

Jorge Kawamura

**Aplicação de um Sistema Fuzzy para Diagnóstico de Câncer
do Esôfago**

Mestrado

UNICAMP - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Campinas, SP

2007

Jorge Kawamura

**Aplicação de um sistemas fuzzy para diagnóstico de câncer
do esôfago**

Dissertação de mestrado apresentada à UNICAMP -
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como
parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia elétrica. Área de concentração:
Telecomunicação e Telemática.

Aprovação em 09/11/2007

Orientador: Prof. Dr. Akebo Yamakami

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ramiro Colleoni Neto

Prof. Dr. Edson Bim

Campinas, SP
2007.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

K179a Kawamura, Jorge
Aplicação de um sistema fuzzy para diagnóstico de câncer do esôfago / Jorge Kawamura. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Akebo Yamakami
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Lógica difusa. 2. Conjuntos difusos. 3. Esôfago – doenças. 4. Câncer. I. Yamakami, Akebo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Fuzzy system application for esophagus cancer diagnosis.

Palavras-chave em Inglês: Fuzzy logic, Fuzzy set, Esophagus cancer, Mamdani's model, Sugeno's model, Diagnosis.

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Ramiro Colleoni Neto e Edson Bim.

Data da defesa: 09/11/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Jorge Kawamura

Data da Defesa: 9 de novembro de 2007

Título da Tese: "Aplicação de um Sistema Fuzzy para Diagnóstico de Câncer do Esôfago"

Prof. Dr. Akebo Yamakami (Presidente):



Prof. Dr. Ramiro Colleoni Neto:

Prof. Dr. Edson Bim:



Resumo

Este trabalho tem como objetivo a utilização de métodos de inteligência artificial para diagnosticar câncer do esôfago. Este estudo concentrou-se na utilização dos conceitos de sistemas fuzzy.

O emprego de sistemas fuzzy ou sistemas difusos para a área de saúde foi motivado pela deficiência de sistemas inteligentes nesta área e pela simplicidade na sua utilização.

O sistema fuzzy apresenta características como a existência de uma região duvidosa (ou região vaga) na análise das informações e seu método de interpretação é mais próximo à linguagem do ser humano.

Os modelos de inferência utilizados foram o método de Mamdani e o método Sugeno. São analisadas as vantagens e desvantagens de cada método.

A partir das características do câncer do esôfago e dos conceitos de sistemas fuzzy foi desenvolvido um sistema para diagnóstico de câncer do esôfago.

Palavras chaves: Lógica fuzzy, Conjunto fuzzy, Câncer do esôfago, Modelo de Mamdani, Modelo de Sugeno, Diagnóstico.

Abstract

The aim of this work is to use the artificial intelligent methods to diagnose esophagus cancer. The artificial intelligence theme has many areas, so this study concentrated in fuzzy system concepts.

The lack of intelligent system in health's area motivated this study and fuzzy theory was chosen by its simplicity.

This type of system has characteristics like existence of a doubt region in the information analysis and its interpretation's methods is closer to human language.

The inference models used are Mamdani and Sugeno models. The advantages and disadvantages are checked too.

From esophagus cancer characteristics and fuzzy system concepts, a system to diagnose esophagus cancer was built.

Keywords: Fuzzy logic, Fuzzy set, Esophagus cancer, Mamdani's model, Sugeno's model, Diagnosis.

Agradecimentos

Agradeço principalmente ao meu orientador Professor Dr. Akebo Yamakami pela paciência, ajuda e orientação nessa dissertação.

Ao Professor Dr. Ramiro Colleoni Neto pela ajuda em relação às informações técnicas sobre o câncer do esôfago e outros dados referentes a doenças de esôfago.

Aos professores da Escola de Engenharia Mauá e aos meus amigos que me incentivaram, acompanharam e auxiliaram no desenvolvimento dessa dissertação.

Sumário

Resumo	iv
Abstract.....	v
Agradecimentos	vi
Sumário.....	vii
Sumário.....	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xi
Glossário.....	xiii
Trabalho publicado pelo autor.....	xiv
1 Introdução.....	1
2 Sistema Fuzzy.....	4
2.1 Introdução.....	4
2.2 Conjunto Fuzzy	4
2.2.1 Conjunto crisp	4
2.2.2 Conjuntos fuzzy.....	7
2.3 Lógica Fuzzy	11
2.3.1 Modelo lingüístico.....	12
2.3.2 Operações aritméticas com lógica fuzzy	14
2.3.3 Conectivos lógicos para lógica fuzzy	15
2.3.4 Conversões – Fuzzyficação e Defuzzyficação	17
2.3.5 Modelo de Inferência.....	21
2.3.6 Modelo de Mamdani.....	22
2.3.7 Modelo de Sugeno	23
2.4 Determinação do sistema.....	24
3 Câncer.....	34
3.1 Definição	34
3.1.1 Processo de formação.....	35
3.1.2 Defesa do organismo	37
3.1.3 Causas do câncer	37
3.2 Câncer do esôfago	38
3.2.1 Anatomia	38
3.2.2 Características.....	39
3.2.3 Fatores de risco e pré-condições.....	40
3.2.4 Quadro clínico	42
3.2.5 Diagnóstico.....	42
3.2.6 Classificação.....	44
3.2.7 Tratamento.....	45
4 Sistema de diagnóstico	47
4.1 Objetivo	47
4.2 Aquisição de informações	47
4.3 Modelagem do sistema.....	55
4.3.1 Implementação do modelo de Mamdani	66
4.3.2 Implementação do modelo de Sugeno.....	80
4.4 Testes	85

4.4.1	Teste número 1	90
4.4.2	Teste número 2	95
4.4.3	Teste número 3	99
4.4.4	Teste número 4	100
4.4.5	Comparativo	100
5	Conclusões.....	103
6	Referencias bibliográficas	106
7	Apêndices	109
7.1	Tabelas de teste.....	109
7.2	Tabela comparativa.....	131

Lista de figuras

Figura 1 – Representação do conjunto Crisp, onde o elemento p está fora do conjunto A .	5
Figura 2 – Representação do conjunto Crisp, onde o elemento p está dentro do conjunto A .	5
Figura 3 – Exemplo de representação do conjunto Crisp.	6
Figura 4 – Conjunto fuzzy, onde o elemento p está fora do conjunto A .	8
Figura 5 – Conjunto fuzzy, onde o elemento p está dentro do conjunto A .	8
Figura 6 – Conjunto fuzzy, onde o elemento p está na região de transição do conjunto A .	9
Figura 7 – Exemplo de representação do conjunto fuzzy com respectiva modelagem.	10
Figura 8 – Exemplo de variável lingüística com respectivo termo lingüístico e universo de discurso.	13
Figura 9 – Exemplo de variável lingüística com respectivos termos lingüísticos e universo de discurso.	14
Figura 10 - Exemplo com conector E para valores binários e multivalorados.	15
Figura 11 – Exemplo com conector OU para valores binários e multivalorados.	16
Figura 12 – Exemplo com conector NOT para valores binários e multivalorados.	16
Figura 13 – Exemplo de determinação do grau de pertinência para a velocidade de 42 km/h.	18
Figura 14 – Modelo de inferência.	22
Figura 15 – Definição da primeira regra de entrada (Velocidade).	25
Figura 16 – Definição da segunda regra de entrada (Pneu).	25
Figura 17 – Definição da regra de saída (Consumo).	26
Figura 18 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada igual a 39 km/h.	26
Figura 19 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada igual a 1 mm de desgaste.	27
Figura 20 – Definição dos novos limites da variável de saída (Consumo).	31
Figura 21 – Saída do sistema de acordo com os valores de entrada.	31
Figura 22 – Fase de evolução do câncer desde a ação do agente cancerígeno até a metástase.	35
Figura 23 – Localização do esôfago no corpo humano.	38
Figura 24 – Principais fases de um sistema fuzzy.	48
Figura 25 – Conjunto fuzzy relacionado à variável Cigarro.	50
Figura 26 - Conjunto fuzzy relacionado à variável álcool.	50
Figura 27 - Conjunto fuzzy relacionado à variável Idade.	51
Figura 28 - Conjunto fuzzy relacionado à variável doença de Barrett.	51
Figura 29 – Diagrama comparativo das planilhas criadas no Excel, com suas respectivas tarefas e as etapas de um sistema fuzzy.	56
Figura 30 - Planilha Interface.	57
Figura 31 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 65 anos.	59
Figura 32 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 5 cigarro/dia.	59
Figura 33 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 20 ml/dia.	60
Figura 34 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 0,7cm.	60
Figura 35 – Fluxograma da função Trapézio.	62
Figura 36 - Utilização da função Trapezio com seus respectivos parâmetros.	64
Figura 37 - Conjunto fuzzy relacionado à variável de saída.	67
Figura 38 - Fluxograma representando o modelo de inferência de Mamdani.	70

Figura 39 – Nesta figura estão representadas os graus de pertinência dos valores de entrada mapeados na base de dados, o valor mínimo encontrado em cada regra e o valor máximo de cada termo da variável de saída.	73
Figura 40 – Sub-rotina para encontrar o valor máximo de cada termo da variável Resultado.	75
Figura 41 – Fluxograma InvTrapezioDescida.	77
Figura 42 – Fluxograma InvTrapezioSubida.	78
Figura 43 – Variável lingüística Resultado e termos redesenhados a partir de seus valores máximos encontrados.	78
Figura 44 – Esta figura representa o processo de união dos termos e o cálculo de centro de massa (defuzzyficação).	79
Figura 45 – Resultado da aplicação dos operadores lógica fuzzy nos termos da variável Resultado.	79
Figura 46 – Modelo de Inferência de Sugeno.	80
Figura 47 – Processo de cálculo do modelo de Sugeno (defuzzyficação).	84
Figura 48 – Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Idade.	86
Figura 49 - Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Cigarro.	87
Figura 50 - Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Álcool.	88
Figura 51 - Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Barrett.	89
Figura 52 – Variável Resultados com os termos unificados (Teste 1).	94
Figura 53 – Variável Resultados com os termos unificados (Teste 2).	98
Figura 54 - Regiões fuzzy.	101
Figura 55 – Variável Resultado com os termos unificados (Teste 3).	119
Figura 56 – Variável Idade com os termos unificados (Teste 4).	126

