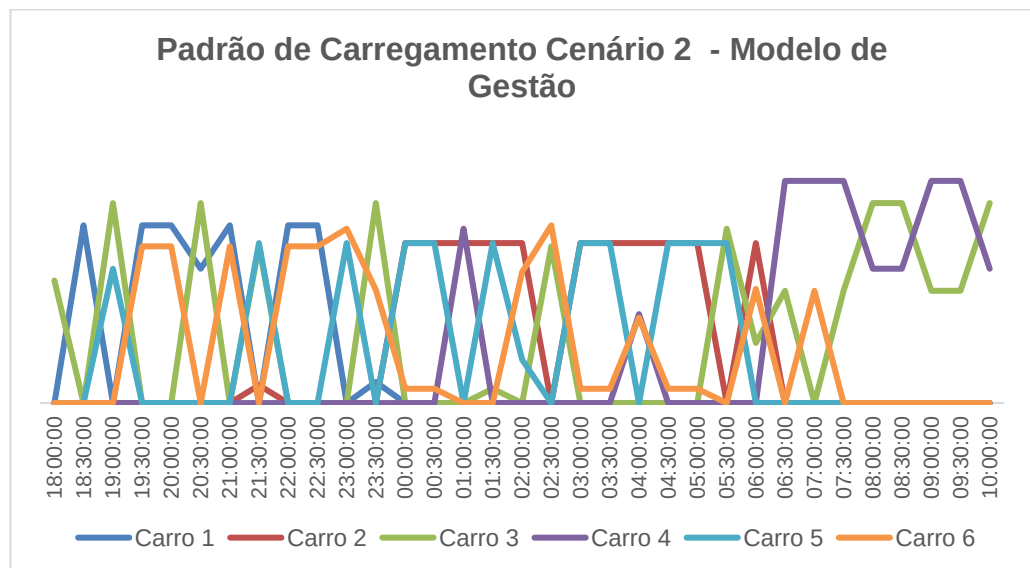
Fonte: Elaboração Própria

Figura 14 - Padrão de carregamento cenário 1 – Modelo de gestão irrestrito



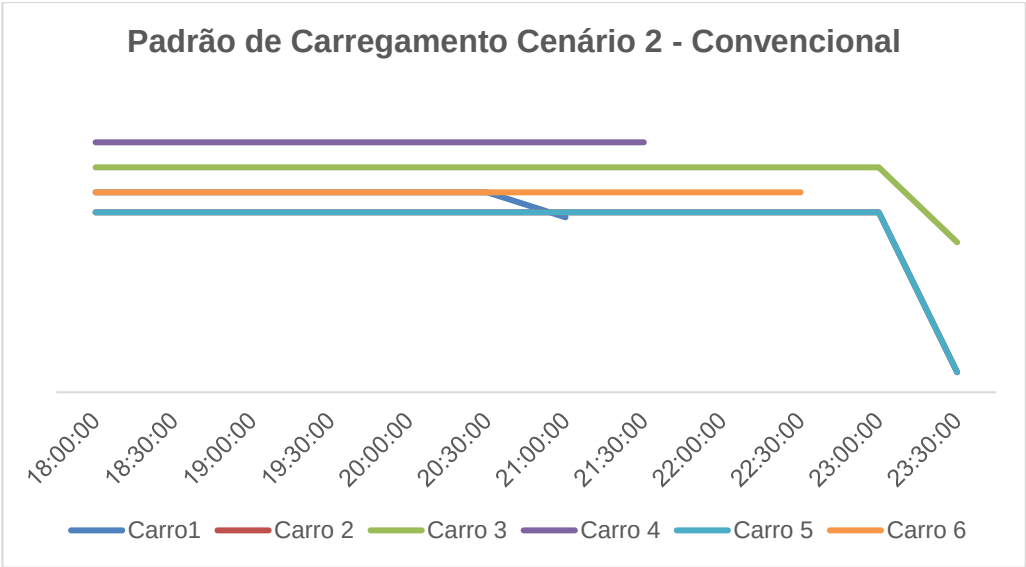
Fonte: Elaboração Própria

Figura 15 - Padrão de carregamento cenário 2 – Modelo de gestão



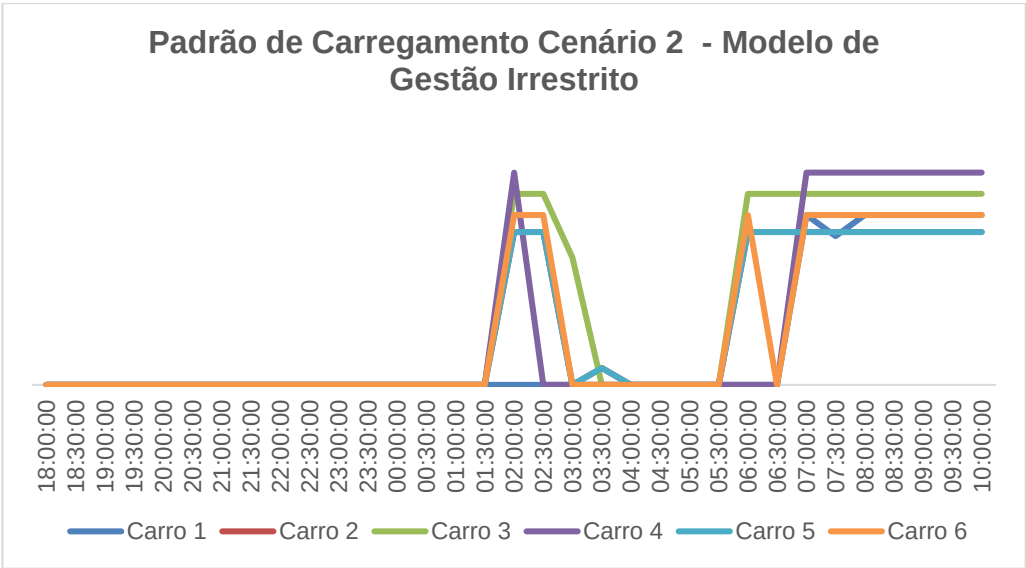
Fonte: Elaboração Própria

Figura 16 - Padrão de carregamento cenário 2 – Convencional



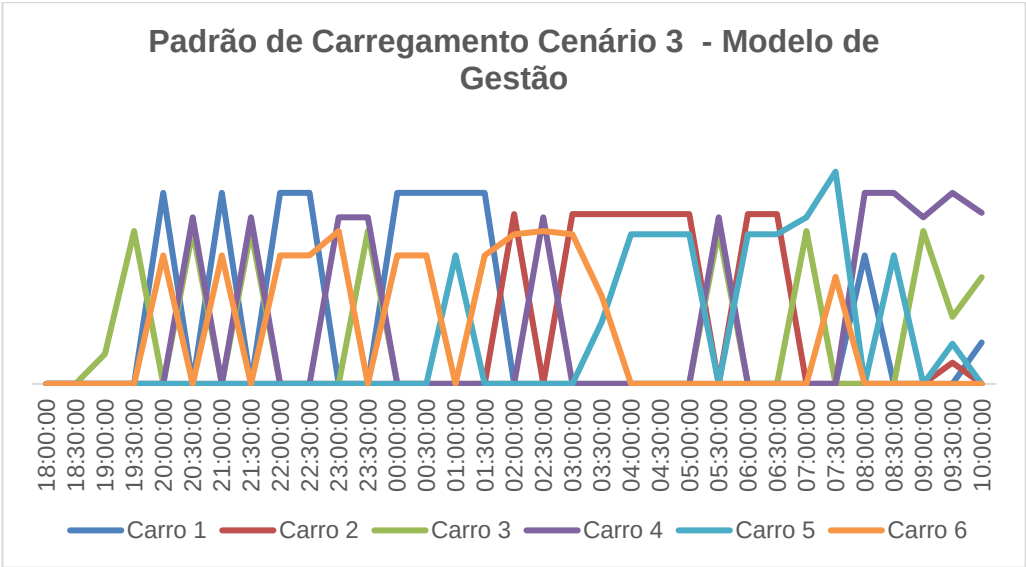
Fonte: Elaboração Própria

Figura 17 - Padrão de carregamento cenário 2 – Modelo de gestão irrestrito



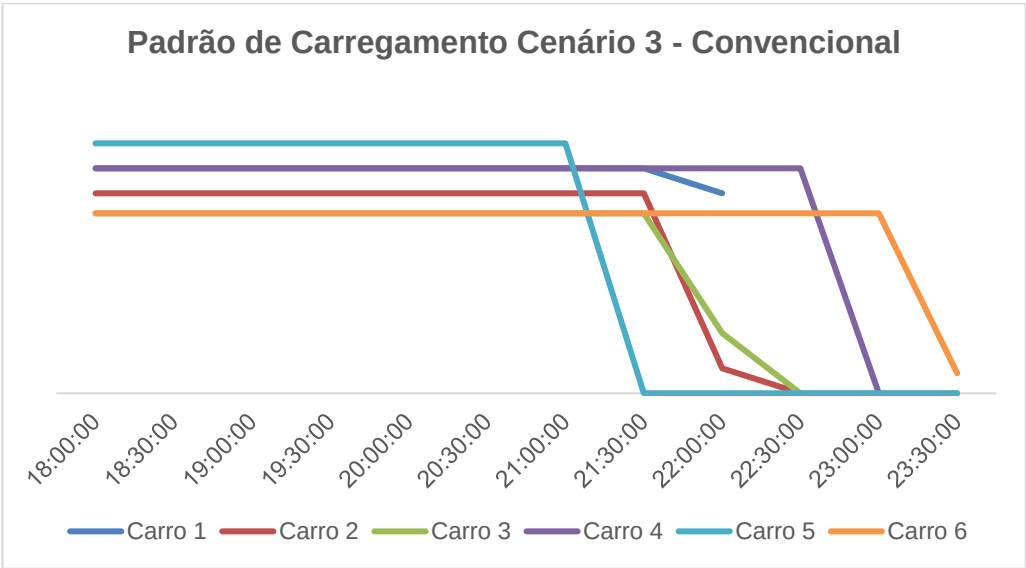
Fonte: Elaboração Própria

Figura 18 - Padrão de carregamento cenário 3 – Modelo de gestão



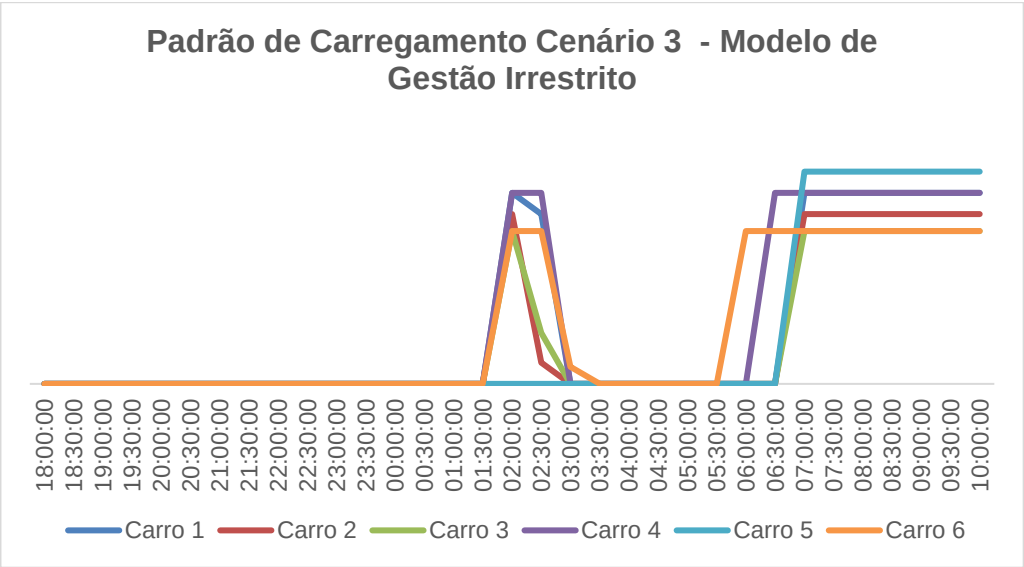
Fonte: Elaboração Própria

Figura 19 - Padrão de carregamento cenário 2 - Convencional



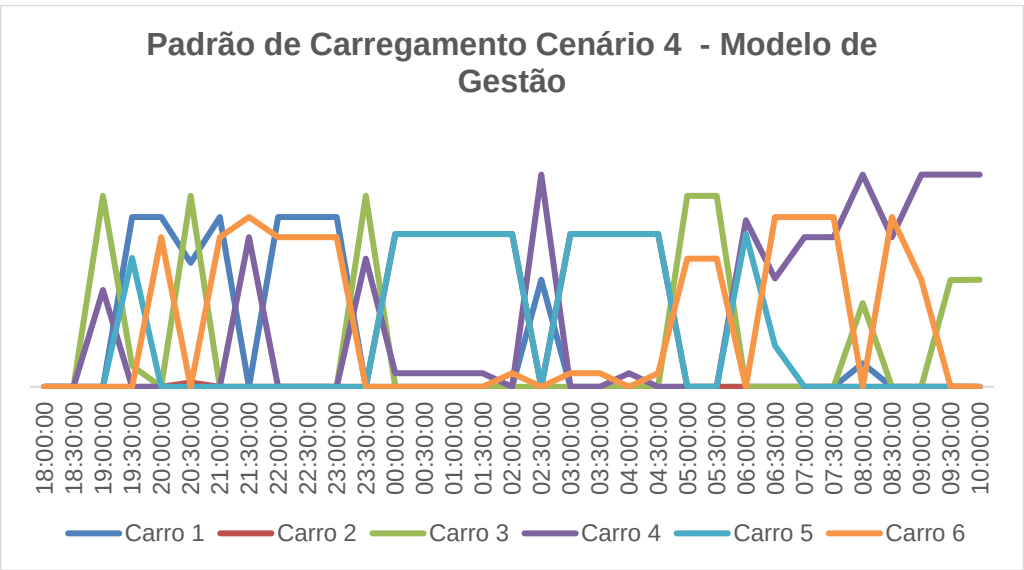
Fonte: Elaboração Própria

Figura 20 - Padrão de carregamento cenário 3 – Modelo de gestão irrestrito



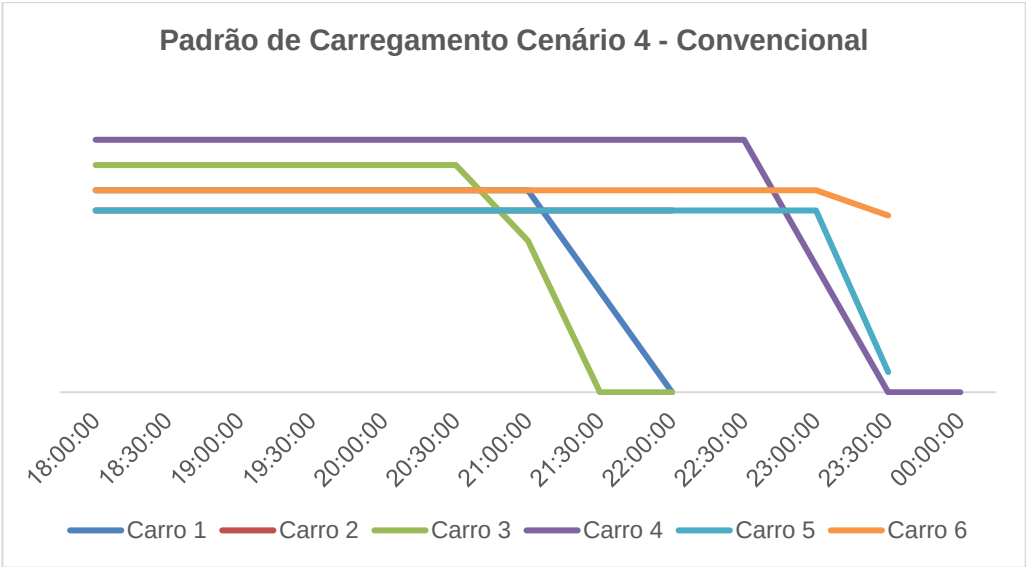