Lista de tabelas

Tabela 1 – Base de conhecimento para o modelo de Mamdani.	28
Tabela 2 – Legenda para a base de conhecimento.....	28
Tabela 3 – Valores mínimos.....	29
Tabela 4 – Valores mínimos para o termo Alto da variável Consumo.....	30
Tabela 5 – Valores mínimos para o termo Média da variável Consumo.	30
Tabela 6 – Valores mínimos para o termo Baixo da variável Consumo.	30
Tabela 7 – Valores máximos encontrados na variável de saída.	30
Tabela 8 – Base de conhecimento.	32
Tabela 9 – Valores mínimos para cada regra.	32
Tabela 10 – Sistema de estadiamento TNM (Tumor-Node-Metastasis).	44
Tabela 11 – Legenda para tamanho do tumor.	45
Tabela 12 – Legenda para linfonodo.	45
Tabela 13 – Legenda para metástase.	45
Tabela 14 – Base de conhecimento.	53
Tabela 15 – Legenda.....	53
Tabela 16 - Intervalos dos termos de cada variável utilizada no sistema.....	58
Tabela 17 – Grau de pertinência para cada termo.	61
Tabela 18 – Graus de pertinência e o valor mínimo encontrado para cada regra.....	64
Tabela 19 – Partição do universo de discurso das variáveis de entrada e saída.	67
Tabela 20 - Formação das regras de saída (conseqüente) por meio da variável Resultado.	68
Tabela 21 – Valores mínimos para o termo Baixo risco da variável lingüística Resultado.	70
Tabela 22 – Valores mínimos para o termo Médio risco da variável lingüística Resultado.	71
Tabela 23 – Valores mínimos para o termo Alto risco da variável lingüística Resultado.	71
Tabela 24 – Base de conhecimento com atribuição de pesos (conseqüentes).....	81
Tabela 25 – Valores mínimos relacionados com o peso de cada regra.	82
Tabela 26 - Valores de entrada adotados.....	85
Tabela 27 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Idade.....	86
Tabela 28 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Cigarro.....	87
Tabela 29 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Álcool.....	88
Tabela 30 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Barrett.....	89
Tabela 31 – Graus de pertinência encontrados para as variáveis de entrada – Teste 1.	90
Tabela 32 – Os graus de pertinência associados na base de conhecimento, valores mínimos encontrados e classificação de regras para os modelos de Mamdani e Sugeno (Teste 1).	90
Tabela 33 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 1).....	92
Tabela 34 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 1).....	92
Tabela 35 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 1).....	93
Tabela 36 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 1).....	93
Tabela 37 - Graus de pertinência para as variáveis de entrada. – Teste 2.	96
Tabela 38 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 2).....	96

Tabela 39 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 2).....	96
Tabela 40 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 2).....	97
Tabela 41 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 2).....	97
Tabela 42 - Valores lingüísticos diferentes entre os modelos utilizados.....	100
Tabela 43 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa. (Teste 1).	109
Tabela 44 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 1).....	111
Tabela 45 – Os graus de pertinência associados na base de conhecimento, valores mínimos encontrados e classificação de regras para os modelos de Mamdani e Sugeno (Teste 2)...	112
Tabela 46 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa (Teste 2).	114
Tabela 47 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 2).....	116
Tabela 48 – Graus de pertinência encontrados para as variáveis de entrada – Teste 3.....	117
Tabela 49 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 3).....	118
Tabela 50 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 3).....	118
Tabela 51 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 3).....	118
Tabela 52 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 3).....	119
Tabela 53 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa (Teste 3).	120
Tabela 54 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 3).....	122
Tabela 55 – Graus de pertinência encontrados para as variáveis de entrada – Teste 4.....	124
Tabela 56 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 4).....	124
Tabela 57 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 4).....	125
Tabela 58 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 4).....	125
Tabela 59 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 4).....	126
Tabela 60 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa (Teste 4).	126
Tabela 61 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 4).....	129
Tabela 62 – Comparativo de resultados dos dois modelos de inferência.	131

Glossário

DREG – Doença de Refluxo Esofágico

EIE – Esfíncter Inferior do Esôfago

TC – Tomografia Computadorizada

TNM – Tumor-Nódulo linfático-Metástase

INCA – Instituto do Câncer

OMS – Organização Mundial de Saúde

VBA – Visual Basic for Application

Trabalho publicado pelo autor

J. Kawamura, A. Yamakami. *Utilizando sistemas fuzzy para diagnóstico de câncer de esôfago*. Environmental and Health World Congress. Julho 2006. SP.

1 Introdução

Nos dias de hoje devido, ao desenvolvimento da tecnologia, principalmente na área da computação, muitos problemas considerados complexos tem sido solucionados computacionalmente e, adicionalmente, em alguns casos têm-se gerado conhecimentos novos. No entanto essas soluções e descobertas representam parte da resposta dos problemas existentes pois diversas áreas ainda necessitam de soluções computacionais básicas para aumentar a produtividade, eficiência e qualidade de suas atividades. Um aumento de produtividade, eficiência e qualidade poderiam ser de grande utilidade na área da saúde, já que existe uma carência de sistemas para auxílio na triagem e pré-diagnóstico dos pacientes.

Este pré-diagnóstico poderia ser realizado rapidamente pelos computadores atuais devido ao seu poder de processamento, onde os dados podem ser cruzados e, dessa maneira, produzir o referido pré-diagnóstico. Isso exige uma base confiável de dados, na qual constam dados do paciente e também de outros profissionais. Cabe ressaltar que para o cruzamento correto dessas informações e o aumento de desempenho do sistema é necessário o envolvimento de outras áreas de estudo como a de inteligência artificial ou subáreas como sistemas fuzzy, árvores de decisão, redes neurais, algoritmos genéticos, algoritmos de Bayes, clusterização de k-means e outros.

O objetivo desta dissertação é estudar e implementar um sistema de diagnóstico de câncer do esôfago baseado na teoria fuzzy.

Para facilitar o entendimento, a dissertação está dividida da seguinte maneira:

- Neste capítulo 1 é apresentada uma introdução ao trabalho, fornecendo uma visão geral de cada tópico abordado nesta dissertação.
- Os conceitos abordados no capítulo 2 são o conjunto fuzzy, a lógica fuzzy, o modelo de inferência de Mamdani e o modelo de inferência de Sugeno. Neste capítulo é apresentado também um exemplo de aplicação de sistemas fuzzy, onde é visto como a partir das entradas de dados (após definição das variáveis lingüísticas, dos respectivos termos lingüísticos das

variáveis e das funções de pertinência), são encontrados os graus de pertinência de cada termo e como são aplicados os operadores fuzzy em conjunto com as variáveis lingüísticas. Ou seja, são verificados os processos de implicação do precedente para o conseqüente e a agregação dos conseqüentes por meio de regras (inferência das informações de entrada a partir da base de conhecimento). Finalmente, é realizado a defuzzyficação do conseqüente agregado.

- O capítulo 3 abrange o estudo do câncer. Neste capítulo é apresentado o processo de desenvolvimento típico do câncer, para depois caracterizar o câncer de esôfago.
- O capítulo 4 apresenta a modelagem e implementação do sistema de diagnóstico incluindo a análise de requisitos, estruturação e implementação do *software*. A representação do sistema, dos seus respectivos cálculos e das funcionalidades são feitas por meio de fluxogramas e tabelas. O desenvolvimento do modelo é composto de três fases listadas a seguir:
 - Fase 1: consiste no estudo das variáveis de entrada que serão utilizadas no sistema. É feita uma análise das variáveis de maior relevância dentro do contexto de câncer do esôfago, onde para cada variável de entrada adotada, ou melhor, para cada variável lingüística adotada são vistos os respectivos termos lingüísticos e respectivas funções de pertinência.
 - Fase 2: consiste no processo de inferência, isto é, o agrupamento das informações (tanto para formação da base de conhecimento quanto na aplicação de operadores fuzzy) e a utilização dos modelos de inferência (modelo de inferência de Mamdani e modelo de inferência de Sugeno) para as variáveis lingüísticas de entrada definidas.
 - Fase 3: consiste na interpretação do resultado gerado pelo modelo de inferência.

Para a implementação foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel. Os principais motivos que levaram à escolha dessa ferramenta são a fácil manipulação de dados, fácil integração dos banco de dados, fácil visualização do processo, fácil verificação de erros e por ser encontrado e/ou utilizado em empresas e domicílios. Ao final deste capítulo são realizados testes com o sistema, apresentando as diversas tabelas que compõem o sistema, os gráficos

relacionados aos resultados, os resultados referentes aos modelos de inferência de Mamdani e de Sugeno, as interpretações dos resultados e um comparativo entre os modelos mostrando as suas características.

- No capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho, outras aplicações que poderão ser implementados utilizando sistema fuzzy e algumas propostas de melhorias para o sistema de diagnóstico de câncer do esôfago.

2 Sistema Fuzzy

2.1 Introdução

O conceito de conjunto fuzzy foi introduzido em 1965 por Lotfi A. Zadeh [1]. Muitas vezes, problemas de natureza industrial, biológica, química, etc, contém incertezas inerentes aos processos.

Pelo fato das informações serem tratadas de maneira imprecisa ou vaga, a lógica fuzzy tem atraído cada vez mais atenção de vários setores relacionados à pesquisa. Com isso um número cada vez maior de aplicações comerciais têm sido desenvolvidos com esta lógica, por exemplo, no controle de qualidade da água, em sistemas controladores com lógica fuzzy, em componentes de memória fuzzy, em sistemas de mineração de dados, etc.

Neste capítulo são abordados conceitos como a teoria clássica de conjunto, o conjunto fuzzy, a lógica fuzzy e os modelos de inferência.

2.2 Conjunto Fuzzy

2.2.1 Conjunto crisp

Grande parte das ferramentas utilizadas hoje para modelagem formal são crisp, ou seja, determinísticas e precisas na forma de resolução (admitindo apenas duas situações). Um exemplo dessas ferramentas são as que aplicam a lógica binária convencional, onde os resultados gerados podem ser somente verdadeiros ou falsos.

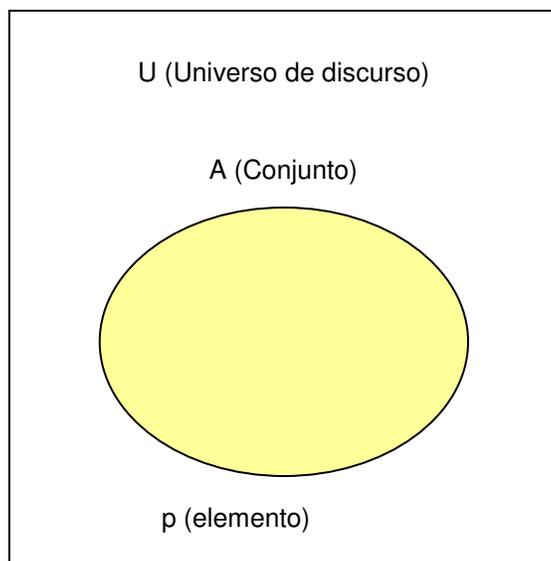


Figura 1 – Representação do conjunto Crisp, onde o elemento p está fora do conjunto A .

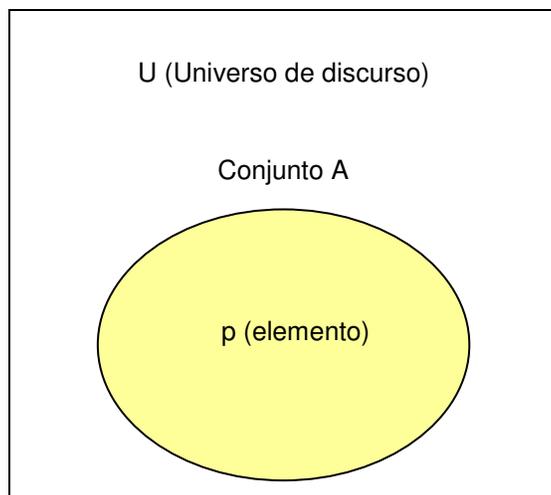


Figura 2 – Representação do conjunto Crisp, onde o elemento p está dentro do conjunto A .

As figuras 1 e 2 representam as duas situações que podem ocorrer dentro de um conjunto clássico. A figura 2 representa que o elemento p pertence ao conjunto A ($p \in A$), enquanto a figura 1 representa que o elemento p não pertence ao conjunto A ($p \notin A$). O conjunto A pertence ao universo de discurso U .

A representação matemática desse conjunto pode ser expressa da seguinte forma (eq 1):

$$\mu_A(p) : U \rightarrow \{0,1\} \quad (\text{eq 1})$$

onde U é o universo de discurso e μ está associado a cada elemento $p \in A$, $A \subset U$, um valor binário (eq 2):

$$\begin{cases} 1, & \text{se } p \in A \\ 0, & \text{se } p \notin A \end{cases} \quad (\text{eq 2})$$

Um exemplo de conjunto crisp é representado pelas figura 3 e equação 3. Pode-se verificar se um funcionário está trabalhando de acordo com o horário comercial estipulado pela empresa. Para este exemplo podem-se tirar as seguintes informações:

- o universo de discurso é o tempo em horas;
- o conjunto em análise é o horário comercial (intervalo $[8,17]$);
- a variável considerada é x ;
- pode-se verificar se um determinado funcionário está trabalhando dentro do horário comercial (intervalo) de acordo com o valor de x . Se colocarmos um valor de x igual a 7 horas quer dizer que o funcionário está trabalhando fora do horário comercial. Já para um valor de x igual a 10 horas, significa que o funcionário está trabalhando dentro do horário comercial.

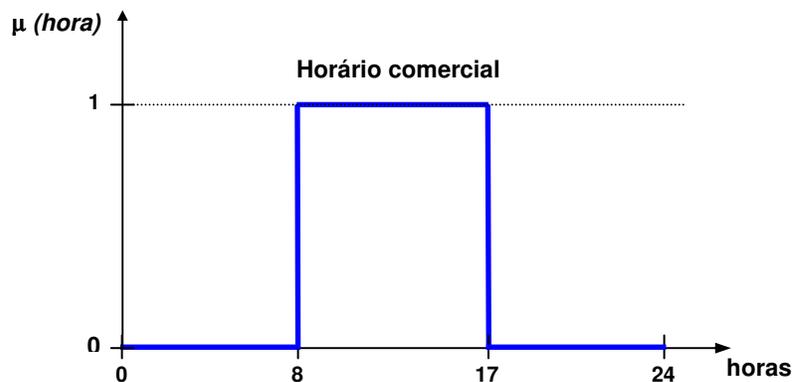


Figura 3 – Exemplo de representação do conjunto Crisp.

$$\mu_{\text{Horário comercial}}(x) : \text{Horas} \rightarrow \{0,1\} \quad \begin{cases} 1, & \text{se } x \in \text{Horário comercial} \\ 0, & \text{se } x \notin \text{Horário comercial} \end{cases} \quad (\text{eq 3})$$

A função $\mu_A(p)$ é conhecida como função de pertinência (ou função membro ou função característica). A função de pertinência informa se determinado elemento $p \in U$ pertence ou não ao conjunto A .

2.2.2 Conjuntos fuzzy

No conjunto fuzzy, a transição de uma determinada situação para outra é realizada de forma gradual, ou seja, na transição existem diversos graus de pertinência. Devido a esta graduação, podemos considerar que as fronteiras do conjunto fuzzy são vagas ou ambíguas.

O conjunto fuzzy é uma extensão da teoria clássica de conjuntos. Os conjuntos clássicos apresentam transições entre um valor membro e um valor não membro de forma abrupta e bem definida (figura 3).

No entanto para o conjunto fuzzy, a transição tem um tratamento de graus de pertinência (ou níveis de associação) intermediários, ou seja, existe uma transição gradual ([2] e [3]) entre um valor membro e um valor não membro.

Como exemplo de conjunto fuzzy, considere um conjunto A o conjunto de elementos pertencente ao universo de discurso U . Considerando um elemento p deste conjunto, uma das três situações poderá ocorrer (conforme exibido pelas figuras 4, 5 e 6) a seguir:

- Situação 1: o elemento p não pertence ao conjunto A , isto é, o elemento p está fora do conjunto (figura 4).
- Situação 2: o elemento p pertence ao conjunto A , isto é, o elemento p está dentro do conjunto (figura 5).

- Situação 3: o elemento p está localizado em uma região de transição (figura 6). Essa situação faz com que exista dúvida em relação à sua localização, ou seja, não se sabe se o elemento faz parte (pertence) ou não faz parte (não pertence) do conjunto A .

Essa dúvida gerada (figura 6) caracteriza o conjunto fuzzy, conhecido também como conjunto nebuloso ou conjunto difuso. Para se determinar qual o grau de envolvimento do elemento no conjunto é atribuído um grau de pertinência [4].

U (Universo de discurso)

Conjunto A

p (elemento)

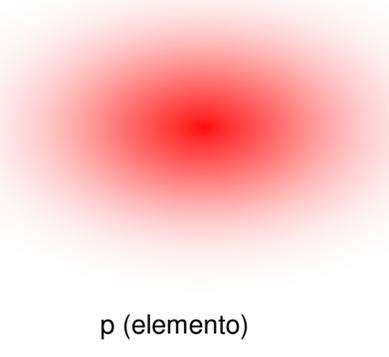


Figura 4 – Conjunto fuzzy, onde o elemento p está fora do conjunto A .

U (Universo de discurso)

Conjunto A

p (elemento)

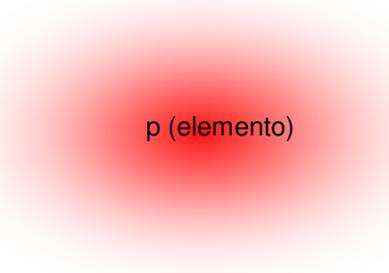


Figura 5 – Conjunto fuzzy, onde o elemento p está dentro do conjunto A .

U (Universo de discurso)

Conjunto A

p (elemento)

Figura 6 – Conjunto fuzzy, onde o elemento p está na região de transição do conjunto A .

O grau de pertinência pode ser associado aos termos lingüísticos, descrevendo assim as propriedades que definem o conjunto [5].

A representação matemática do conjunto fuzzy (generalização do conjunto clássico) pode ser descrita da seguinte forma (eq 4):

$$\mu_A(p): U \rightarrow [0,1] \quad (\text{eq 4})$$

onde U é o universo de discurso e μ está associado a cada elemento $p \in A$, $A \subset U$, restrito a um intervalo fechado $[0, 1]$.

Como exemplo de conjunto fuzzy (figura 7) é apresentada a seguir a classificação de uma pessoa como jovem de acordo com a idade fornecida. Neste exemplo o universo de discurso é a idade, o termo lingüístico é o jovem e a variável utilizada é a idade (x).

A partir disto, é possível verificar o quanto uma pessoa é considerada jovem ou não, de acordo com a função característica adotada.

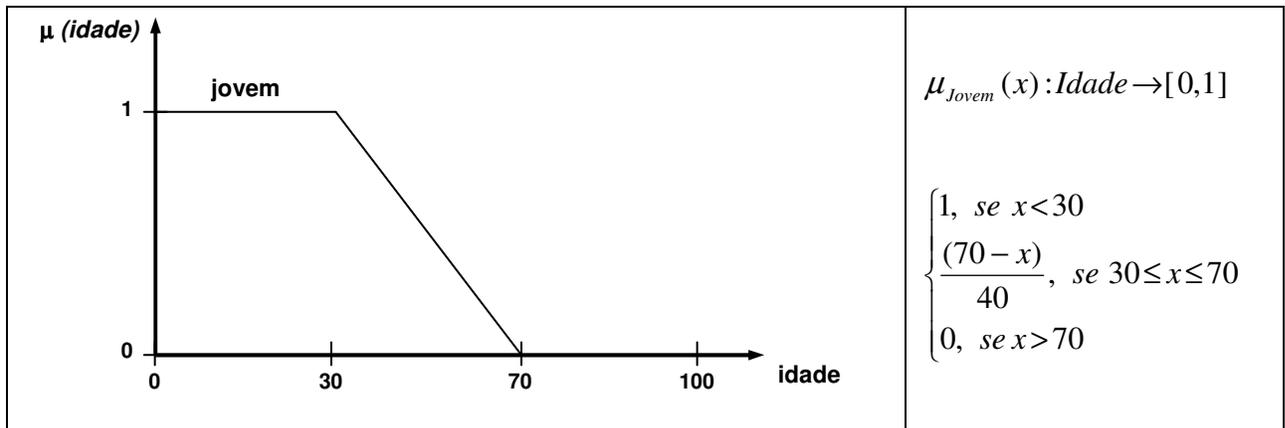


Figura 7 – Exemplo de representação do conjunto fuzzy com respectiva modelagem.

A figura 7 apresenta uma região de transição gradual entre o intervalo [30, 70]. Este trecho caracteriza a região duvidosa do conjunto. Analisando o conjunto, para valores de x (idade) menores que 30 anos a pessoa é considerada jovem. Para valores de x maiores que 70 anos a pessoa é considerada não jovem. Para o valor de x localizado entre 30 a 70 anos, a pessoa recebe um grau de pertinência (valor real entre 0 e 1) que indica o quanto ela está próximo de ser considerada como jovem. O valor do grau de pertinência é fornecido pela função de pertinência. Se o valor do nível de certeza estiver próximo de 1, maior é a certeza dela ser classificado como jovem.

A função de pertinência representa a associação do termo lingüístico ao conjunto fuzzy.

Por exemplo, ao atribuir um valor igual a 20 anos a pessoa é considerada como jovem. Para um valor igual a 72 anos, a pessoa é considerada como não jovem. Para um valor igual a 40 anos a pessoa tem um grau de pertinência igual a 0,75, o valor representa que a pessoa está mais próximo da região jovem. Para um valor igual a 55 anos o grau de pertinência é de 0,375 indicando que a pessoa está muito mais próximo da região não jovem. Portanto o número encontrado pela função de pertinência quantifica os atributos físicos da realidade, ou seja, a teoria fuzzy permite definir um conjunto fuzzy próximo de um valor conhecido (grau de pertinência). Isso faz com que uma informação duvidosa se torne uma informação mais adequada para a linguagem natural, ou seja, associado à imprecisão.