Fonte: Elaboração Própria

Figura 21 - Padrão de carregamento cenário 4 – Modelo de gestão



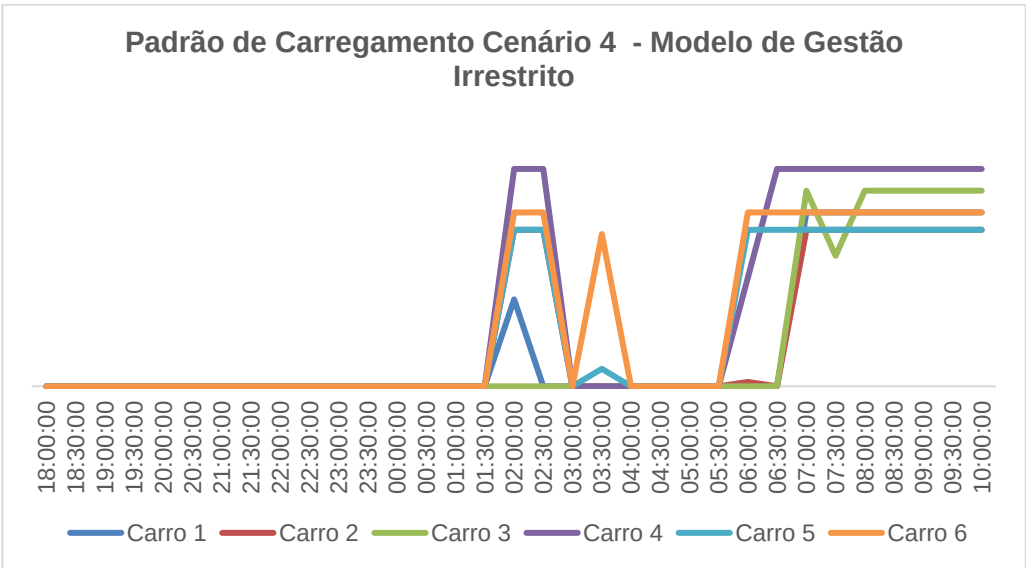
Fonte: Elaboração Própria

Figura 22 - Padrão de carregamento cenário 4 – Convencional



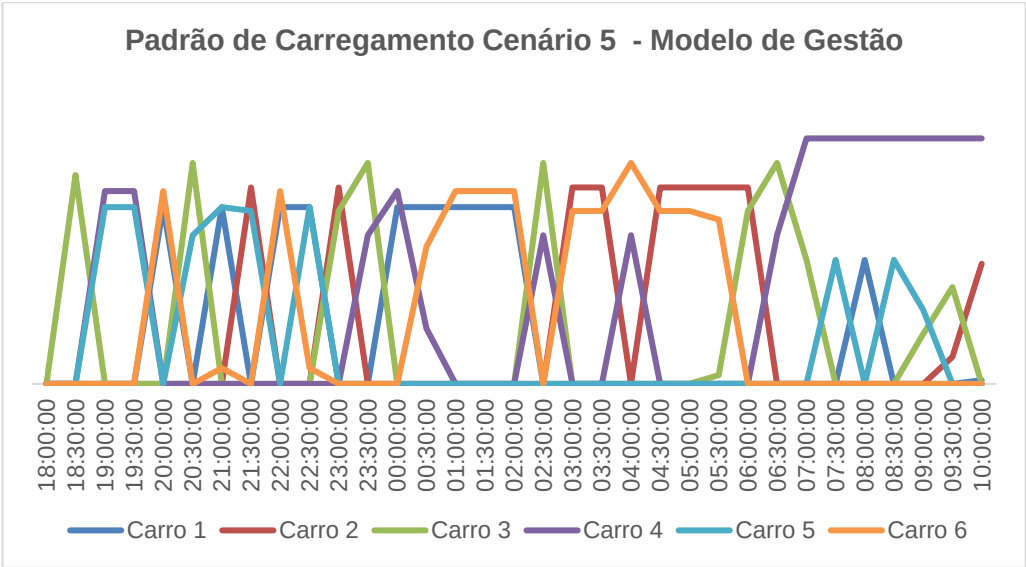
Fonte: Elaboração Própria

Figura 23 - Padrão de carregamento cenário 4 – Modelo de gestão irrestrito



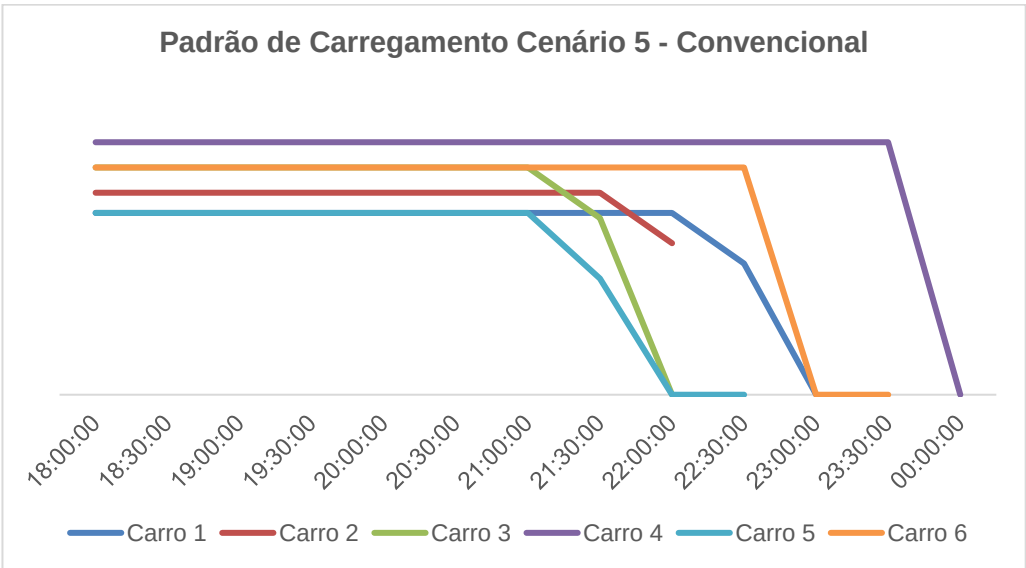
Fonte: Elaboração Própria

Figura 24 - Padrão de carregamento cenário 5 – Modelo de gestão



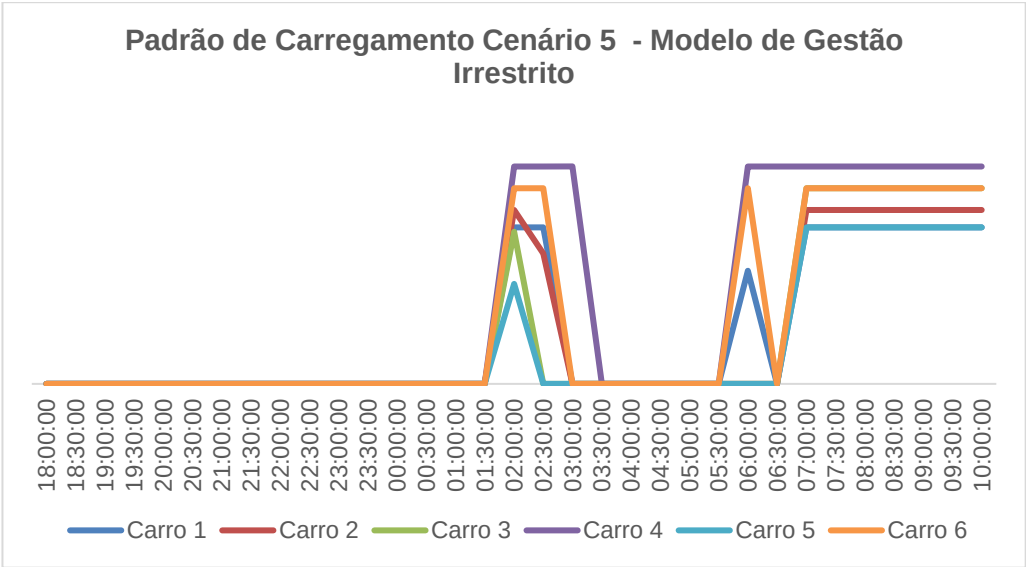
Fonte: Elaboração Própria

Figura 25 - Padrão de carregamento cenário 5 – Convencional



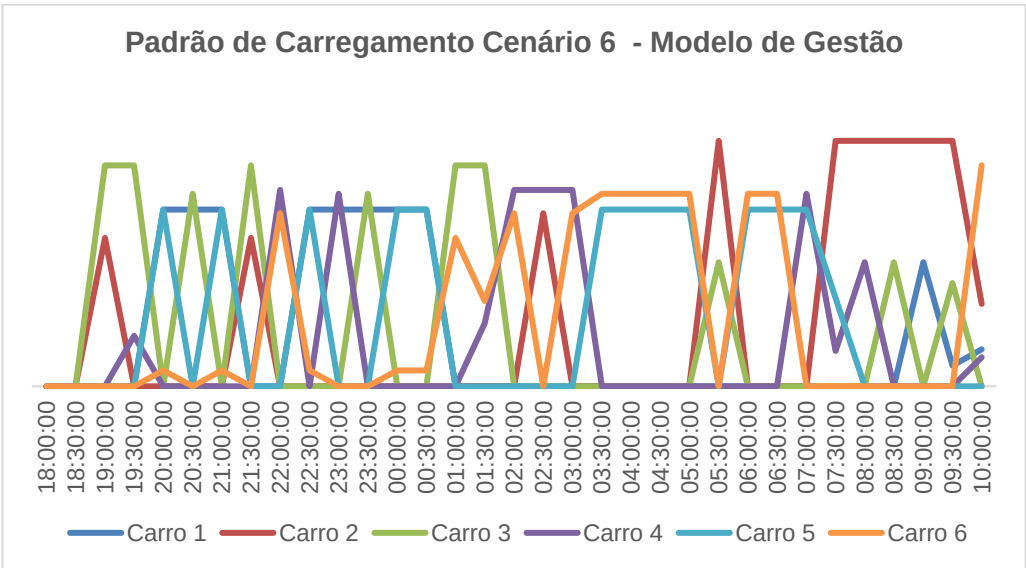
Fonte: Elaboração Própria

Figura 26 - Padrão de carregamento cenário 5 – Modelo de gestão irrestrito



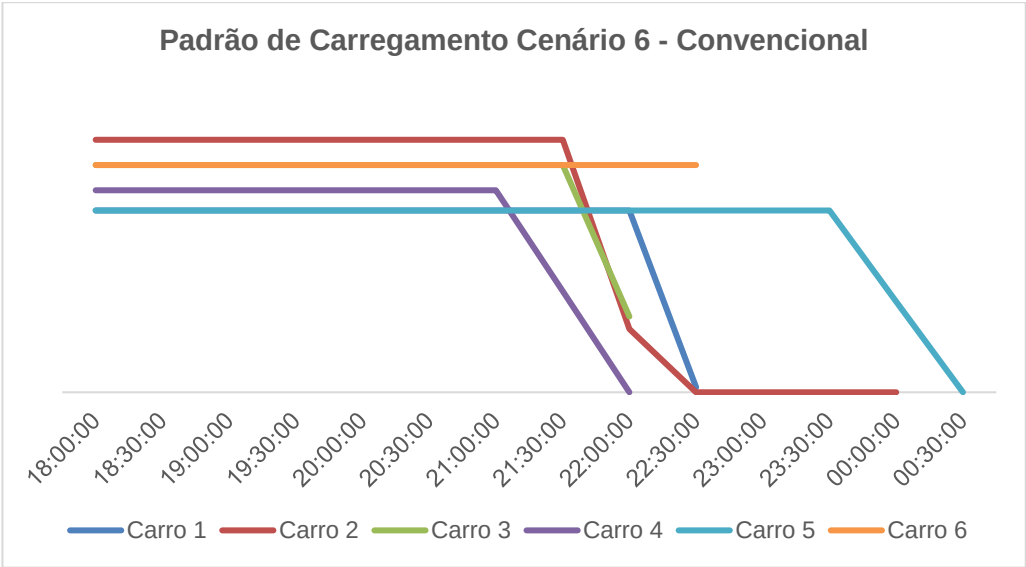
Fonte: Elaboração Própria

Figura 27 - Padrão de carregamento cenário 6 – Modelo de gestão



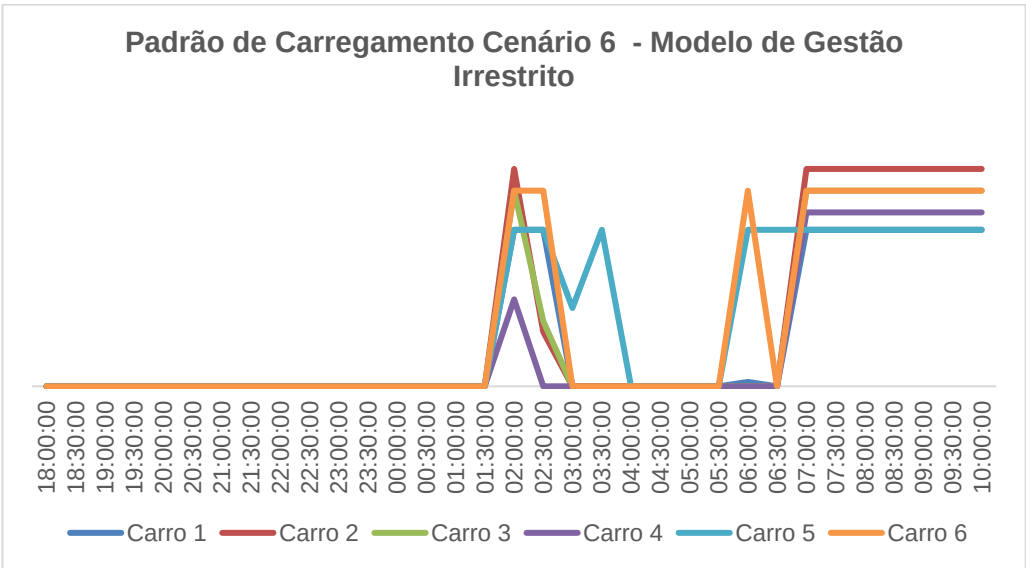
Fonte: Elaboração Própria

Figura 28 - Padrão de carregamento cenário 6 – Convencional



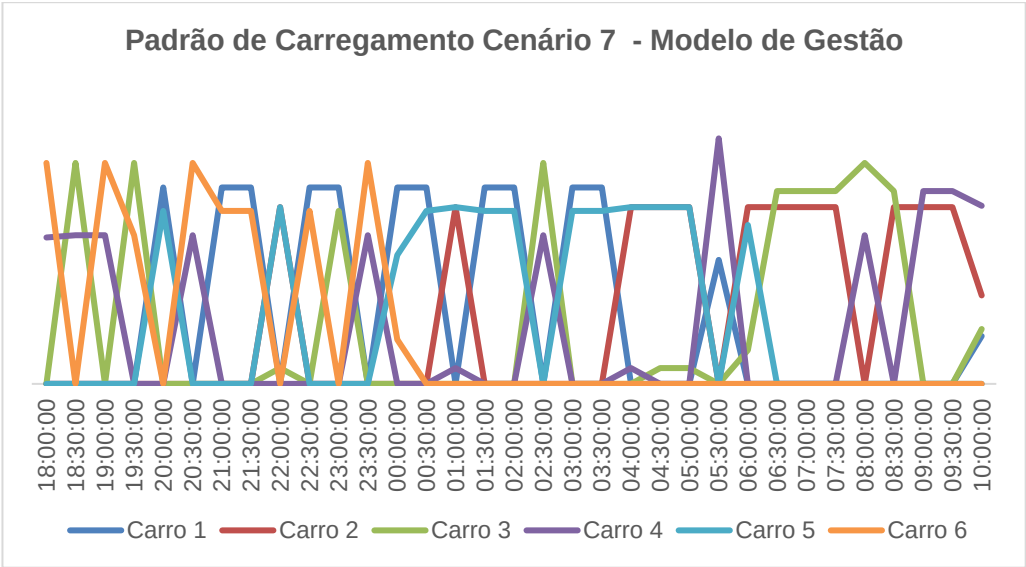
Fonte: Elaboração Própria

Figura 29 - Padrão de carregamento cenário 6 – Modelo de gestão irrestrito



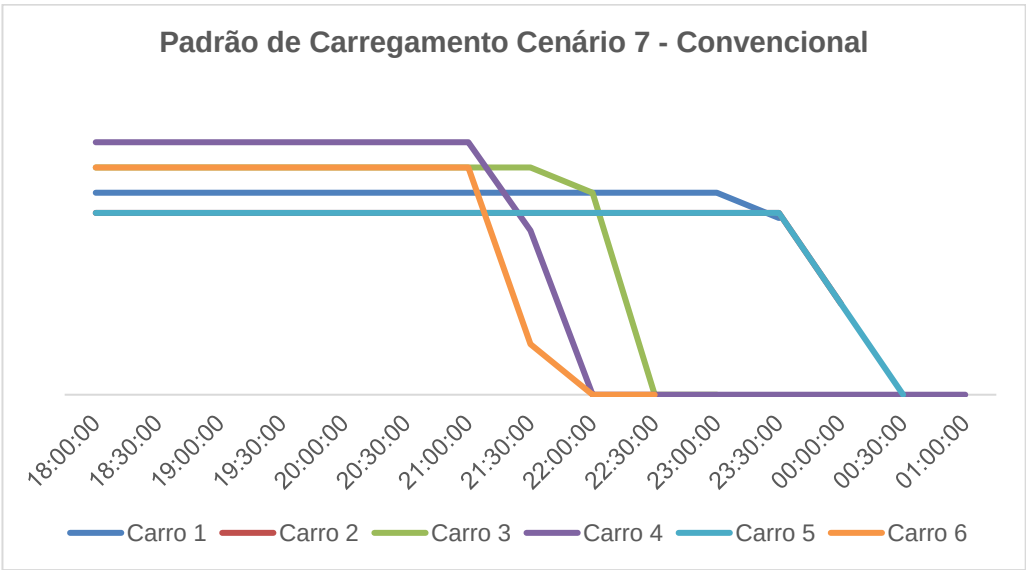
Fonte: Elaboração Própria

Figura 30 - Padrão de carregamento cenário 7 – Modelo de gestão



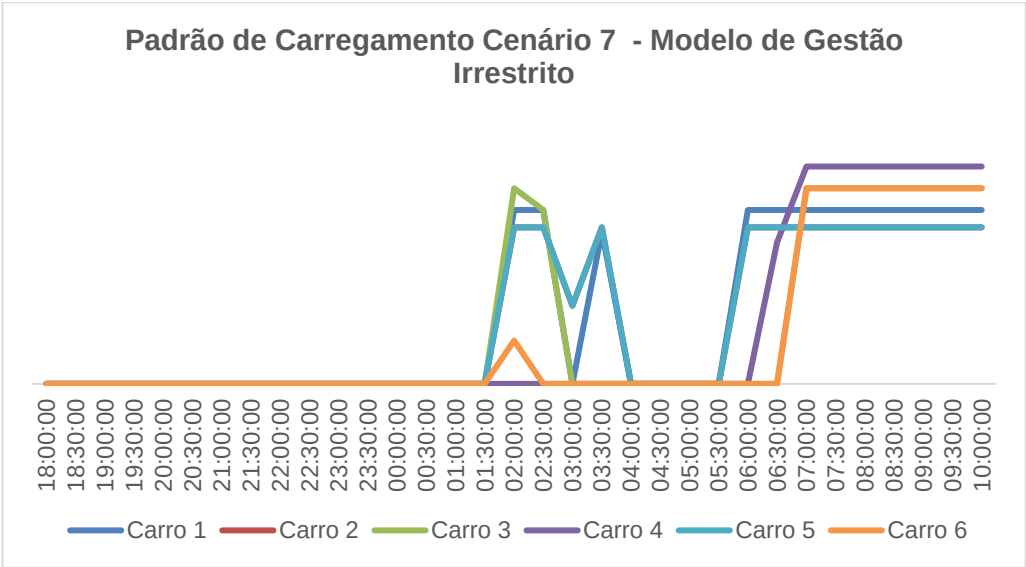
Fonte: Elaboração Própria

Figura 31 - Padrão de carregamento cenário 7 – Convencional



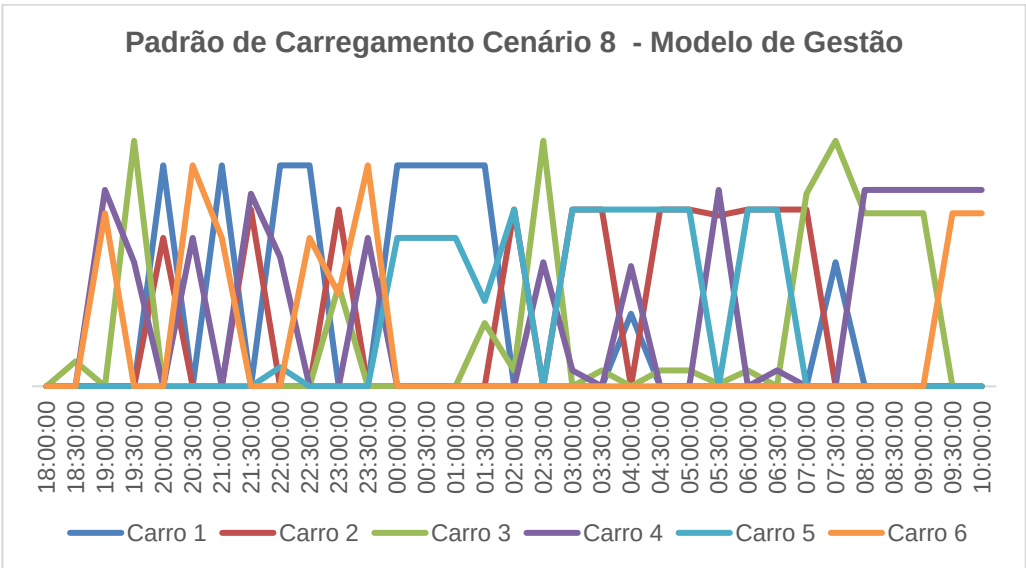
Fonte: Elaboração Própria

Figura 32 - Padrão de carregamento cenário 7 – Modelo de gestão irrestrito



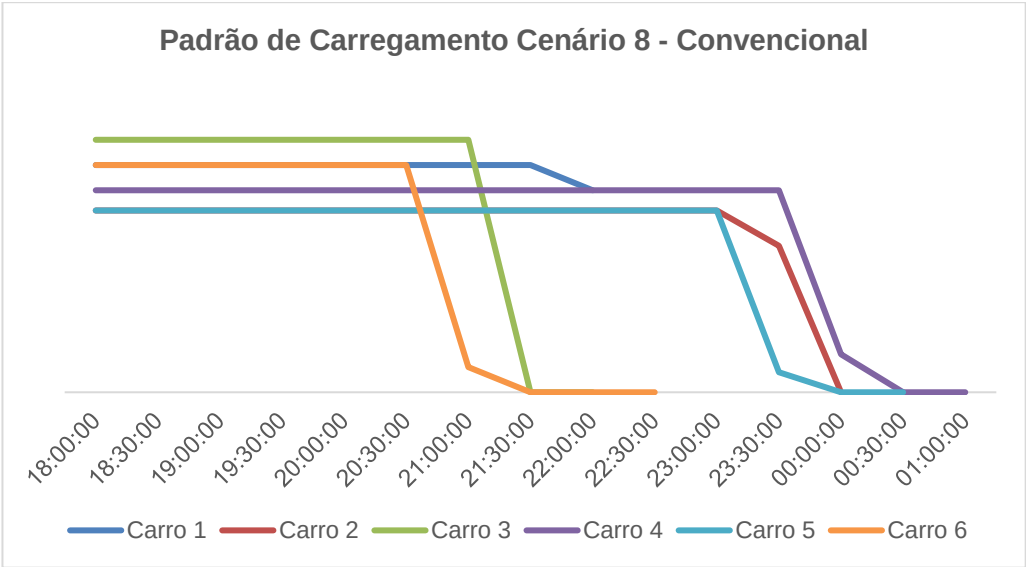
Fonte: Elaboração Própria

Figura 33 - Padrão de carregamento cenário 8 – Modelo de gestão



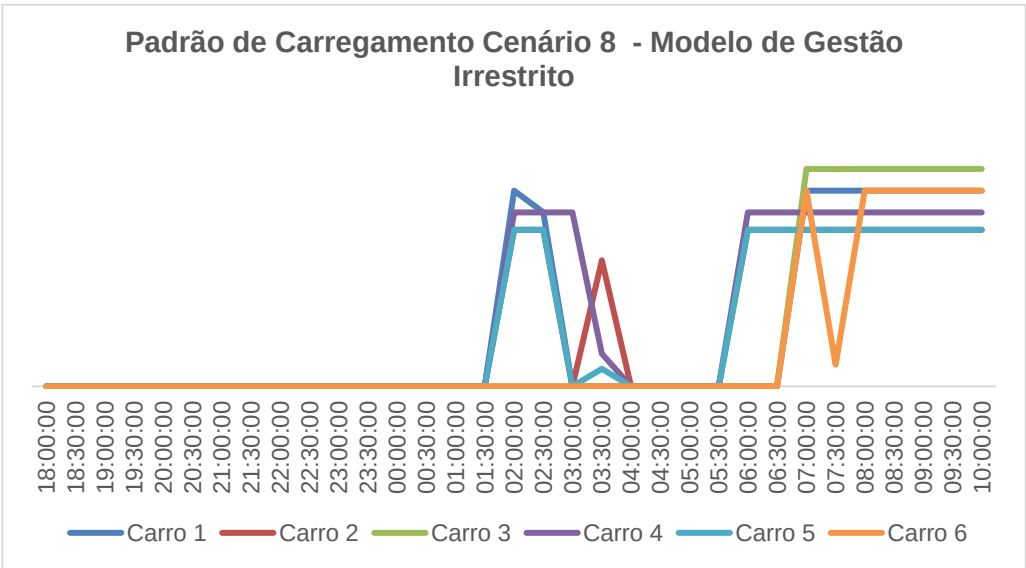
Fonte: Elaboração Própria

Figura 34 - Padrão de carregamento cenário 8 – Convencional



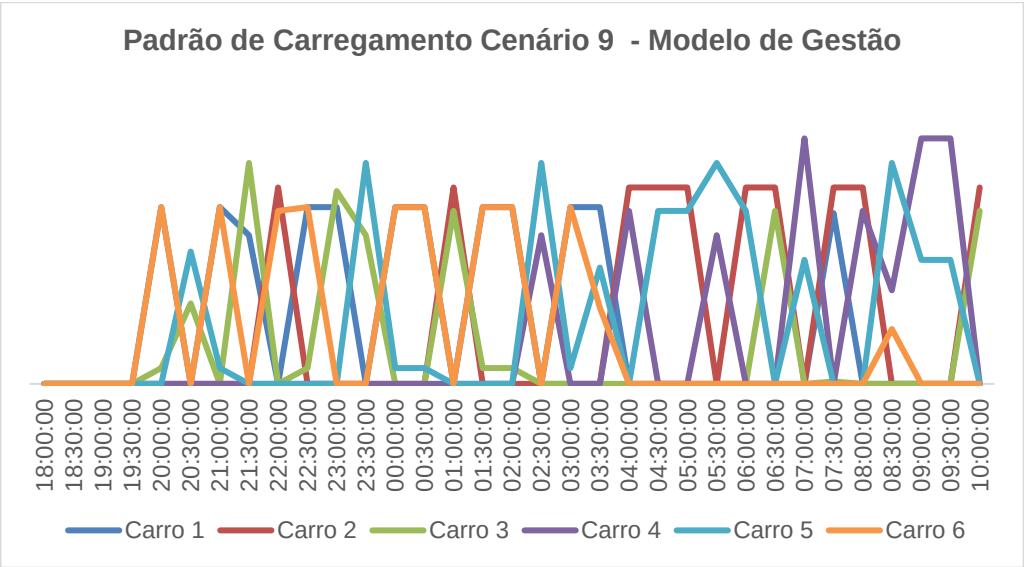
Fonte: Elaboração Própria