2.3 Lógica Fuzzy

A lógica binária convencional apresenta como resultado de saída uma resposta sim ou não, enquanto que a lógica fuzzy apresenta uma lógica multivalorada, permitindo como resultado de saída graus de pertinência entre 0 e 1. A saída pode possuir um grau de verdade que especifica o quanto esta pode satisfazer uma determinada situação em análise ([1], [6], [7], [8]), ou seja, pode fornecer uma forma efetiva de captação aproximada e não exata, tornando a análise mais próxima do mundo real. Este processo torna a lógica mais próxima ao pensamento humano e à linguagem natural se comparado à lógica tradicional [9], ou seja, esse sistema permite que uma determinada informação contenha uma região onde a interpretação é definida de forma vaga, apresentando um grau de verdade que indica o quanto esta informação pode satisfazer a situação em análise.

O fato da informação possuir um grau de verdade (grau de pertinência) faz com que sua análise se torne diferente de algumas outras áreas. Por exemplo, em comparação com a teoria de probabilidade, a lógica fuzzy se difere pela forma de análise conforme [10].

O processo de resolução de problemas, ou tomada de decisão, por meio da regra de pertinência (ou regra de inferência) composicional consiste em converter a estratégia de controle lingüístico (baseado no conhecimento) em uma estratégia de controle automático. Com este controle lingüístico, ela se torna útil para processos de análises complexas onde são utilizadas técnicas quantitativas convencionais ou quando as fontes de informações são interpretadas de maneira qualitativa, não exatas ou incertas.

Para a aplicação da lógica fuzzy nas regras de inferência são necessários conjuntos fuzzy, pois como dito anteriormente, o modelo fuzzy irá capturar as diversas variáveis ou parâmetros do modelo (informações) para que em seguida sejam relacionadas por meio de conectivos ou operadores do modelo, gerando um determinado resultado. Esta relação entre as variáveis e os conectivos formam as regras pré-estabelecidas para a base de conhecimento.

Dois grupos de modelos são representados pelo tipo de conectivos utilizados no processo de modelagem. O primeiro grupo representa os modelos matemáticos que fazem uso de operações

aritméticas e determinam um resultado exato. O segundo grupo representa os modelos lógicos que utilizam conectivos lógicos booleanos E e OU e a estrutura condicional SE – ENTÃO.

A seguir serão abordados os conceitos de modelo lingüístico, operações aritméticas utilizadas pela lógica fuzzy e seus respectivos conectivos, conversões do modelo lingüístico e os modelos de inferência.

2.3.1 Modelo lingüístico

As diversas situações que nos rodeiam no nosso dia a dia fazem com que a maior parte da linguagem natural contenha ambigüidades e multiplicidade de sentidos. As palavras, principalmente os adjetivos, fazem com que as situações ou características do objeto não fiquem descritas de forma clara. Por exemplo, considerar o dia como quente. Qual o valor considerado como quente?

O modelo lingüístico tem como característica fornecer uma relação entre o valor físico (valores de entrada e/ou saída do mundo real) e uma respectiva faixa de alcance do conjunto fuzzy, como é representado na figura 8 quando a velocidade está entre [20,50]. Os conjuntos fuzzy podem ser representados por seus respectivos termos, onde estes representam a abstração do valor da variável. Esta conversão de valores numéricos em valores abstratos no processo de decisão é um ponto importante para sistemas de inteligência artificial [3].

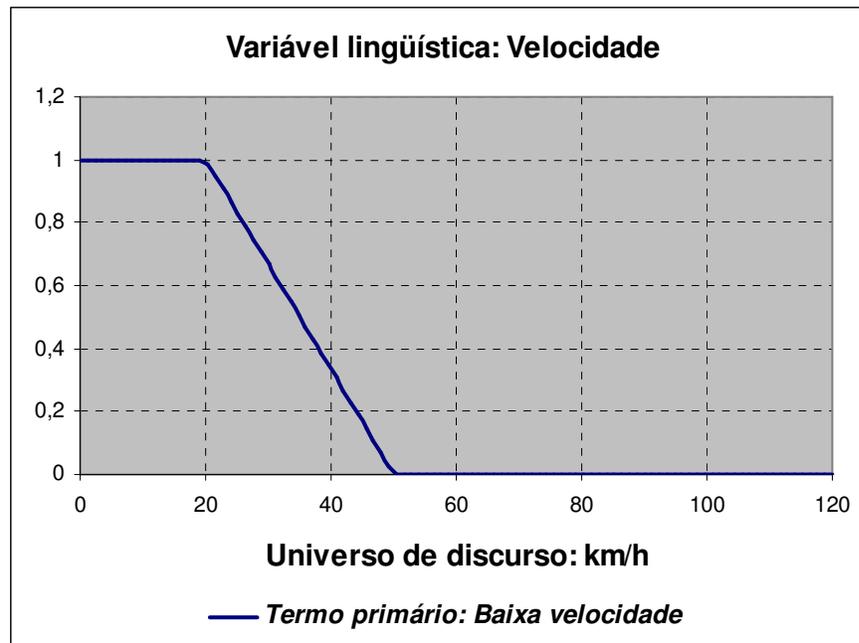


Figura 8 – Exemplo de variável lingüística com respectivo termo lingüístico e universo de discurso.

Dentre as várias formas de aplicação no modelo fuzzy, neste trabalho serão adotados os modelos relacionados às variáveis lingüísticas (figura 9). Portanto as variáveis e os termos do modelo em estudo serão representados com variáveis lingüísticas e seus respectivos termos lingüísticos. O conceito de variável lingüística é amplamente exposto em [4] e o mesmo é formalmente definido por quase todos os autores. A variável lingüística é aquela cujo domínio são os termos da linguagem referentes a certo contexto. Por exemplo, a variável lingüística Idade pode assumir os termos Jovem, Adulto ou Velho.

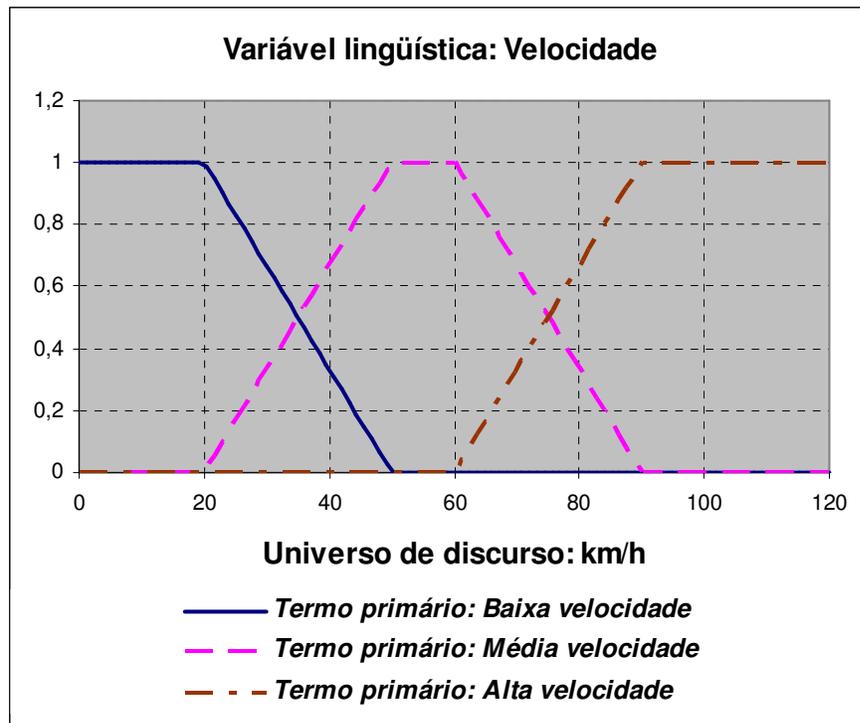


Figura 9 – Exemplo de variável lingüística com respectivos termos lingüísticos e universo de discurso.

Por meio das variáveis lingüísticas a base de conhecimento pode ser formada. Portanto a base de conhecimento representa todos os conjuntos fuzzy ou variáveis lingüísticas relacionadas à situação em análise com suas respectivas funções de pertinência.

2.3.2 Operações aritméticas com lógica fuzzy

A operação com lógica fuzzy, ou operação de agregação, consiste em definir uma função de transferência que combinem conjuntos fuzzy distintos em um único conjunto, ou seja, aplicar parcialmente ou simultaneamente um mesmo atributo à função de transferência (agregação dos n conjuntos) gerando um novo conjunto.

Como dito anteriormente, operações que utilizam a lógica fuzzy são derivadas da teoria dos conjuntos crisp e são baseadas nos conceitos de pertinência. Essas operações são constituídas de três operações básicas (eq 5, 6 e 7) listadas a seguir:

- União ($A \cup B$) : $\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$ (eq 5)

- Intersecção ($A \cap B$) : $\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$ (eq 6)

- Complemento: $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ (eq 7)

2.3.3 Conectivos lógicos para lógica fuzzy

De acordo com [11], considerando que na lógica fuzzy a verdade de qualquer situação é um problema de grau, que os valores de entrada podem ser números reais entre 0 e 1 e estes serem um super conjunto da lógica booleana clássica, pode-se dizer que as operações lógicas fuzzy são mantidas e a função preserva os resultados de uma tabela verdade E ou OU com números reais.

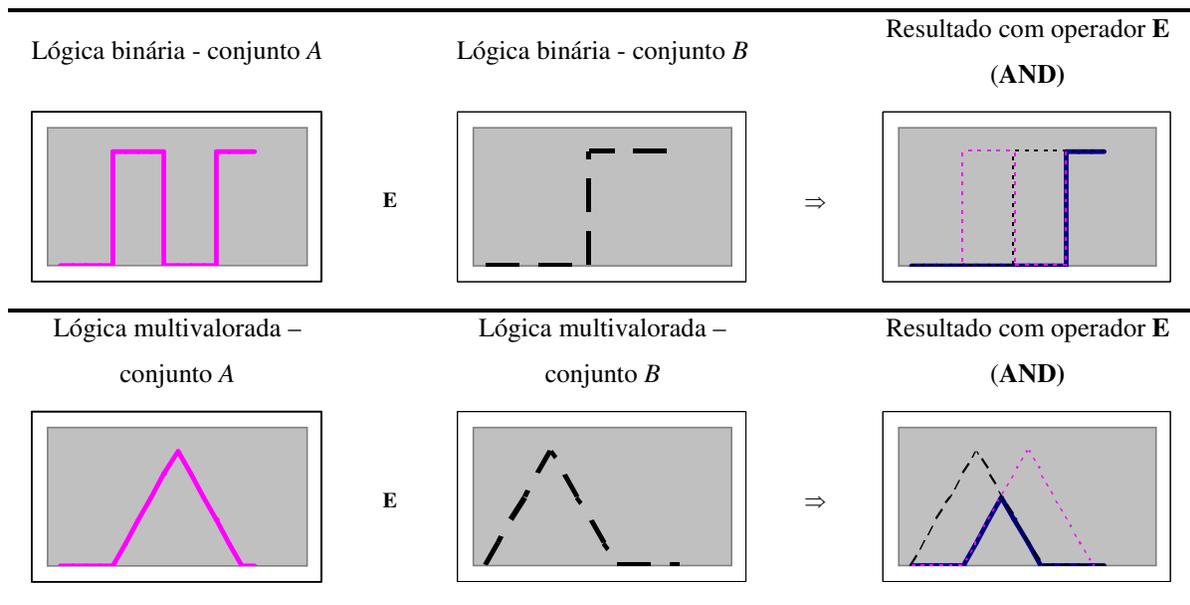


Figura 10 - Exemplo com conector E para valores binários e multivalorados.

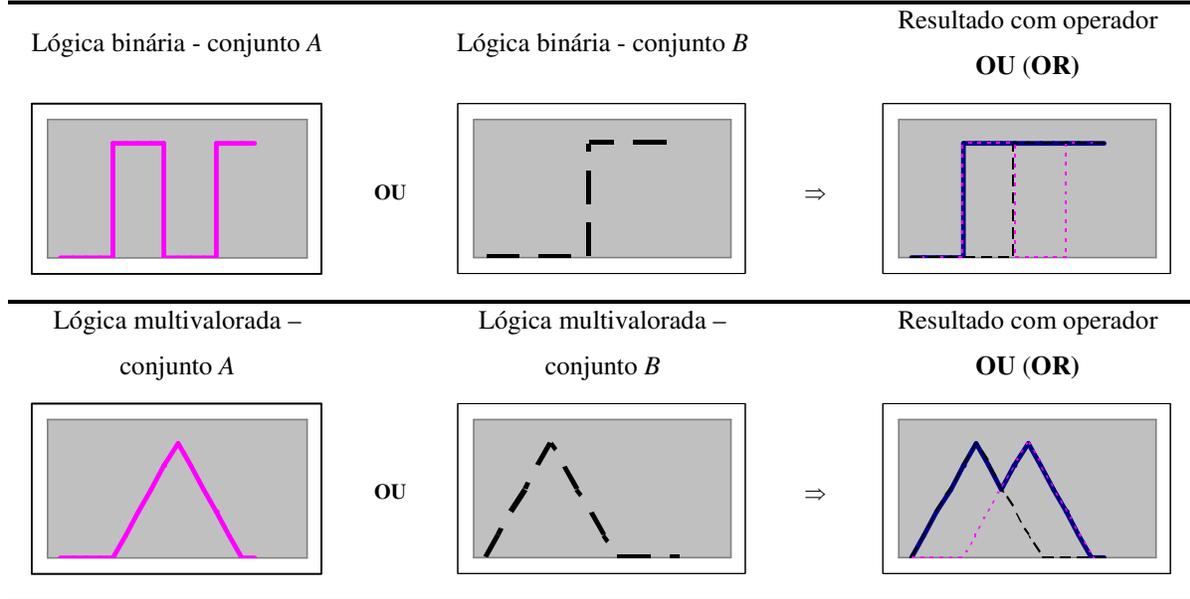


Figura 11 – Exemplo com conector OU para valores binários e multivalorados.

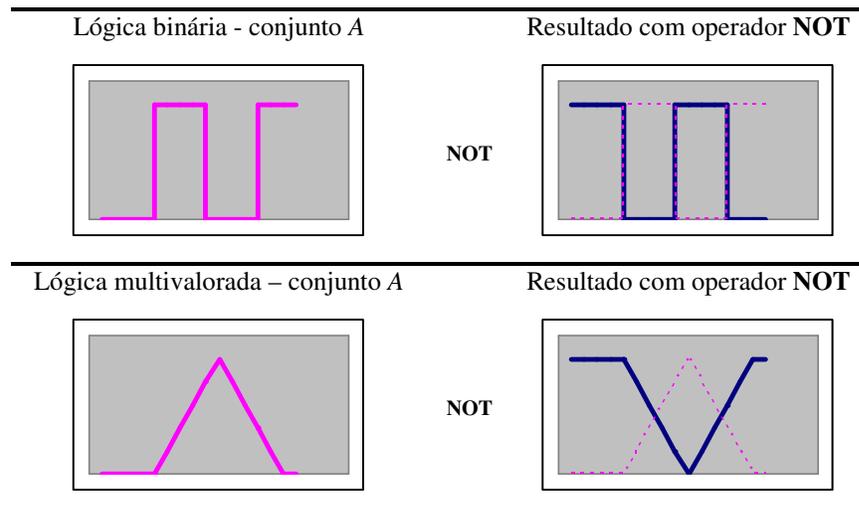


Figura 12 – Exemplo com conector NOT para valores binários e multivalorados.

Por meio dos gráficos (figuras 10 e 11) e conectivos E e OU apresentados acima pode-se verificar as seguintes situações:

- A intersecção ou conjunção fuzzy (figura 10) é realizada pelo conectivo E e tem como objetivo realizar a operação de minimização. A representação é dada pela equação a seguir (eq 8).

$$y = y^A \text{ E } y^B \quad \text{ou} \quad y = y^A \cap y^B \quad (\text{eq 8})$$

- A união ou disjunção fuzzy (figura 11) é realizada pelo conectivo OR e tem como objetivo realizar a operação de maximização. A representação é dada pela equação a seguir (eq 9).

$$y = y^A \text{ OU } y^B \quad \text{ou} \quad y = y^A \cup y^B \quad (\text{eq 9})$$

- O conectivo NOT (figura 12), ou complemento do conjunto fuzzy A , é representado pela equação a seguir (eq 10).

$$\bar{y}^A = y^A \quad (\text{eq 10})$$

2.3.4 Conversões – Fuzzyficação e Defuzzyficação

O processo para resolução utilizando sistema fuzzy consiste nas seguintes fases:

- i) Processo de fuzzyficação das variáveis lingüísticas com respectivos termos lingüísticos e funções de pertinência.
- ii) Obtenção dos valores numéricos de cada conjunto fuzzy.
- iii) Processamento de cada valor de entrada (conjunto fuzzy) pela sua respectiva função de pertinência gerando um grau de pertinência.
- iv) Processo de inferência que consiste na aplicação do operador fuzzy e implicação do antecedente para o conseqüente.
- v) Agregação dos graus de pertinência calculados por meio das regras de produção.
- vi) Obtenção de um valor numérico a partir da base de conhecimento ou conjunto de instruções.
- vii) Interpretação do resultado (defuzzyficação).

De acordo com [12], na determinação do grau de pertinência são utilizadas as funções de pertinência pré-definidas de cada variável lingüística de entrada (lembrando que a variável lingüística é formada por termos lingüísticos) e quando um valor é inserido este é encaminhado

para sua respectiva função de pertinência (conjunto fuzzy) retornando um grau (nível) correspondente ao valor de entrada do conjunto fuzzy em questão (figura 13).

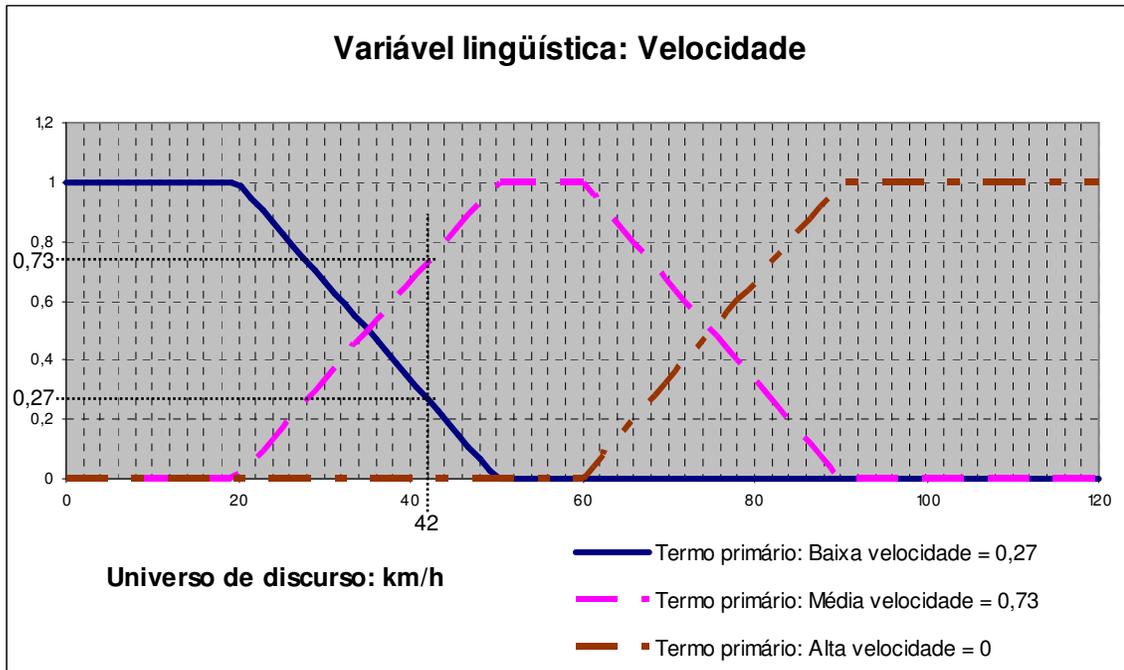


Figura 13 – Exemplo de determinação do grau de pertinência para a velocidade de 42 km/h.

A combinação dos resultados das variáveis lingüísticas é realizada pelas regras de produção. Esta regra de produção é dada pela estrutura condicional abaixo.

Se <conjunto de condições> **então** <ações>

ou

Se <precedentes> **então** <conseqüentes>

A obtenção do conseqüente global (ou precedente global) a partir de cada conseqüente individual (ou precedente individual) é conhecida como agregação de regras. Existem duas formas de agregação de regras [3] listadas a seguir:

- Sistemas de regras conjuntivas: como descrito anteriormente as regras são conectadas pelos conectivos E e a saída agregada é encontrada pela intersecção de todos os consequentes individuais de cada regra, como exibido nas equações 11 e 12.

$$y = y^1 E y^2 E \dots E y^n \quad \text{ou} \quad y = y^1 \cap y^2 \cap \dots \cap y^n \quad (\text{eq 11})$$

$$\mu_y(x) = \min(\mu_{y^1}(x), \mu_{y^2}(x), \dots, \mu_{y^n}(x)) \quad (\text{eq 12})$$

- Sistemas de regras disjuntivas: como descrito anteriormente as regras são conectadas pelos conectivos OU e a saída agregada é encontrada pela união das contribuições individuais de cada regra, como exibido nas equações 13 e 14.

$$y = y^1 OU y^2 OU \dots OU y^n \quad \text{ou} \quad y = y^1 \cup y^2 \cup \dots \cup y^n \quad (\text{eq 13})$$

$$\mu_y(x) = \max(\mu_{y^1}(x), \mu_{y^2}(x), \dots, \mu_{y^n}(x)) \quad (\text{eq 14})$$

O resultado (valor numérico) da combinação das variáveis lingüísticas pode ser encontrado por meio das seguintes regras de associação listadas a seguir:

- Clássico [6]

$$\mu_R(x, y) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)], 1 - \mu_A(x)\} \quad (\text{eq 15})$$

- Mínima correlação ou implicação de Mamdani

$$\mu_R(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (\text{eq 16})$$

- Implicação de Lukasiewicz

$$\mu_R(x, y) = \min\{1, [1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)]\} \quad (\text{eq 17})$$

- Implicação de Brouwerian

$$\mu_R(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{para } \mu_A \leq \mu_B \\ \mu_B(y), & \text{outros} \end{cases} \quad (\text{eq 18})$$

- Implicação R-SEQ (seqüência lógica padrão)

$$\mu_R(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{para } \mu_A \leq \mu_B \\ 0, & \text{outros} \end{cases} \quad (\text{eq 19})$$

- Implicação somas limitadas

$$\mu_R(x, y) = \text{mim}\{1, [\mu_A(x) + \mu_B(y)]\} \quad (\text{eq 20})$$

- Implicação correlação produto

$$\mu_R(x, y) = \max\{\min[\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)], [1 - \mu_A(x)]\} \quad (\text{eq 21})$$

A interpretação do resultado (quantidade escalar) pode ser realizada por meio da defuzzyficação do conjunto de saída fuzzy. Os métodos mais comuns para o processo de defuzzyficação podem ser encontrados em [2], [3] e [13]. Os métodos mais utilizados são listadas a seguir:

- Método do máximo critério;
- Método da média dos máximos;
- Método do centro de gravidade;
- Método do centro das massas;
- Método do centróide.