Figura 35 - Padrão de carregamento cenário 4 – Modelo de gestão irrestrito



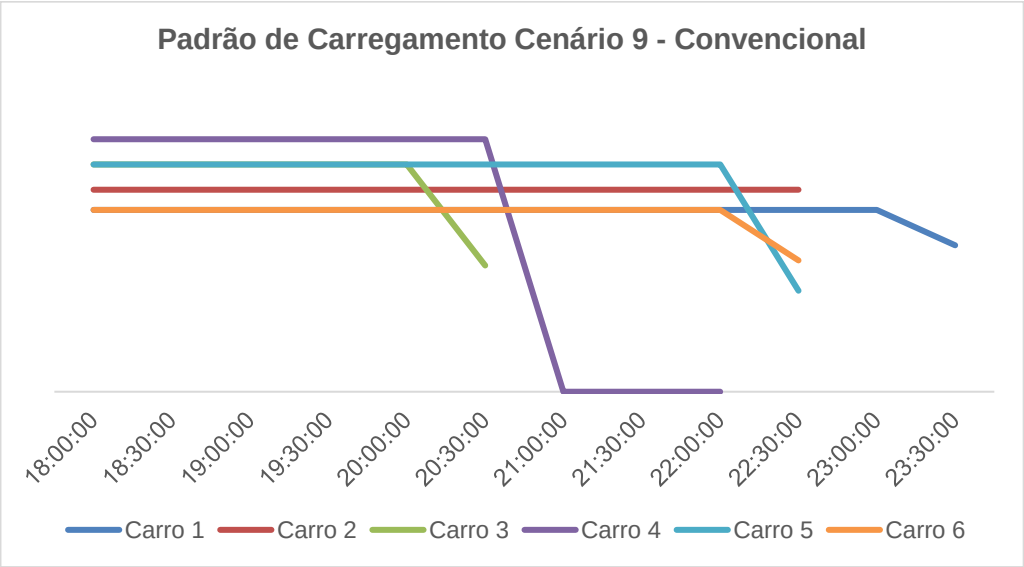
Fonte: Elaboração Própria

Figura 36 - Padrão de carregamento cenário 4 – Modelo de gestão



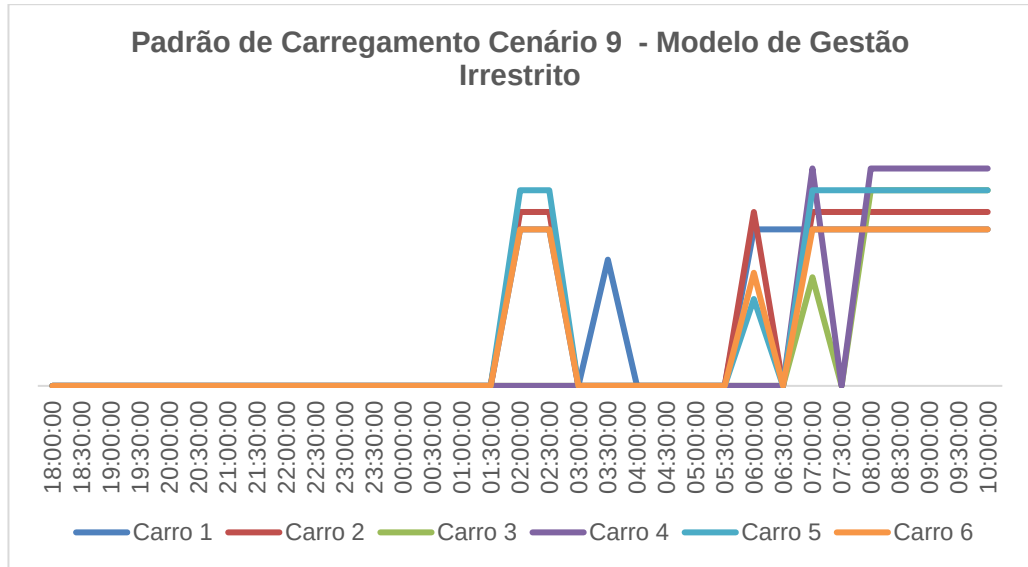
Fonte: Elaboração Própria

Figura 37 - Padrão de carregamento cenário 9 – Convencional



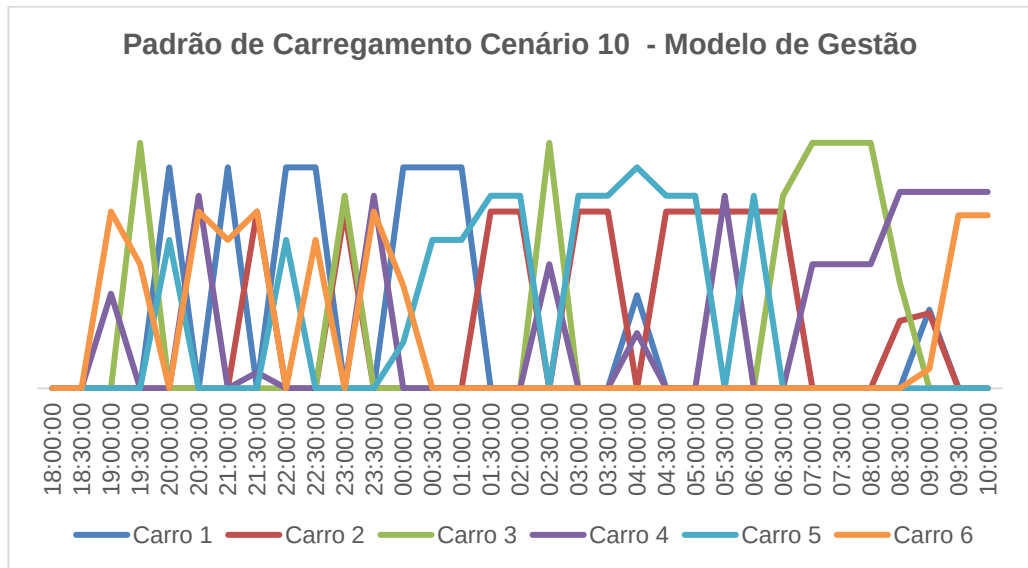
Fonte: Elaboração Própria

Figura 38 - Padrão de carregamento cenário 9 – Modelo de gestão irrestrito



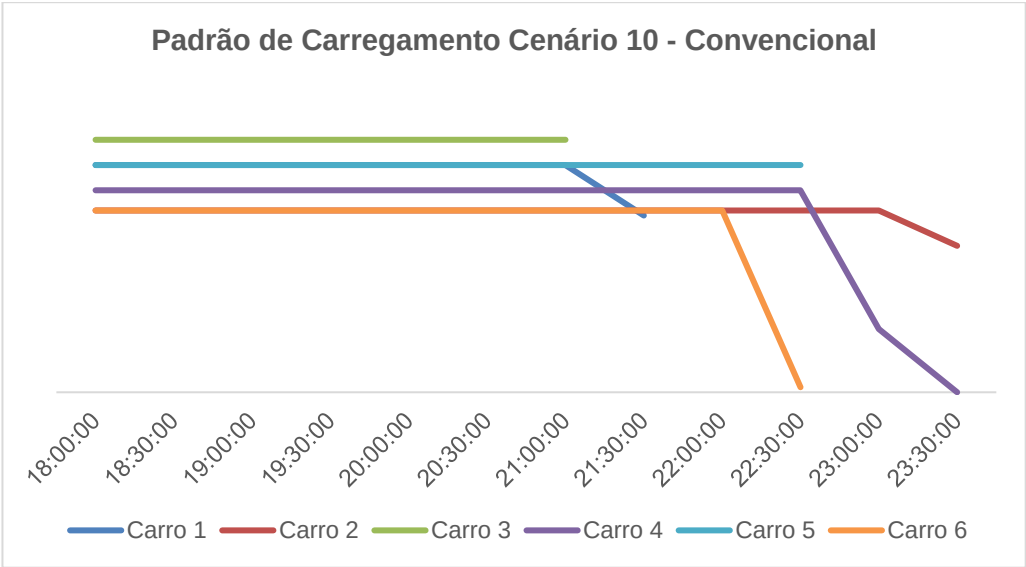
Fonte: Elaboração Própria

Figura 39 - Padrão de carregamento cenário 10 – Modelo de gestão



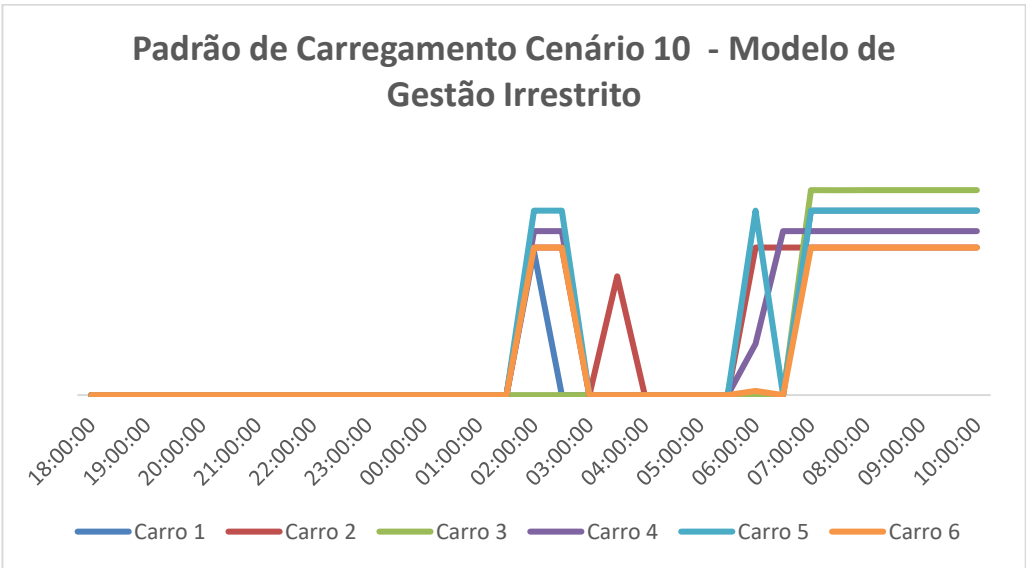
Fonte: Elaboração Própria

Figura 40 - Padrão de carregamento cenário 10 – Convencional



Fonte: Elaboração Própria

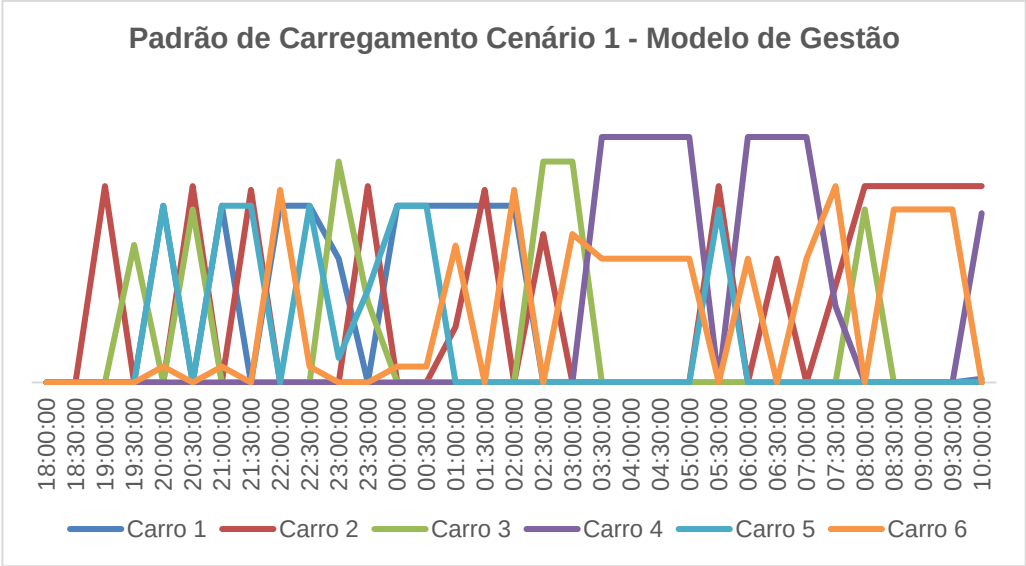
Figura 41 - Padrão de carregamento cenário 10 – Modelo de gestão irrestrito



Fonte: Elaboração Própria

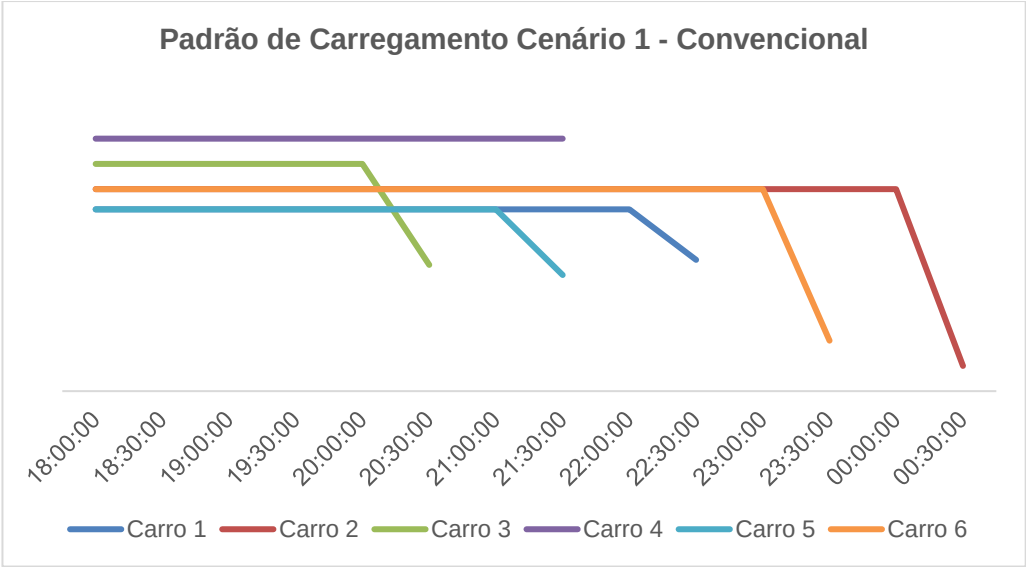
Simulações para o fio de bitola 25 mm²:

Figura 42 - Padrão de carregamento cenário 1 – Modelo de gestão



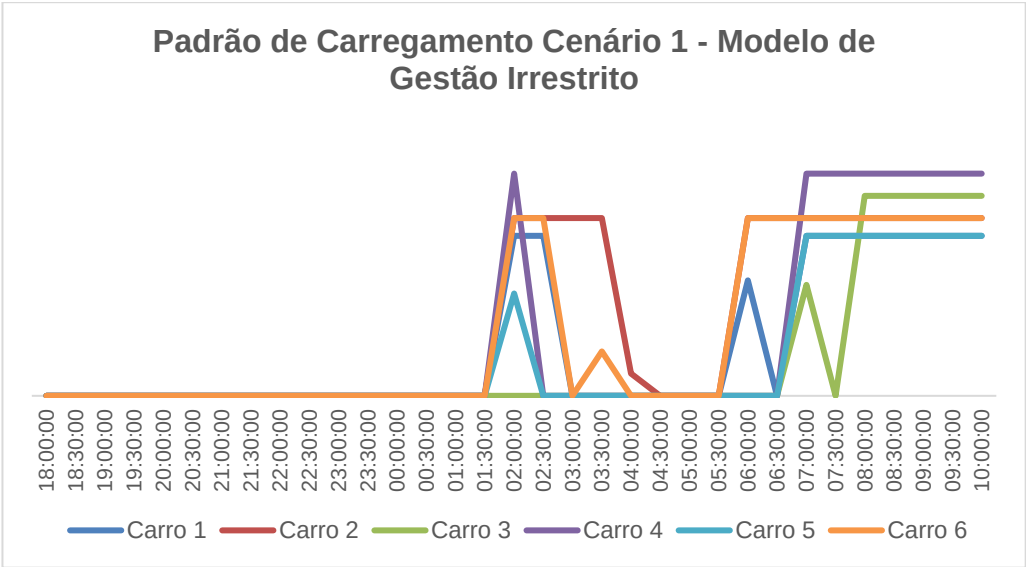
Fonte: Elaboração Própria

Figura 43 - Padrão de carregamento cenário 1 – Convencional



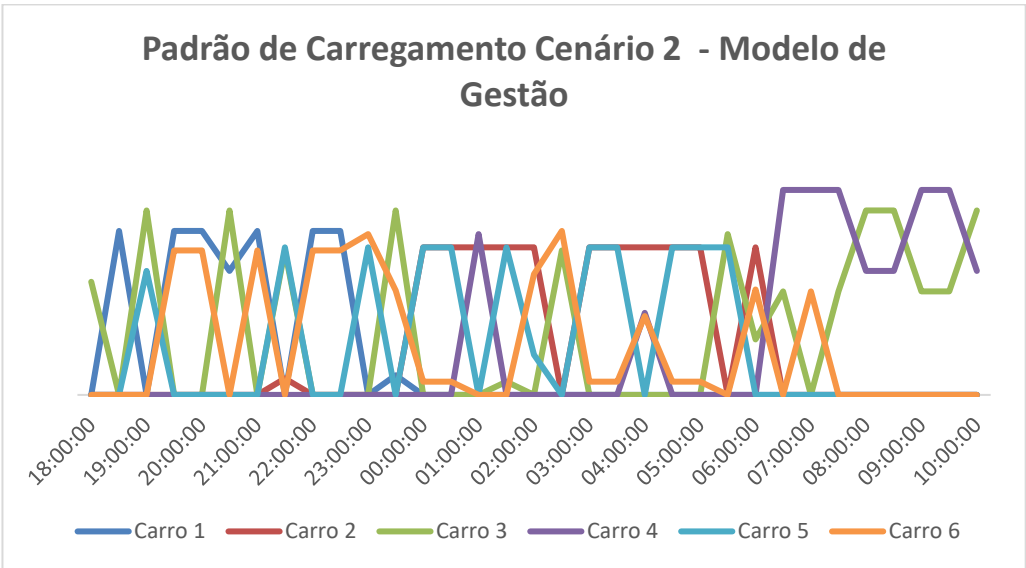
Fonte: Elaboração Própria

Figura 44 - Padrão de carregamento cenário 1 – Modelo de gestão irrestrito



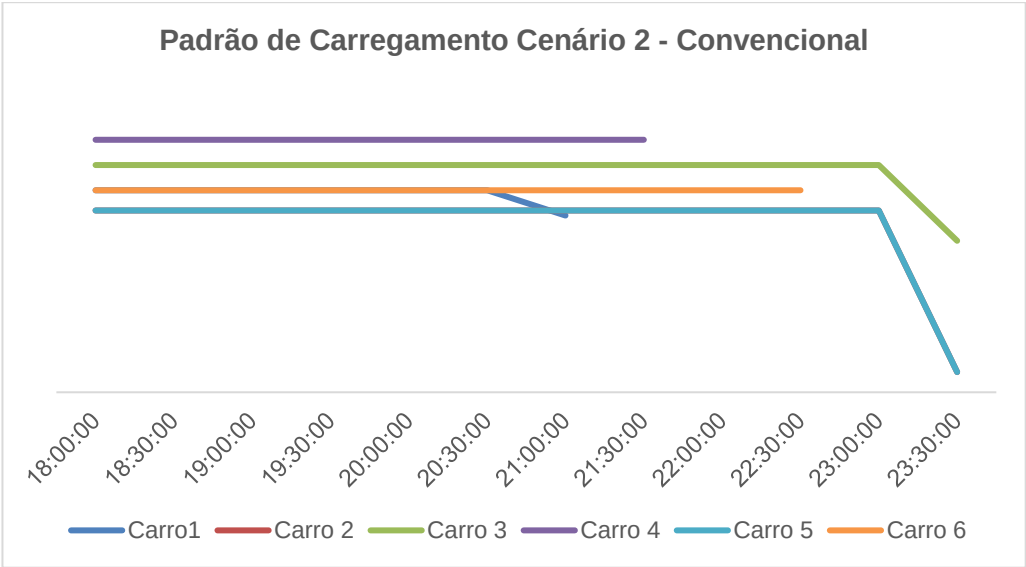
Fonte: Elaboração Própria

Figura 45 - Padrão de carregamento cenário 2 – Modelo de gestão



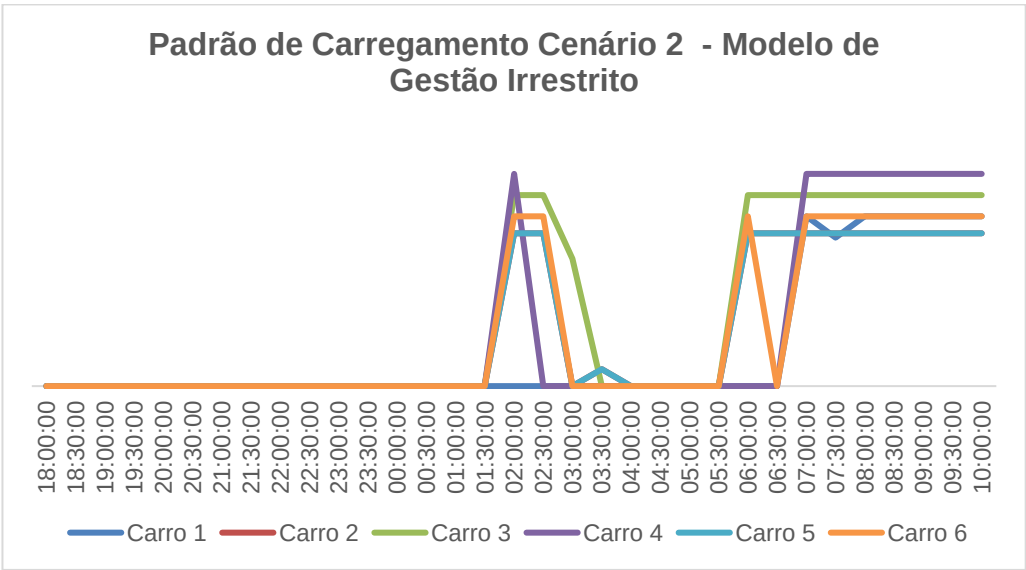
Fonte: Elaboração Própria

Figura 46 - Padrão de carregamento cenário 2 – Convencional



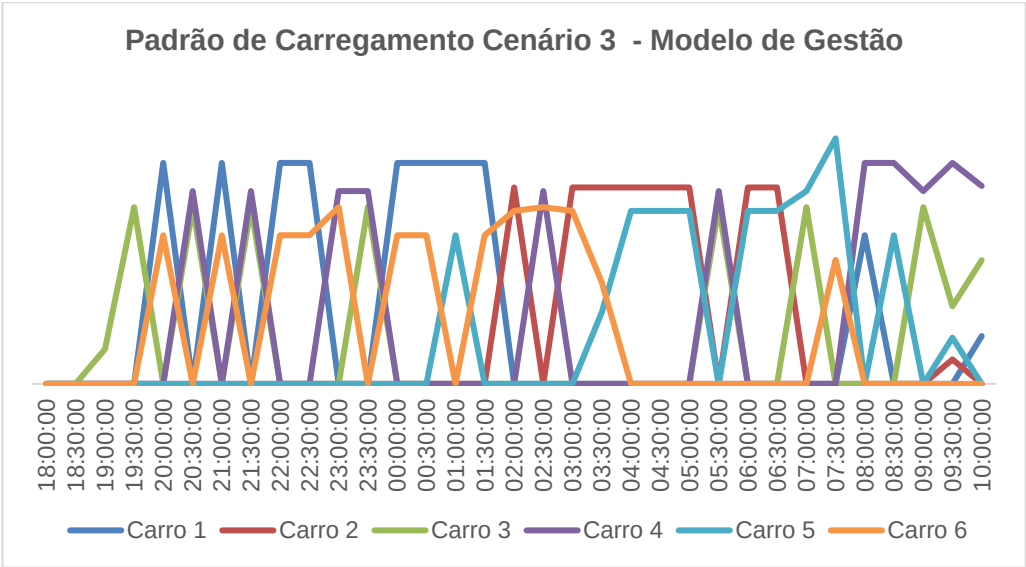
Fonte: Elaboração Própria

Figura 47 - Padrão de carregamento cenário 2 – Modelo de gestão irrestrito



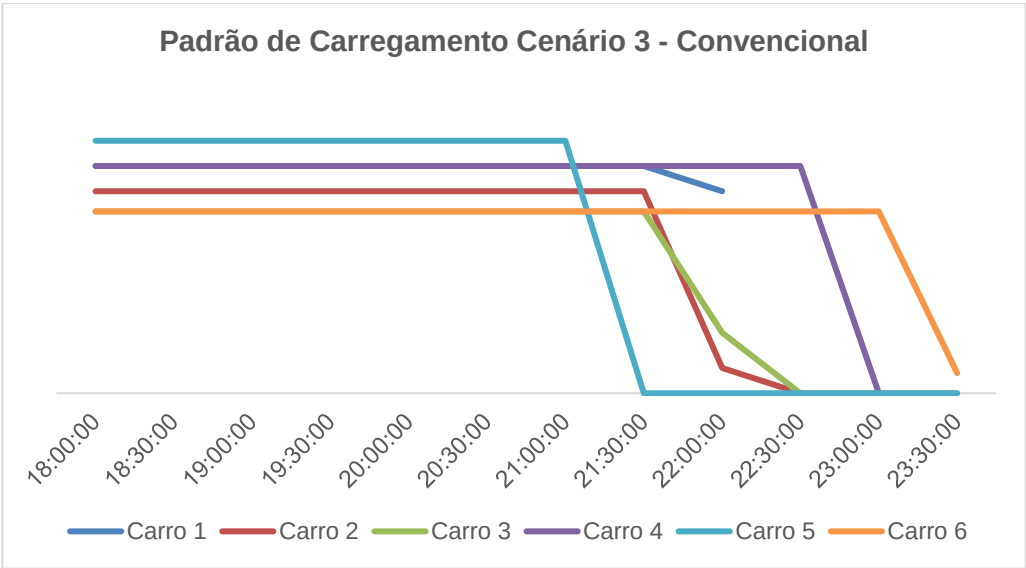
Fonte: Elaboração Própria

Figura 48 - Padrão de carregamento cenário 3 – Modelo de gestão



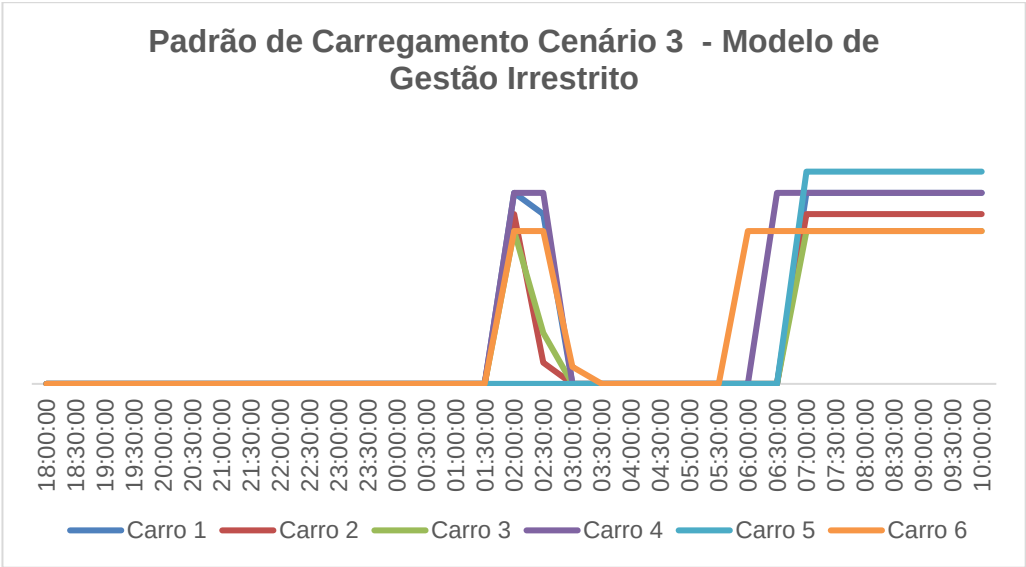
Fonte: Elaboração Própria

Figura 49 - Padrão de carregamento cenário 3 – Convencional



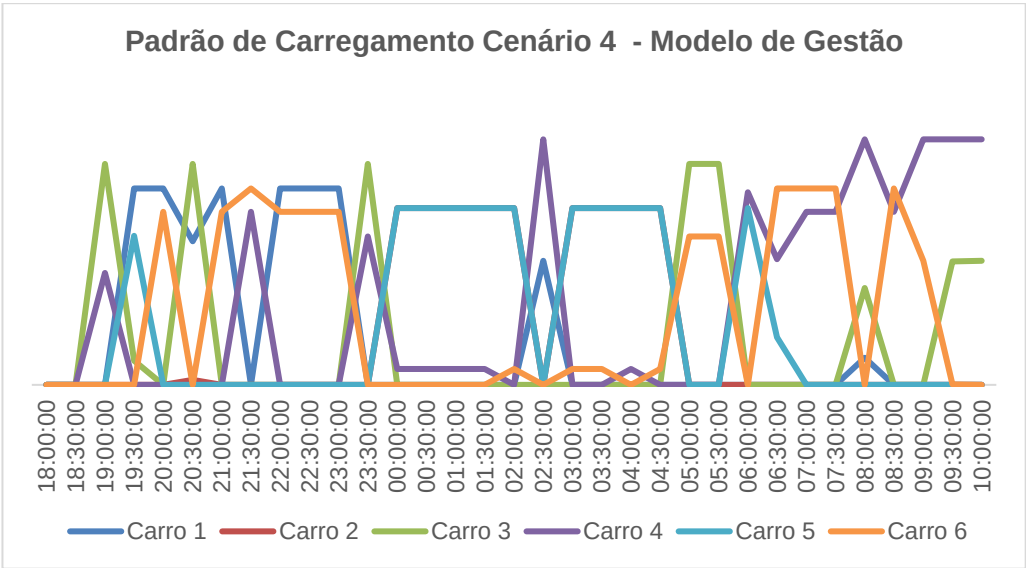
Fonte: Elaboração Própria

Figura 50 - Padrão de carregamento cenário 3 – Modelo de gestão irrestrito



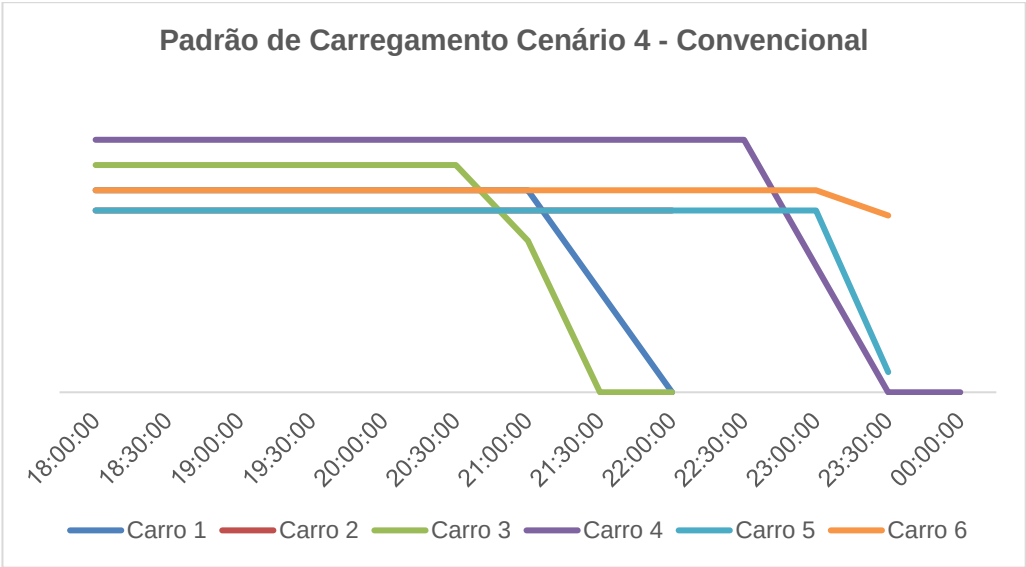
Fonte: Elaboração Própria

Figura 51 - Padrão de carregamento cenário 4 – Modelo de gestão



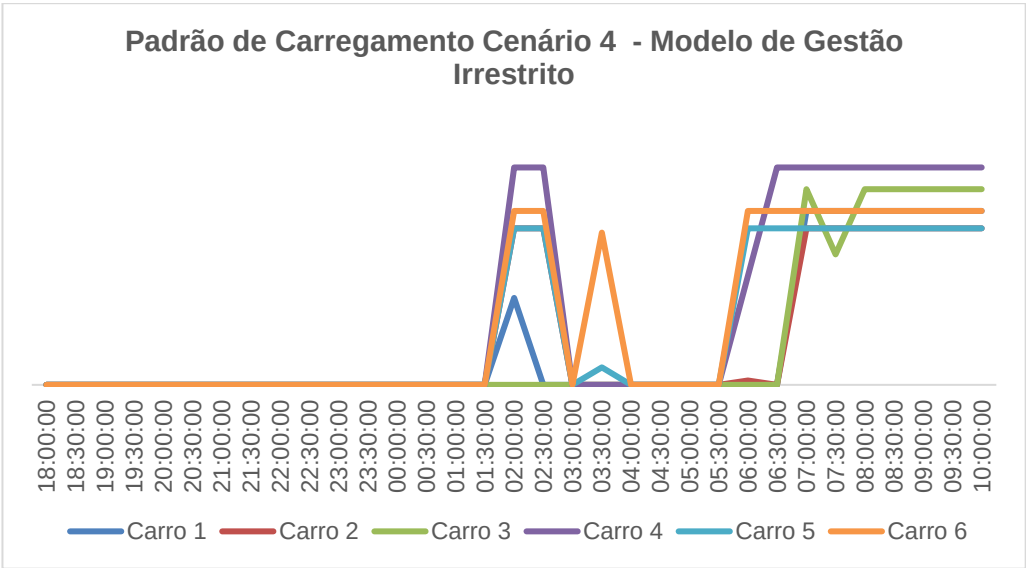
Fonte: Elaboração Própria

Figura 52 - Padrão de carregamento cenário 4 – Convencional



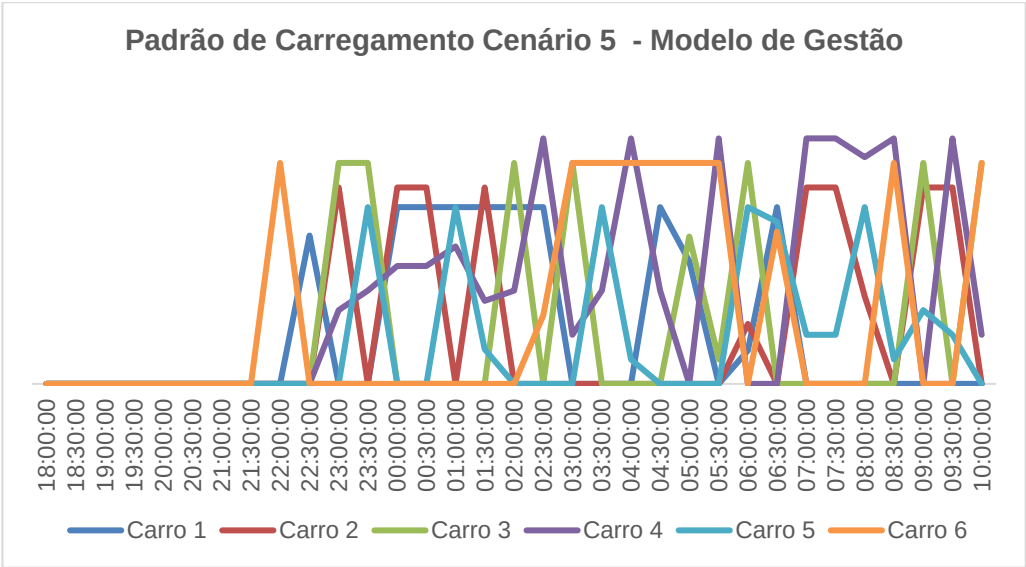
Fonte: Elaboração Própria

Figura 53 - Padrão de carregamento cenário 4 – Modelo de gestão irrestrito



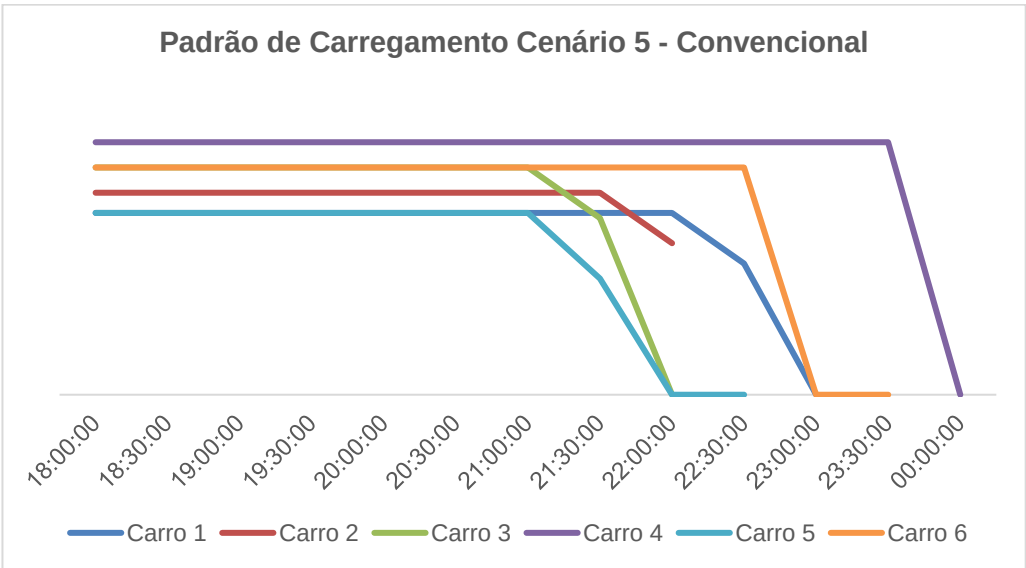
Fonte: Elaboração Própria

Figura 54 - Padrão de carregamento cenário 5 – Modelo de gestão



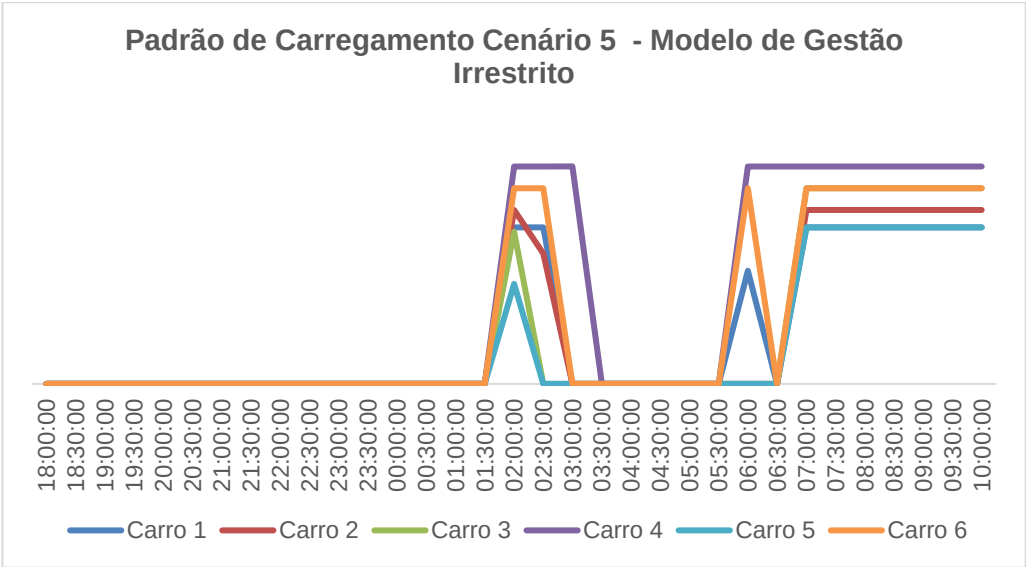
Fonte: Elaboração Própria

Figura 55 - Padrão de carregamento cenário 5 – Convencional



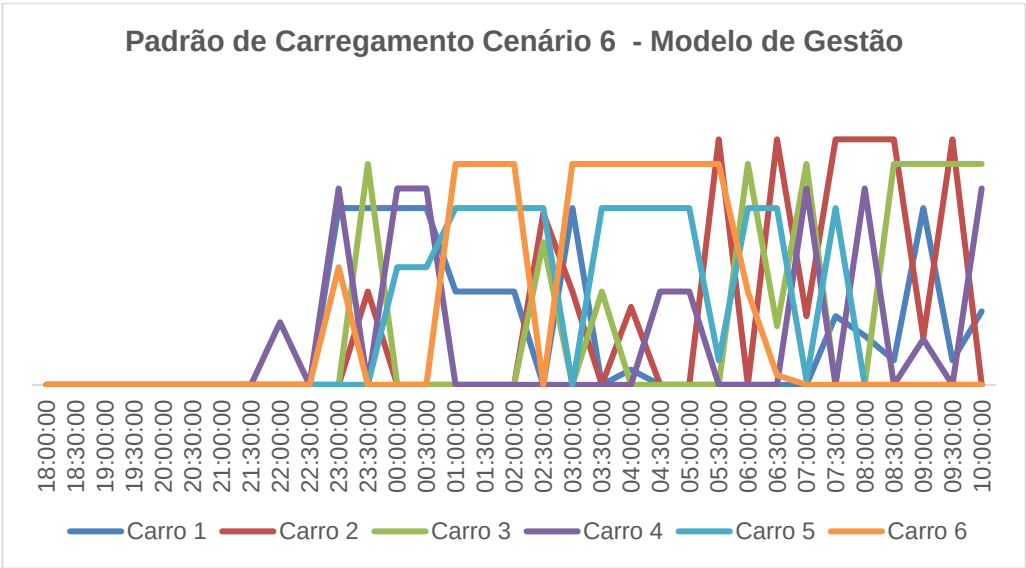
Fonte: Elaboração Própria

Figura 56 - Padrão de carregamento cenário 5 – Modelo de gestão irrestrito



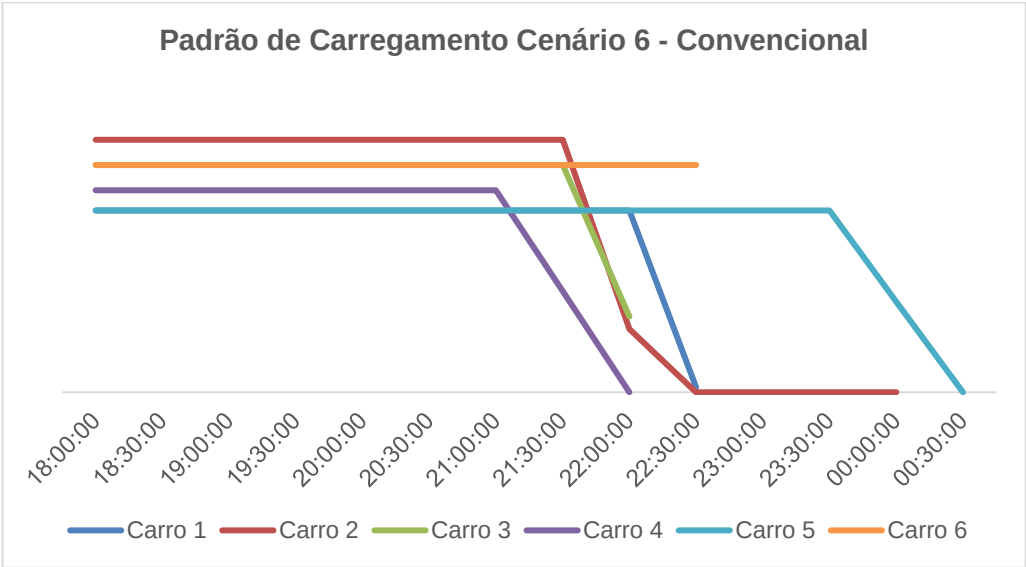
Fonte: Elaboração Própria

Figura 57 - Padrão de carregamento cenário 6 – Modelo de gestão



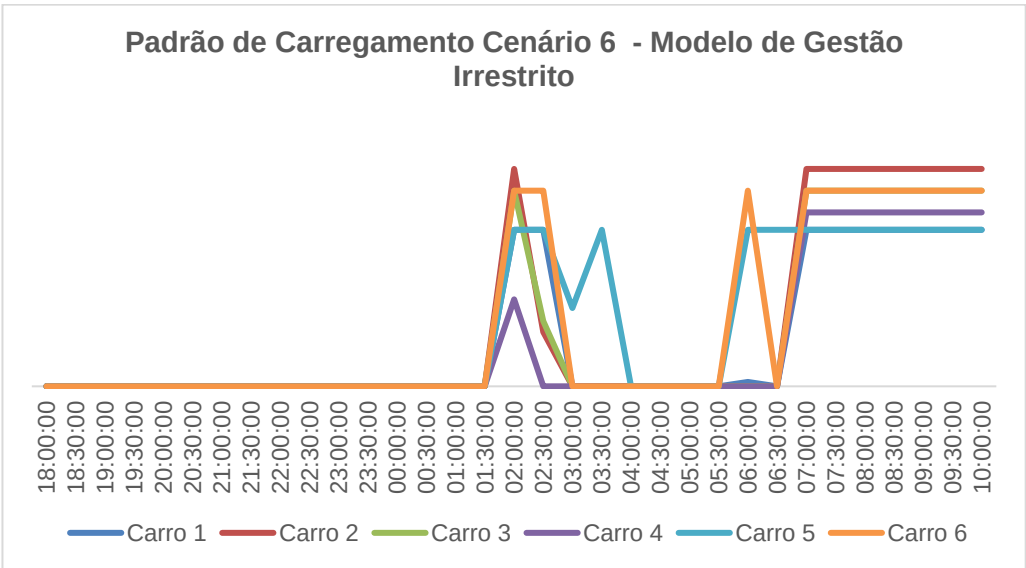
Fonte: Elaboração Própria

Figura 58 - Padrão de carregamento cenário 6 – Convencional



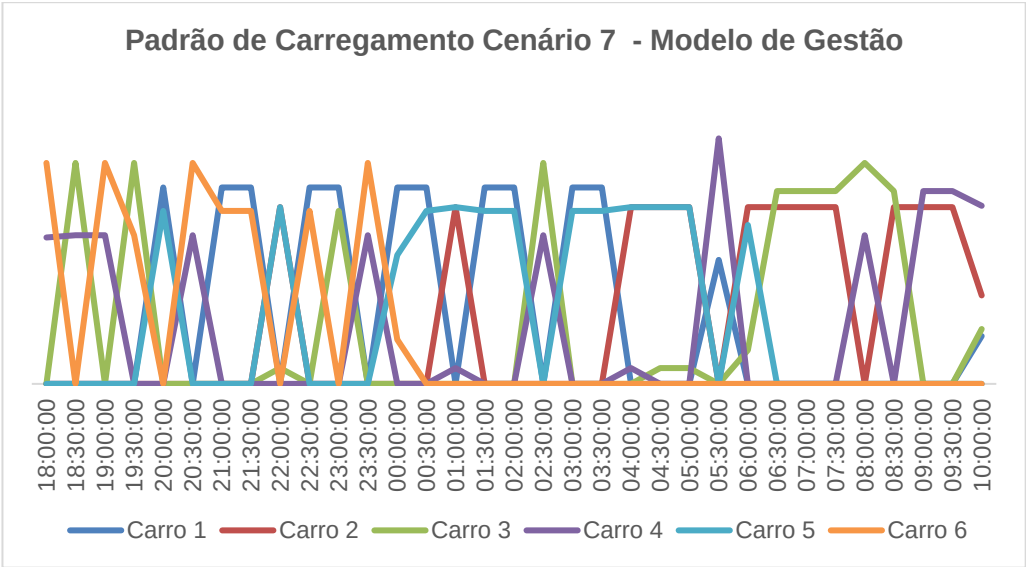
Fonte: Elaboração Própria

Figura 59 - Padrão de carregamento cenário 6 – Modelo de gestão irrestrito



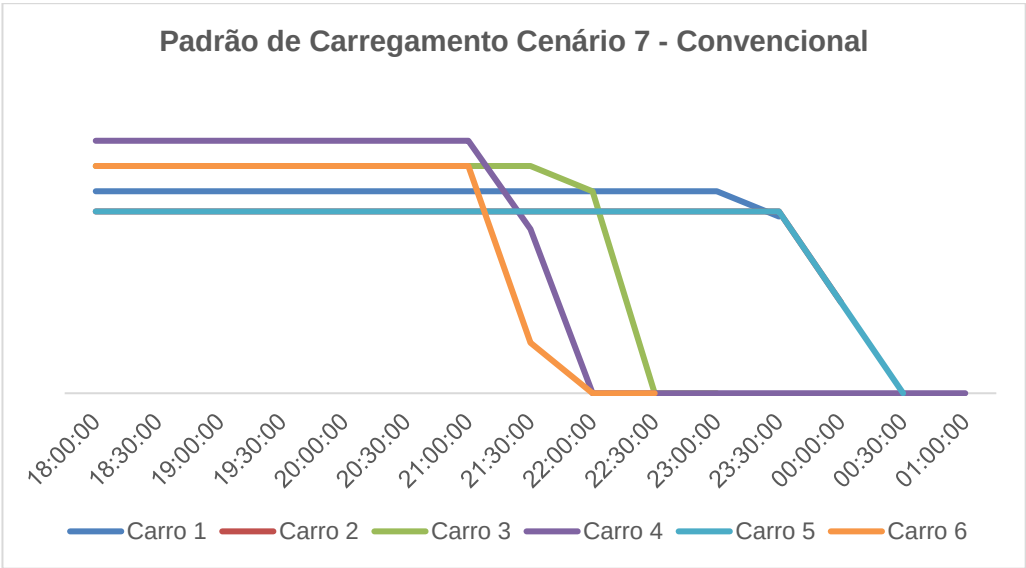
Fonte: Elaboração Própria

Figura 60 - Padrão de carregamento cenário 7 – Modelo de gestão



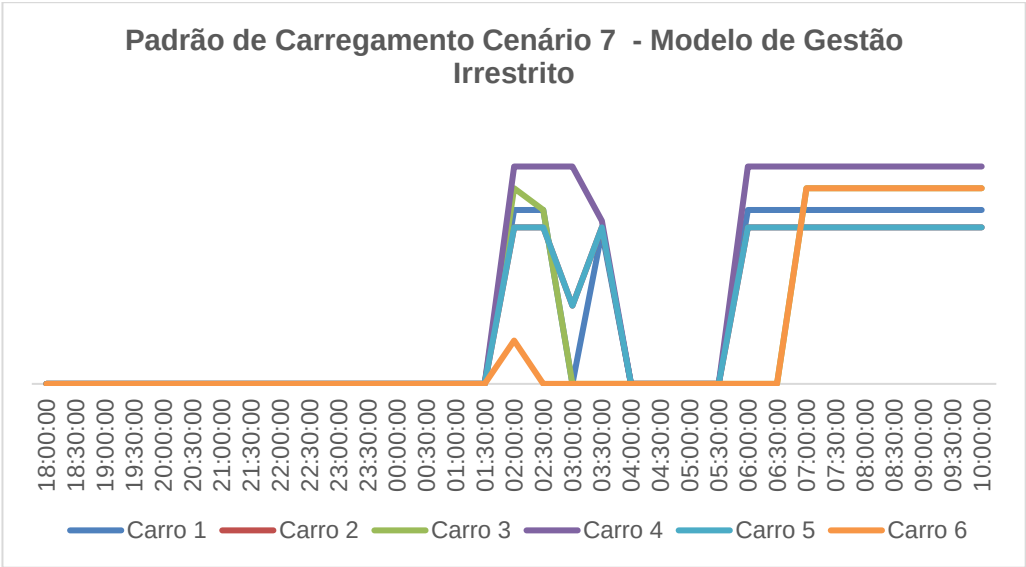
Fonte: Elaboração Própria

Figura 61 - Padrão de carregamento cenário 7 – Convencional



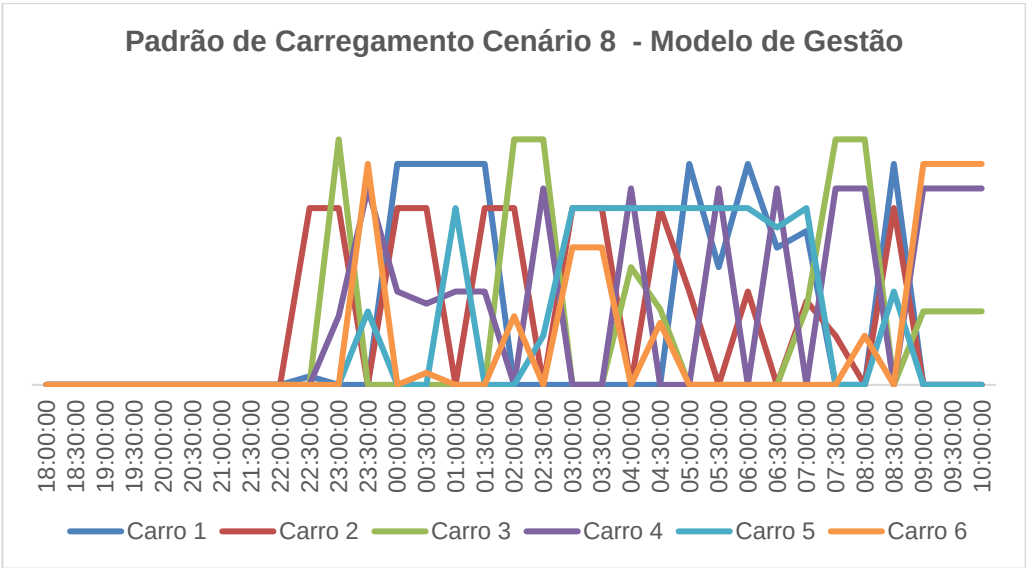
Fonte: Elaboração Própria

Figura 62 - Padrão de carregamento cenário 7 – Modelo de gestão irrestrito



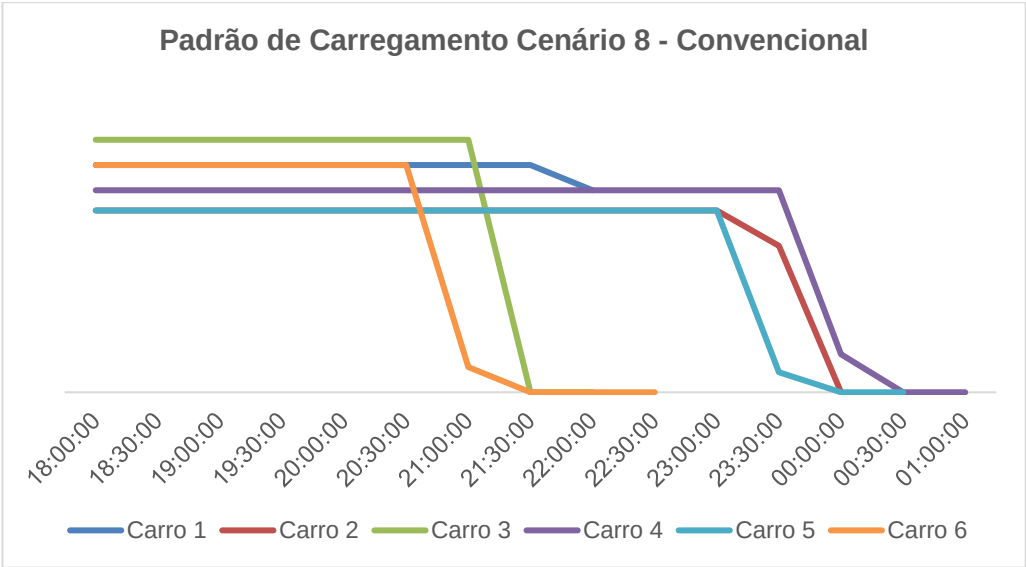
Fonte: Elaboração Própria

Figura 63 - Padrão de carregamento cenário 8 – Modelo de gestão



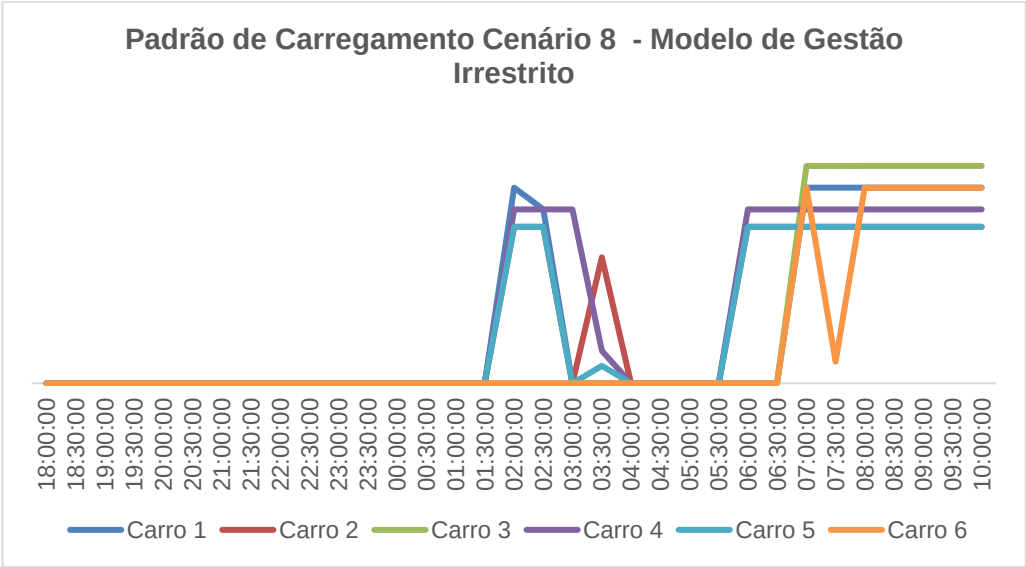
Fonte: Elaboração Própria

Figura 64 - Padrão de carregamento cenário 8 – Convencional



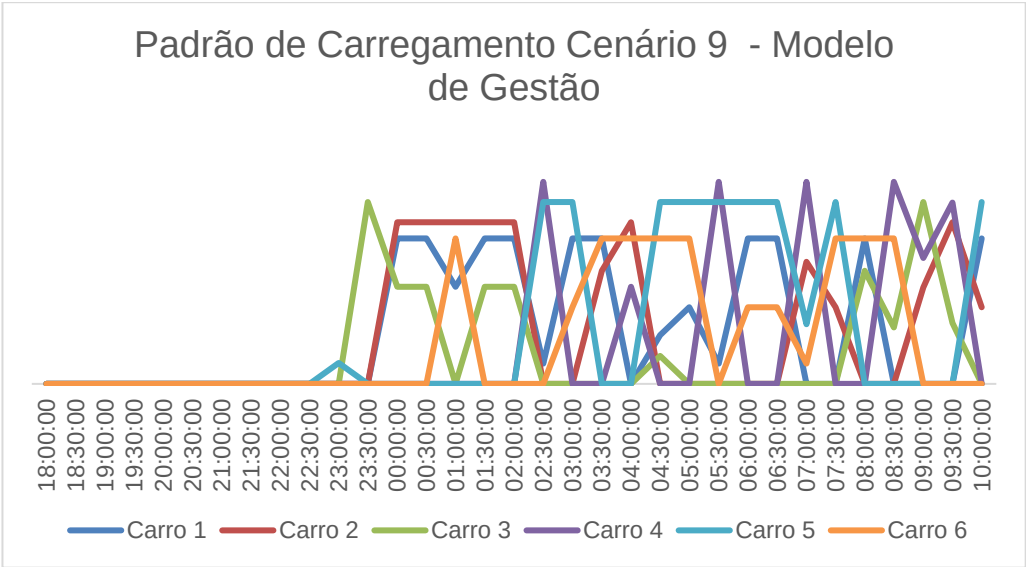
Fonte: Elaboração Própria

Figura 65 - Padrão de carregamento cenário 8 – Modelo de gestão irrestrito



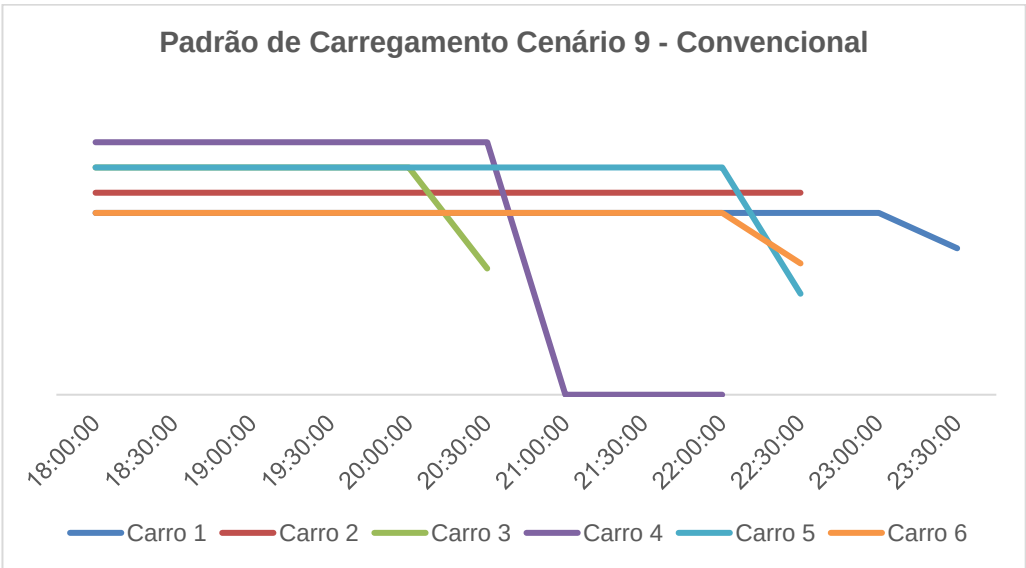
Fonte: Elaboração Própria

Figura 66 - Padrão de carregamento cenário 9 – Modelo de gestão



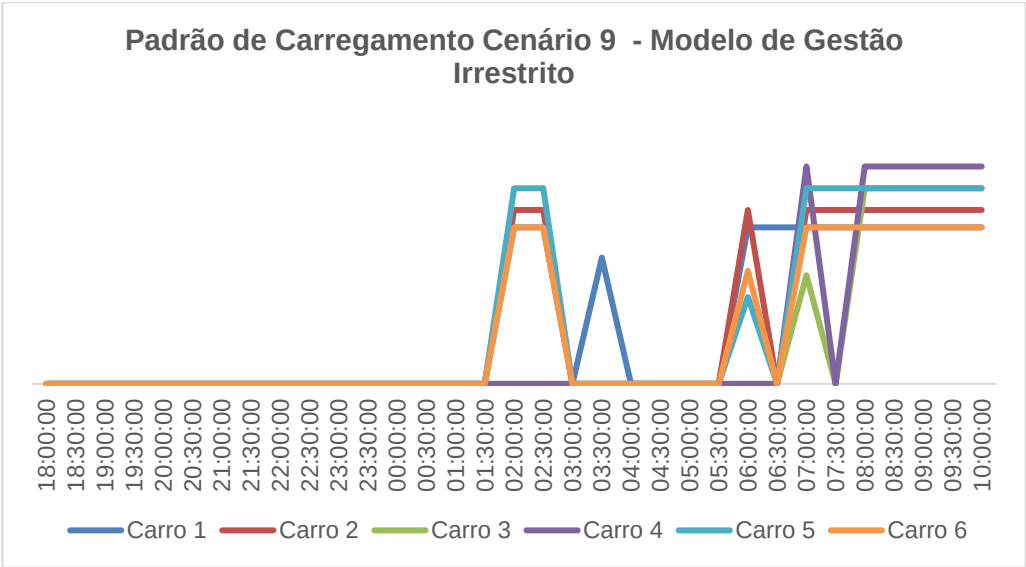
Fonte: Elaboração Própria

Figura 67 - Padrão de carregamento cenário 9 – Convencional



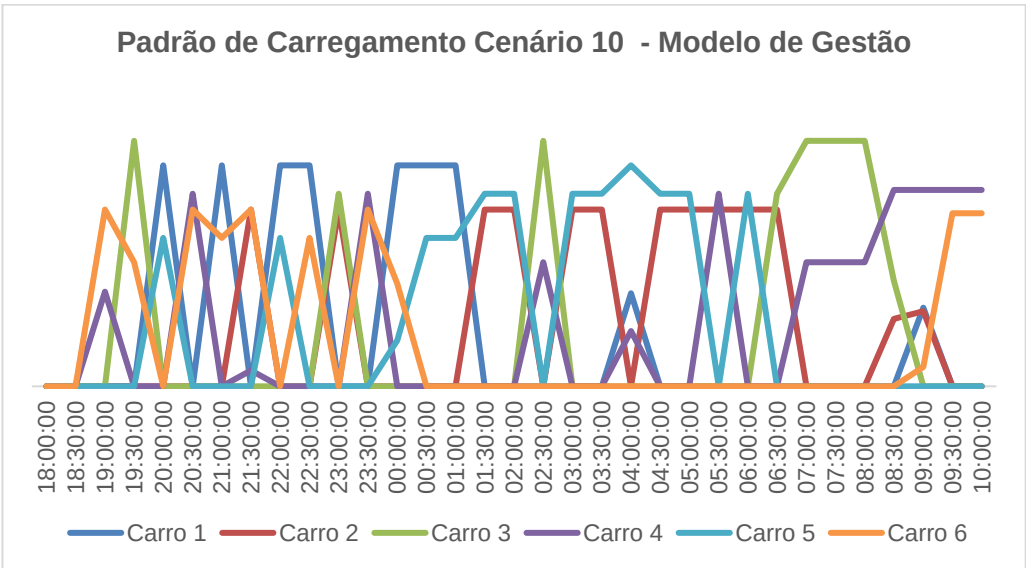
Fonte: Elaboração Própria

Figura 68 - Padrão de carregamento cenário 9 – Modelo de gestão irrestrito



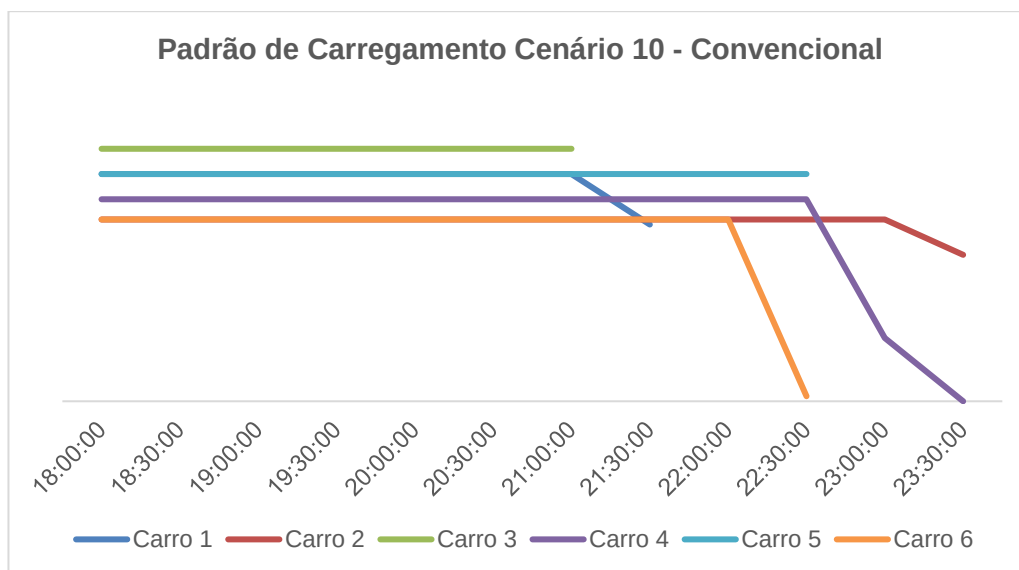
Fonte: Elaboração Própria

Figura 69 - Padrão de carregamento cenário 10 – Modelo de gestão



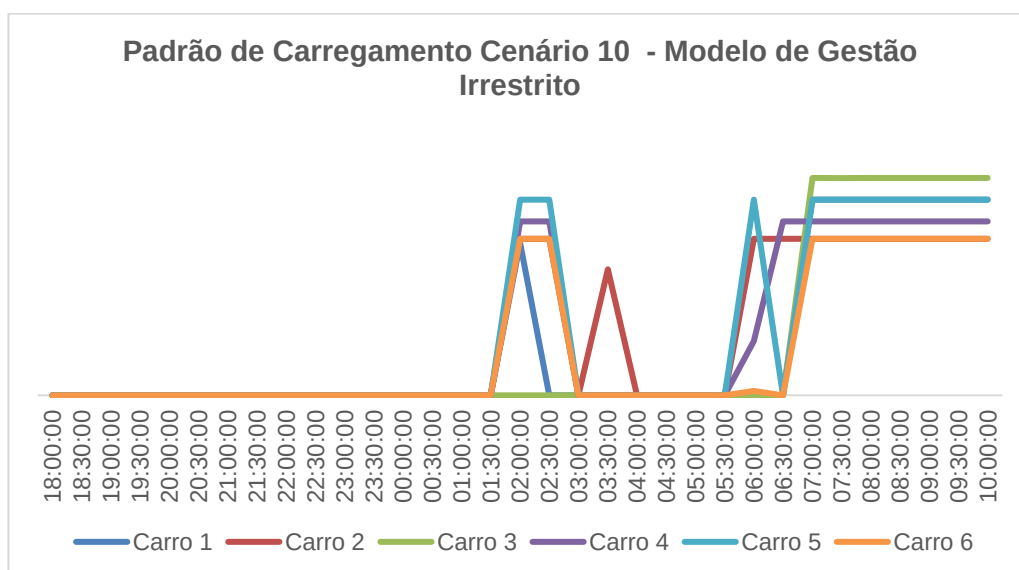
Fonte: Elaboração Própria

Figura 70 - Padrão de carregamento cenário 10 – Convencional



Fonte: Elaboração Própria

Figura 71 - Padrão de carregamento cenário 9 – Modelo de gestão irrestrito



Fonte: Elaboração Própria

Pode -se observar a partir das simulações analisadas que a hipótese base do estudo que previa que a infraestrutura do sistema elétrico brasileiro não suportaria a demanda cada vez maior de carregamento de VEs, principalmente em horários de pico foi comprovada pelo modelo, uma vez que analisando o os cenários com essa configuração pode-se observar que em nenhum deles seria possível realizar o carregamento se não fosse utilizado o modelo de gestão, já que em todos eles na