O processo de defuzzyficação pode ser definido como uma função que associa a cada conjunto fuzzy um elemento que o represente na linguagem natural. De acordo com [14], o método mais comum é o COG (*Center of Gravity*), que nos fornece um valor correspondente à abscissa do baricentro do gráfico da função de pertinência.

2.3.5 Modelo de Inferência

A inferência é um processo de mapeamento de uma dada entrada para uma saída utilizando lógica fuzzy, ou seja, utiliza os termos adotados no processo de fuzzyficação definindo-se as regras para obtenção de um resultado. Estas regras são formadas a partir dos termos lingüísticos utilizando os operadores lógicos e a estrutura SE-ENTÃO.

Os sistemas de inferência ou modelos de inferência mais difundidos são o modelo de inferência de Mamdani e o de Sugeno. Estes modelos diferem na maneira como são determinados os valores de saída.

Esses sistemas têm sido aplicados nos campos de controle automático, classificação de dados, análise de decisão, sistemas especialistas e visão computacional.

Apesar da idéia simplista, existem situações nas quais podemos aplicar o modelo fuzzy em fenômenos sob observação. Estas situações são apresentadas a seguir:

- Descrições lingüísticas obtidas de um especialista humano, que refletem o conhecimento qualitativo de um processo e que permitam construir um conjunto de regras lógicas fuzzy.
- Casos onde temos equações conhecidas que descrevem o comportamento de um processo, no entanto as variáveis envolvidas não podem ser precisamente identificadas, havendo uma região de imprecisão (interpretação de forma fuzzy).
- Equações conhecidas para o processo, mas demasiadamente complexas (interpretadas em um caminho fuzzy para construir um modelo).
- Os dados de entrada e saída são utilizados para estimar o comportamento de regras lógicas fuzzy. Este procedimento é conhecido como identificação fuzzy de sistema que pode ser dividido em identificação da estrutura do modelo e identificação das variáveis do modelo.

Um modelo poder ser representado por meio da figura 14.

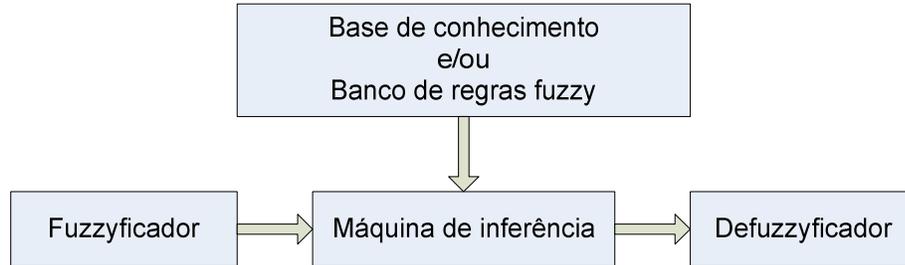


Figura 14 – Modelo de inferência.

2.3.6 Modelo de Mamdani

O método de inferência de Mamdani é o mais utilizado. Foi proposto em 1975 por Ebrahim Mamdani [15]. Sua utilização se concentrou na área de controle onde ocorreu uma tentativa de controlar uma máquina a vapor e caldeira sintetizando um conjunto de regras de controle lingüísticas obtidas da experiência dos operadores. Estes foram os primeiros sistemas construídos a utilizar a teoria de conjunto fuzzy. O trabalho de Mamdani foi baseado no artigo de Lotfi Zadeh de 1973 [16].

O processo consiste na agregação das variáveis. Há um conjunto fuzzy para cada variável de saída que precisa ser defuzzyficado, ou seja, é necessário que seja encontrada o centro de massa (ou gravidade) determinada pela união das funções de pertinência da variável de saída. A determinação do centro de gravidade (ou centróide de gravidade) é dada pela equação a seguir (eq 22).

$$\frac{\int \mu_{B_n^k}(y) \cdot y \, dy}{\int \mu_{B_n^k}(y) \, dy} \quad (\text{eq 22})$$

onde:

- B_n^k : representa o k-ésimo conjunto difuso consequente para a n-ésima regra.

2.3.7 Modelo de Sugeno

Outro método de inferência fuzzy utilizado é o modelo de Sugeno ou de Takagi-Sugeno-Kan. Introduzido em 1985 [17], seu algoritmo é similar ao método de inferência de Mamdani como a fuzzyficação das entradas e aplicação dos operadores fuzzy. A principal diferença entre esses dois métodos de inferência é a forma de análise da função de saída. Para o modelo de inferência de Sugeno não é necessário uma variável lingüística de saída, no entanto é necessário a atribuição de pesos nas regras. O modelo de Sugeno pode ser utilizado em qualquer sistema de inferência no qual a função de pertinência de saída seja um combinação linear (ou constantes) das entradas.

O modelo fuzzy de Sugeno tem a seguinte forma:

$$\mathbf{IF} \text{ Entrada1} = X \mathbf{e} \text{ Entrada2} = Y \mathbf{Then} \text{ Saída} = z = ax + by + c$$

Considerando o modelo de Sugeno de ordem zero ($a = 0$, $b = 0$ e $z \ll 0$), a saída z é uma constante ($z = c$).

A partir da análise, considerando diversas regras, várias saídas podem ser geradas de acordo com o conjunto de regras estipuladas. A saída z_i de cada regra é medida por um peso w_i .

Por exemplo, para $\text{Entrada1} = X$ e $\text{Entrada2} = Y$ podemos adotar um peso w_1 que é regra para $(F_1(x), F_2(x))$ onde F_1 e F_2 são funções membros das Entradas 1 e 2. O resultado final do sistema é o peso médio de todas as regras de saídas (eq 23).

$$\frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (\text{eq 23})$$

Onde:

- w_i : representa o peso estipulado na formação da base de conhecimento para cada regra;
- z_i : representa o valor obtido por meio do processo de minimização de cada regra.

2.4 Determinação do sistema

Como exemplo de aplicação de toda a teoria vista até o momento, é feita uma análise do consumo de gasolina de um veículo a partir da velocidade e desgaste dos pneus. Nesta análise são utilizados os modelos de inferência de Mamdani e Sugeno.

As tarefas necessárias para montagem do problema proposto, para ambos os modelos, são descritas nas seguintes etapas a seguir:

- Etapa 1: determinação das variáveis que constituem os precedentes e os conseqüentes das regras. As variáveis lingüísticas representam as informações utilizadas no problema. Para o exemplo são utilizadas as variáveis Velocidade, Pneu e Consumo.
- Etapa 2: determinação das funções de pertinência dos conjuntos fuzzy. Nesta etapa deve-se realizar a partição do espaço das variáveis dos precedentes e das variáveis dos conseqüentes em subespaços fuzzy. Esses subespaços são conhecidos como termos primários e representam os termos associados com a variável em discussão. Neste exemplo são utilizados os termos Alto (A), Médio (M) e Baixo (B) para as variáveis Velocidade e Consumo. Para a variável Pneu são utilizados os termos Novo (N) e Velho (V). Para cada variável foi adotado um universo de discurso, ou seja, adotado um intervalo de valores possíveis da variável em análise. Na variável Velocidade adotou-se o intervalo de 0 a 120 km/h (figura 15); na variável Pneu adotou-se um intervalo de 0 a 2 mm (figura 16); na variável Consumo o universo de discurso adotado foi de 6 a 18 km/l (figura 17). A seguir estão representados os gráficos das variáveis utilizadas no problema.

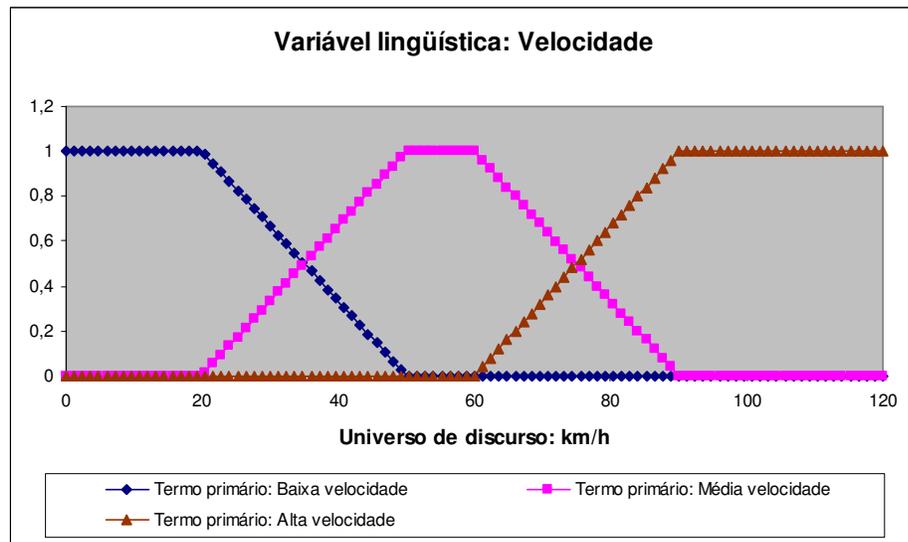


Figura 15 – Definição da primeira regra de entrada (Velocidade).