maioria dos horários de carregamento a demanda para o carregamento superava de modo significativo a carga máxima para as bitolas de 16 mm² (15,048kW) e de 25 mm² (19,998 kW), o que tornaria inviável o carregamento desses VEs, uma vez que a rede não suportaria a demanda vinda deles mais a demanda oriunda do consumo padrão que é extremamente alta nesses horários de pico.

Já utilizando o modelo de gestão essa demanda de carga não é superada em nenhum dos dez cenários, visto que ele distribui o carregamento de maneira inteligente considerando tanto a primeira condição que é não superar a carga máxima estipulada, como considerar o melhor cenário de preço para o carregamento. Além disso o que se pode analisar observando esses cenários é que em todos eles é possível realizar o carregamento, já que em todos eles o carregamento não supera em nenhum momento do carregamento a carga máxima para as bitolas de 16 mm² (15,048kW) e de 25 mm² (19,998 kW), o que tornaria viável o carregamento desses VEs, uma vez que a rede suportaria a demanda vinda deles.

A comparação entre os dois cenários (16 mm² de bitola e 25 mm²) evidencia a importância e a eficácia do modelo de gestão proposto. Com o modelo ativo, a demanda dos VEs é controlada e distribuída de forma que o limite carga máxima para as bitolas de 16 mm² (15,048kW) e de 25 mm² (19,998 kW) nunca é ultrapassado, garantindo a viabilidade do carregamento e integridade da rede elétrica. Sem o modelo, porém, os picos de demanda excedem os limites suportados pela rede, tornando o carregamento simultâneo inviável e comprometendo a estabilidade elétrica.

Uma outra análise interessante que foi simulada foi executar as simulações com o modelo de gestão ativo, porém sem a restrição de carga máxima da rede, nesse cenário se pode observar que a rede não estaria protegida, ou seja, teria danos causados nela, porém a economia observada nesse cenário é bem maior em relação aos cenários em que o modelo de gestão protege a rede.

Por fim, pode-se observar que, nas simulações com o modelo de gestão ativa restrita, a utilização de cabos com bitola de 25 mm², em comparação aos de 16 mm², oferece um desempenho superior no padrão de carregamento. Isso acontece porque o limite de carga máxima suportada pelos cabos de 25 mm² é maior (19,998 kW), permitindo que a rede sustente mais carregamentos simultâneos sem sobrecarregar o sistema. Assim o modelo consegue realizar a gestão de carregamento de maneira mais eficiente e econômica posicionando os carregamentos em horários de menor

custo e de forma mais ótima.

Portanto, a implementação do modelo de gestão não é apenas uma medida recomendável, mas essencial para garantir um carregamento eficiente e seguro dos VEs. Ele permite que a rede suporte tanto a demanda convencional quanto o aumento de consumo gerado pelos VEs, mesmo durante os horários de maior consumo. Essa abordagem é fundamental para viabilizar a adoção em larga escala de veículos elétricos, sem a necessidade de grandes investimentos imediatos na expansão da infraestrutura elétrica.

Já com relação a economia esperada com o modelo essa hipótese também foi alcançada pelo modelo, abaixo demonstraremos através das simulações realizadas os resultados do controle e utilizando o modelo de gestão proposto.

Tabela 14 - Modelo de gestão com limite de carga restrito (16 mm²)

Restrito	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Modelo de Gestão	R\$ 152,58	R\$ 169,82	R\$ 149,70	R\$ 161,19	R\$ 166,94
Convencional	R\$ 241,30	R\$ 256,55	R\$ 245,79	R\$ 249,53	R\$ 257,67
Economia (\$)	R\$ 88,73	R\$ 86,74	R\$ 96,09	R\$ 88,33	R\$ 90,73
Economia (%)	37%	34%	35%	35%	35%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 15 - Modelo de gestão com limite de carga restrito (16 mm²)

Restrito	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10
Modelo de Gestão	R\$ 159,76	R\$ 179,30	R\$ 162,63	R\$ 141,09	R\$ 159,76
Convencional	R\$ 252,88	R\$ 262,43	R\$ 249,17	R\$ 233,74	R\$ 251,76
Economia (\$)	R\$ 93,12	R\$ 83,12	R\$ 86,54	R\$ 92,66	R\$ 92,00
Economia (%)	37%	32%	35%	40%	37%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 16 - Modelo de gestão com limite de carga irrestrito (16 mm²)

Irrestrito	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Modelo de Gestão	R\$ 125,68	R\$ 134,07	R\$ 124,25	R\$ 129,87	R\$ 132,66
Convencional	R\$ 241,30	R\$ 256,55	R\$ 245,79	R\$ 249,53	R\$ 257,67
Economia (\$)	R\$ 115,62	R\$ 122,48	R\$ 121,54	R\$ 119,66	R\$ 125,01