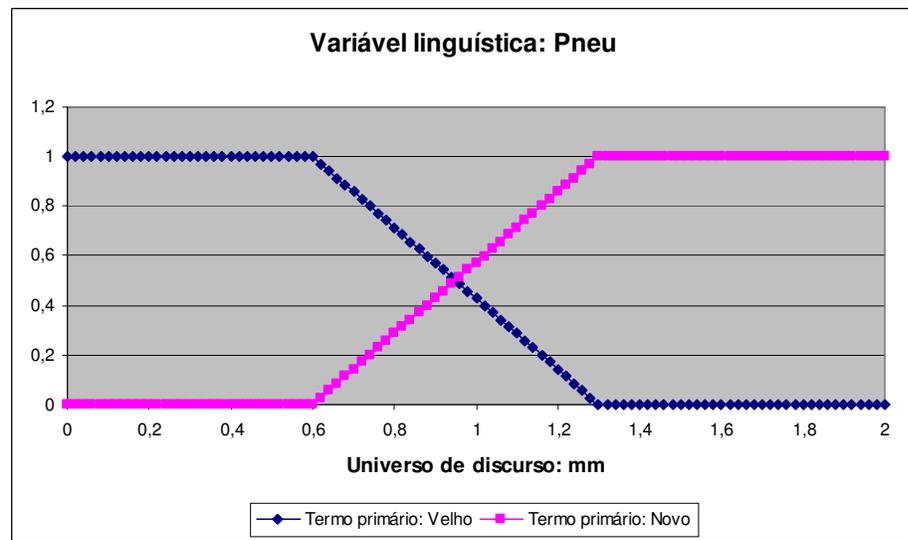


Figura 16 – Definição da segunda regra de entrada (Pneu).

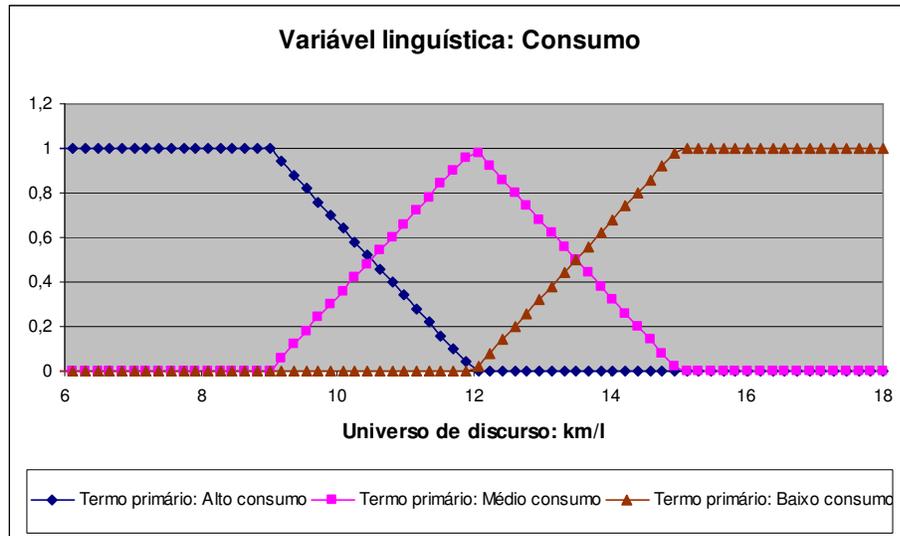


Figura 17 – Definição da regra de saída (Consumo).

- Etapa 3: encontrado o nível de contribuição de cada regra. O grau de pertinência é dado pelo valor de pertinência obtido da intersecção entre o valor lingüístico do precedente das regras e o valor de entrada fornecido pelo usuário. Nesta etapa são inseridos os valores de entrada para o sistema. Como exemplo são inseridos os valores 39 km/h para a Velocidade e 1 mm de espessura dos pneus (quanto maior a espessura mais novo é o pneu). Obtemos assim, os valores representados nas figuras 18 e 19.

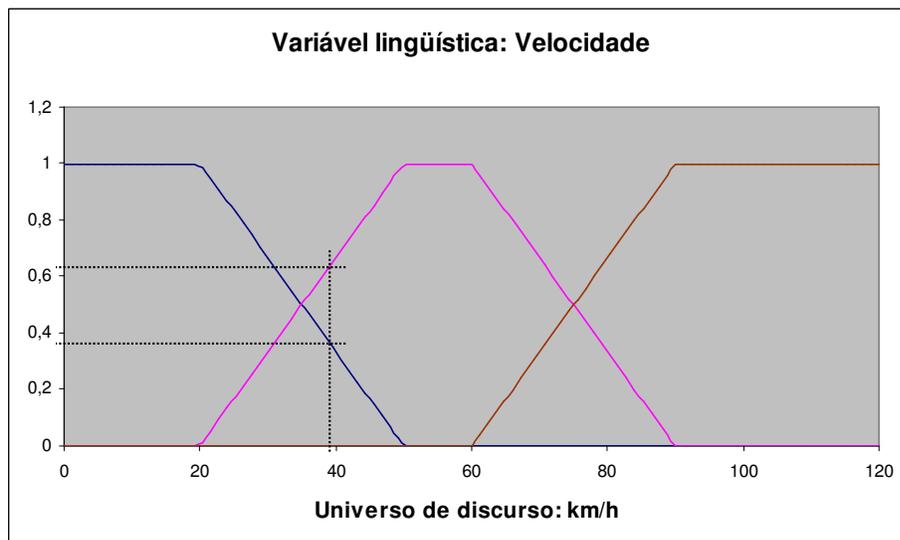


Figura 18 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada igual a 39 km/h.

Para a velocidade foram encontrados os valores 0,367 para Baixa velocidade ($\mu_B = 0,367$), 0,633 para Média velocidade ($\mu_M = 0,633$) e 0 para Alta velocidade ($\mu_A = 0$).

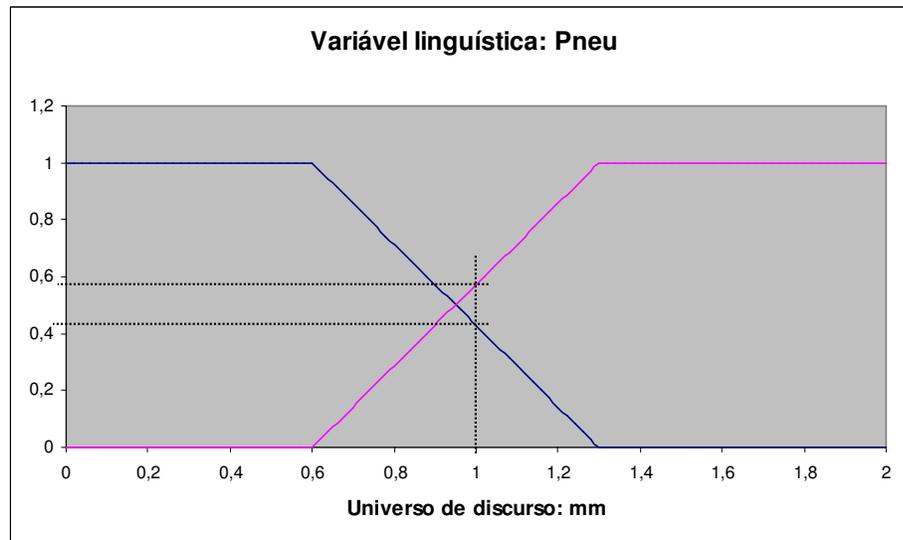


Figura 19 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada igual a 1 mm de desgaste.

Para a espessura do pneu foram encontrados os valores 0,429 para pneus Velhos ($\mu_V = 0,429$) e 0,571 para pneus Novos ($\mu_N = 0,571$).

Os valores de $\mu_B = 0,367$, $\mu_M = 0,633$, $\mu_A = 0,000$, $\mu_V = 0,429$ e $\mu_N = 0,571$ são referentes ao grau de pertinência (ou valores fuzzy) dos valores de entrada. Cabe lembrar que a determinação das variáveis com seus respectivos termos lingüísticos e das funções de pertinência é conhecido como fuzzyficação.

- Etapa 4: determinação da saída de cada regra. Nesta fase é elaborada a representação da base de conhecimento humano, ou seja, nesta fase é construído a base de dados relacionado ao assunto estudado por meio das regras que utilizam a linguagem natural (processo de inferência). Nesta base de conhecimento definem-se as diversas condições

(regras) para que o sistema tome uma decisão. A estrutura a seguir representa a forma como uma tomada de decisão na linguagem natural é utilizada neste tipo de problema [3]:

SE <precedente> ENTÃO <conseqüente>

Esta estrutura condicional SE-ENTÃO representa uma tomada de decisão pois **SE** é conhecido um fato (precedente) **ENTÃO** é possível inferir outro fato (conseqüente). Nesta etapa são geradas as relações entre as variáveis do precedente e as variáveis do conseqüente das regras a partir dos dados de entrada e respectivas saídas.

No entanto, para a montagem dessa base de conhecimento é necessário uma pessoa (especialista da área) para definir as saídas que são obtidas de acordo com as entradas. A tabela 1 representa a base de conhecimento gerado pelas variáveis de entrada (Velocidade e Pneu) e saída (Consumo). A formação da saída (Consumo em km/l) é descrito na próxima etapa. A tabela 2 representa a notação (legenda) utilizada na tabela 1.

Tabela 1 – Base de conhecimento para o modelo de Mamdani.

Base de Conhecimento		
Velocidade	Pneu	Consumo
B	V	A
B	N	M
M	V	M
M	N	B
A	V	A
A	N	M

Tabela 2 – Legenda para a base de conhecimento.

Legenda	
B	Baixo
M	Médio
A	Alto
V	Velho
N	Novo

- Etapa 5: agregação das saídas das regras individuais para obtenção dos subconjuntos fuzzy de saída e aplicação do modelo de inferência. Cabe lembrar que as regras são relações entre precedentes e conseqüentes.

Para o modelo de inferência de Mamdani, as variáveis lingüísticas Velocidade e Pneu são classificadas como variáveis de entrada do sistema e a variável lingüística Consumo (variável de saída) é utilizada para fornecer o resultado da análise, isto é, de acordo com a regra (precedente) é verificado como a variável de saída se comporta (conseqüente). Pode-se notar que neste tipo de modelo o resultado final é dependente de uma variável de saída [15]. Esta regra utiliza a semântica Max-Mín, que consiste nos passos a seguir:

1. Intersecção fuzzy entre os graus de pertinência das entradas nos termos primários.
2. Com as regras definidas e os graus de pertinência determinados, encontrar os valores mínimos (eq 24) de cada regra (ou conjunto de saída) (tabela 3).

$$\mu_y(x) = \min(\mu_{y_1}(x), \mu_{y_2}(x), \dots, \mu_{y_n}(x)) \quad (\text{eq 24})$$

Tabela 3 – Valores mínimos.

regra	Velocidade	Pneu	Mínimo
1	0,367	0,429	0,367
2	0,367	0,571	0,367
3	0,633	0,429	0,429
4	0,633	0,571	0,571
5	0,000	0,429	0,000
6	0,000	0,571	0,000

3. Realizar a operação de união que compõe um conjunto fuzzy de saída, ou seja, agrupar todas as regras da variável de saída (variável Consumo) com a mesma classificação adotada (mesmo termo), como exibidos nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Valores mínimos para o termo Alto da variável Consumo.