Economia (%)	48%	48%	49%	48%	49%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 17 - Modelo de gestão com limite de carga irrestrito (16 mm²)

Irrestrito	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10
Modelo de Gestão	R\$ 129,16	R\$ 152,99	R\$ 130,57	R\$ 120,07	R\$ 129,15
Convencional	R\$ 252,88	R\$ 280,82	R\$ 249,17	R\$ 233,74	R\$ 251,76
Economia (\$)	R\$ 123,72	R\$ 127,83	R\$ 118,61	R\$ 113,68	R\$ 122,61
Economia (%)	49%	46%	48%	49%	49%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 18 - Modelo de gestão com limite de carga restrito (25 mm²)

Restrito	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Modelo de Gestão	R\$ 127,45	R\$ 138,53	R\$ 125,87	R\$ 132,59	R\$ 136,55
Convencional	R\$ 241,30	R\$ 256,55	R\$ 245,79	R\$ 249,53	R\$ 257,67
Economia (\$)	R\$ 113,86	R\$ 118,02	R\$ 119,92	R\$ 116,94	R\$ 121,12
Economia (%)	47%	46%	47%	47%	47%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 19 - Modelo de gestão com limite de carga restrito (25 mm²)

Restrito	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10
Modelo de Gestão	R\$ 131,60	R\$ 145,07	R\$ 133,58	R\$ 121,13	R\$ 131,60
Convencional	R\$ 252,88	R\$ 262,43	R\$ 249,17	R\$ 233,74	R\$ 251,76
Economia (\$)	R\$ 121,28	R\$ 117,36	R\$ 115,60	R\$ 112,61	R\$ 120,17
Economia (%)	48%	45%	46%	48%	48%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 20 - Modelo de gestão com limite de carga irrestrito (25 mm²)

Irrestrito	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Modelo de Gestão	R\$ 125,68	R\$ 134,07	R\$ 124,25	R\$ 129,87	R\$ 132,66
Convencional	R\$ 241,30	R\$ 256,55	R\$ 245,79	R\$ 249,53	R\$ 257,67
Economia (\$)	R\$ 115,62	R\$ 122,48	R\$ 121,54	R\$ 119,66	R\$ 125,01
Economia (%)	48%	48%	49%	48%	49%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 21 - Modelo de gestão com limite de carga irrestrito (25 mm²)

Irrestrito	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10
Modelo de Gestão	R\$ 129,16	R\$ 152,99	R\$ 130,57	R\$ 120,07	R\$ 129,15
Convencional	R\$ 252,88	R\$ 280,82	R\$ 249,17	R\$ 233,74	R\$ 251,76
Economia (\$)	R\$ 123,72	R\$ 127,83	R\$ 118,61	R\$ 113,68	R\$ 122,61
Economia (%)	49%	46%	48%	49%	49%

Fonte: Elaboração Própria

Pode – se observar de maneira clara analisando as simulações acima que o modelo de gestão restrito proporciona uma economia em média de 35,7% o que é uma economia significativa para o que o modelo se propõe a analisar, além disso ele proporciona a proteção da rede, ou seja ele garante que a carga máxima da rede não seja superada e portanto que a rede não seja danificada pela demanda adicional do carregamento.

Além disso algo muito interessante a ser analisado é que para o mesmo cenário porém com a bitola de 25 mm² a economia fica significativamente maior, sendo ela em média 46,9%. Isso ocorre pois a bitola de 25 mm² proporciona uma maior carga máxima da rede o que permite o modo carregar mais carros simultaneamente e em

horários mais adequados.

Por fim, observamos que nas simulações utilizando a bitola de 16 mm², a comparação entre o modelo de gestão restrito (com 35,7% de economia) e o modelo irrestrito (com 48,4% de economia) revela uma diferença de 12,7 pontos percentuais, o que é bastante significativo. No entanto, essa economia ocorre à custa da proteção do fio.

Em contrapartida, nas simulações com a bitola de 25 mm², a comparação entre os dois modos de carregamento apresenta uma diferença percentual de economia de apenas 1,5%. Essa variação é menos expressiva e em relação aos benefícios proporcionados pela proteção do fio pode ser inclusive desconsiderada. Desse modo pode -se observar que utilizando uma bitola de maior diâmetro pode se alcançar uma economia maior ainda sem abdicar da proteção da rede para isso.

5 Conclusões

O trabalho desenvolvido por fim, apresentou uma abordagem estratégica para a gestão do carregamento de veículos elétricos (VEs), entendendo de modo exaustivo o seu histórico, contexto global, nacional e quais são as principais tendências para o futuro, avaliando diversos cenários de carregamento e de otimização financeira.

Por meio das simulações considerando diversos cenários de carregamento diferentes, foi possível destacar como fazendo a utilização do modelo pode-se garantir que se tenha a proteção da rede elétrica e uma economia de em média 48,4% no melhor cenário, que é o cenário considerando a bitola de 25 mm²

Viu-se também que é possível aumentando a bitola do fio e consequentemente a carga máxima da rede atingir uma economia bem próxima do máximo que se poderia atingir, se não fosse considerada a proteção do fio e o carregamento como um todo fosse posicionado nos horários mais ótimos.

Por fim olhando para o histórico de vendas e crescimento desse tipo de veículo no mundo e no Brasil percebe-se que esse é um problema eminente e que a solução proposta por esse trabalho é mais que recomendada mas essencial para tornar esse tipo de mobilidade no Brasil possível, acarretando em um menor custo com infraestrutura, dispersão da curva energética, principalmente nos picos, proteção da rede elétrica do país e propondo uma economia significativa tanto para empresas quanto para o consumidor comum.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IEA (2024), Global EV Outlook 2024 , IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>, Licença: CC BY 4.0

BERMÚDEZ -RODRÍGUEZ, Tatiana; CONSONI, Flavia Luciane. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 19, p. e0200014, 2020. DOI: 10.20396/rbi.v19i0.8658394. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658394>. Acesso em: 20 out. 2024.

BATISTA, Danilo da Silva. Et al. Veículos elétricos e híbridos: Estudo da eficiência energética- perspectiva no cenário nacional. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 10, Vol. 10, pp. 91-120. Outubro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenhariaeetrica/veiculos-eletricos>

AZEVEDO, Marcelo Henrique de. Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro. 2018. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

ANEEL, 2012, Resolução Normativa N° 502, de 7 de agosto de 2012, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF.

AOKI, A. R. Overview and Future Challenges on the Connection of Electric Vehicles into Modern Distribution Power Systems. **Scielo**, 19 Novembro 2021.

AZEVEDO, M. H. D. Biblioteca Digital de TCCs. **Monografias Ufop**, 2018. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/1579>. Acesso em: 14 Agosto 2024.

BARAN, R. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. **BNDES**, 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1489>. Acesso em: 20 Setembro 2024.

BARAN, R. **A INTRODUÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CONSUMO DE GASOLINA E ELETRICIDADE.** UFRJ. Rio de Janeiro. 2012.

BATISTA, D. D. S. VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS: ESTUDO DA EFICIÊNCIA. **Núcleo do Conhecimento.**

CASTRO, N. D. A Interação dinâmica entre Veículos Elétricos e. **Gesel**, 2020. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/41_castro_2020_06_26.pdf. Acesso em: 26 Setembro 2024.

ELETRICUS. Carros elétricos e a regulação governamental no Brasil. **Eletricus**, 2022. Disponível em: <https://eletricus.com/carros-eletricos-e-a-regulamentacao-governamental/>. Acesso em: 20 Outubro 2024.

FANTONI, R. Mckinsey&Company. **Mckinsey&Company**, 2023. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/our-insights/all-insights/o-futuro-da-mobilidade-no-brasil>. Acesso em: 19 Setembro 2024.

FAVERI, F. D. Certi Insights. **Regulação da mobilidade elétrica:** quais os avanços e desafios, 2021. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/regulacao-da-mobilidade-eletrica/>. Acesso em: 17 Outubro 2024.

FILHO, P. S. M. UM ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DOS CARROS ELÉTRICOS. **Inesul**, 2019. Disponível em: https://www.inesul.edu.br/revista/arquivos/arq-idvol_70_1600711299.pdf. Acesso em: 18 Setembro 2024.

GOV. Estações de Recarga de Veículos Elétricos. **GOV**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/veiculos-eletricos>. Acesso em: 24 Agosto 2024.

RAJPER, S. Z. Prospects of Electric Vehicles in the Developing Countries: A Literature Review. **MPDI**, 29 Janeiro 2020.

RODRÍGUEZ, T. B. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, 03 Agosto 2020.

SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. **Scielo Brasil**, 23 Junho 2020.

SOARES, R. A. **Seven editora acadêmica**, 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/3566/6414>. Acesso em: 12 agosto 2024.

SOUZA, C. C. R. D. O Mercado de carros elétricos no Brasil: análise de entraves e sugestões para expansão. **Revista de Administração Mackenzie**, 2021. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/pcg/article/view/14150>. Acesso em: 22 Agosto 2024.

UDAETA, M. E. M. Electric Vehicles Analysis inside Electric Mobility Looking for Energy Efficient and Sustainable Metropolis. **Scientific Research an Academic Publisher**, São Paulo, Março 2015.