Velocidade	Pneu	Consumo	Min
0,367	0,429	A	0,367
0,000	0,429	A	0,000

Tabela 5 – Valores mínimos para o termo Média da variável Consumo.

Velocidade	Pneu	Consumo	Min
0,367	0,571	M	0,367
0,633	0,429	M	0,429
0,000	0,571	M	0,000

Tabela 6 – Valores mínimos para o termo Baixo da variável Consumo.

Velocidade	Pneu	Consumo	Min
0,633	0,571	B	0,571

4. A partir desse agrupamento escolher os maiores valores de cada termo (eq 25).
O resultado está representado na tabela 7.

$$\mu_y(x) = \max(\mu_{y^1}(x), \mu_{y^2}(x), \dots, \mu_{y^n}(x)) \quad (\text{eq 25})$$

Tabela 7 – Valores máximos encontrados na variável de saída.

Valores máximos - Consumo	
B	0,571
M	0,429
A	0,367

Os valores acima encontrados (tabela 7) são os novos valores limites (grau de pertinência) para cada termo da variável lingüística Consumo (figura 17). A partir dos valores limitados, os termos da variável Consumo são novamente definidos, como mostra a figura 20. Unificando cada termo pela operação de união (operador fuzzy OR) é formada a figura 21.

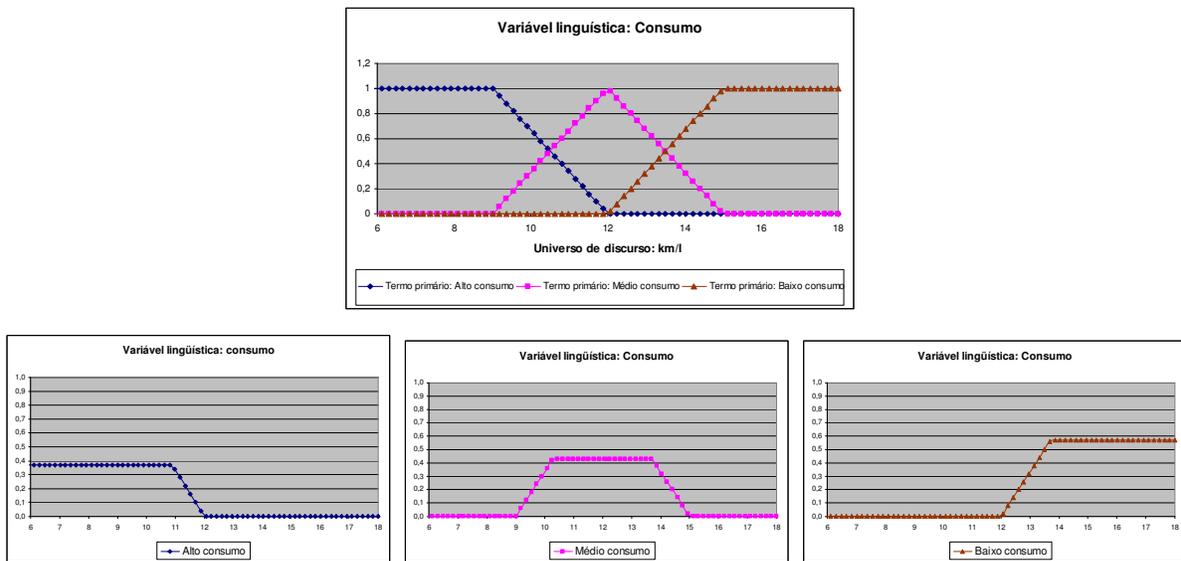


Figura 20 – Definição dos novos limites da variável de saída (Consumo).

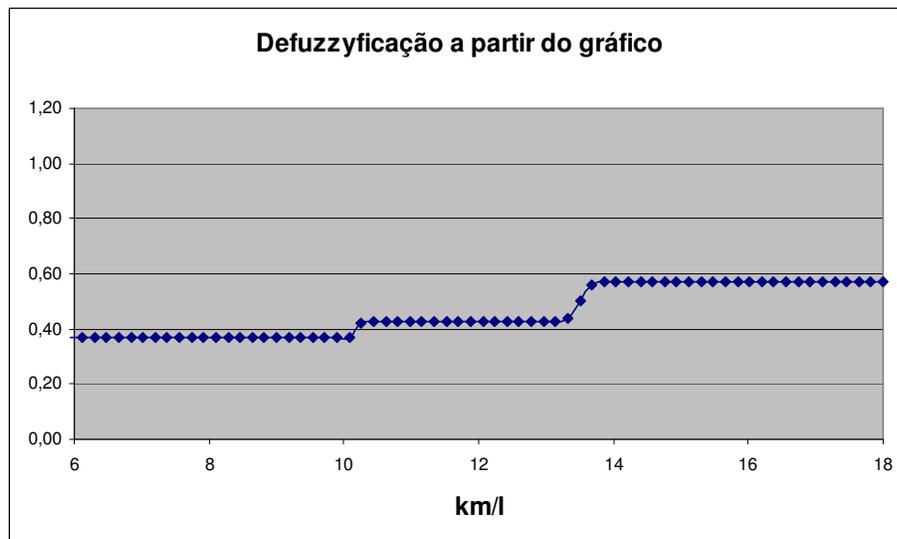


Figura 21 – Saída do sistema de acordo com os valores de entrada.

5. Para a obtenção do resultado do problema é aplicado o processo de defuzzyficação. Neste processo é aplicado o cálculo de centro de massa (eq 26) para o gráfico da variável Consumo (figura 21).

$$\frac{\sum_{i=1}^N Min_i \cdot Max_i}{\sum_{i=1}^N Min_i} \quad (eq 26)$$

O resultado encontrado é 12,6 km/l. Verificando o gráfico de Consumo (variável Consumo) este valor se encontra no termo médio.

Resultado	12,60
------------------	-------

Para o modelo de Sugeno, adotou-se as mesmas regras e variáveis de entrada utilizadas no modelo de inferência de Mamdani (figuras 15 e 16). Também inseriu-se os valores de 39 km/h para a Velocidade e 1 mm de desgaste dos pneus, portanto, a determinação do grau de pertinência foram as mesmas, conforme as figuras 18 e 19.

É definida a base de conhecimento (tabela 8) para o modelo de Sugeno, isto é, é definido o peso do conseqüente de cada regra que compõe a base de conhecimento.

Tabela 8 – Base de conhecimento.

Base de Conhecimento			
regra	Velocidade	Pneu	Peso
1	B	V	3
2	B	N	2
3	M	V	2
4	M	N	1
5	A	V	3
6	A	N	2

Tabela 9 – Valores mínimos para cada regra.

regra	Velocidade	Pneu	Mínimo	Peso
1	0,367	0,429	0,367	3
2	0,367	0,571	0,367	2
3	0,633	0,429	0,429	2
4	0,633	0,571	0,571	1
5	0,000	0,429	0,000	3
6	0,000	0,571	0,000	2

Aplicando o modelo de inferência de Sugeno (eq 23) obtemos como resultado da tabela 9 o valor de saída igual à 1,88 (eq 27)). A equação 23 pode ser escrita conforme equação 27.

$$\frac{\sum_{i=1}^N Min_i \cdot Peso_i}{\sum_{i=1}^N Peso_i} \quad (\text{eq 27})$$

Conforme os pesos estipulados e cálculos executados pode-se dizer que o consumo deste veículo é Médio.

3 Câncer

Neste capítulo é apresentado uma descrição do câncer do esôfago, partindo desde o início do seu desenvolvimento (caso geral) até a sua fase mais avançada.

3.1 Definição

Segundo [18] e [19], a neoplasia tem como principal característica o crescimento desordenado de células. Quando a célula possui a capacidade de se dividir de forma autônoma e se libertar do controle de crescimento normal esta é conhecida como célula neoplásica (neo: novo, plasein: formar). A causa da transformação da célula normal para uma célula neoplásica é a modificação do genoma celular, ou seja, ocorre uma mutação da célula na qual sua morfologia e função se difere da célula-mãe. Quanto maior a mudança do genoma mais anômalas serão a morfologia e função da célula neoplásica.

O acúmulo de células neoplásicas acaba se tornando uma massa volumosa que recebe a denominação de tumor. O crescimento dessa massa pode deformar, comprimir, comprometer o órgão de origem (dependendo da velocidade de crescimento) ou até mesmo infiltrar em outros órgãos. Em alguns casos, os tumores possuem um grau de diferenciação muito próximo das células do tecido da qual se originaram. Em outros casos a célula tumoral possui um grau de diferenciação menos acentuado (características morfológicas diferentes do tecido de origem).

O grau de indiferenciação pode ser notado pelo volume do núcleo e pela mitose, onde nos tumores indiferenciados os núcleos são volumosos em relação ao citoplasma e as mitoses são muito freqüentes e anômalas.

3.1.1 Processo de formação

O processo inicial de formação do tumor ou processo carcinogênese normalmente se dá de forma lenta, podendo levar anos até o surgimento de algum tipo de sintoma. Uma forma simplificada das etapas (figura 22) de formação / desenvolvimento pode ser representada nas seguintes fases [18]:

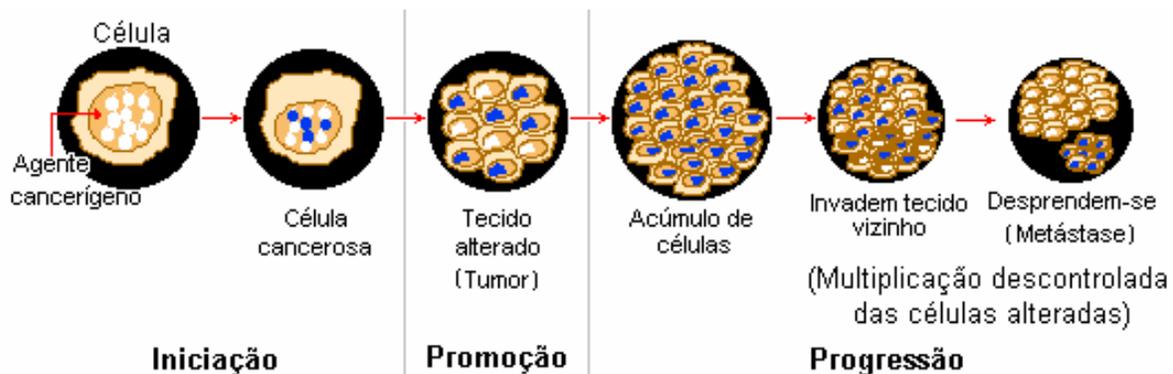


Figura 22 – Fase de evolução do câncer desde a ação do agente cancerígeno até a metástase.

Os principais estágios de formação são comentados a seguir:

- Estágio de iniciação: nesta fase as células sofrem o efeito dos agentes cancerígenos modificando alguns de seus genes. Apesar da alteração dos genes das células, não é possível a detecção do tumor clinicamente. Com os genes alterados, as células encontram-se prontas para o próximo estágio.
- Estágio de promoção: as células “iniciadas” sofrem o efeito dos agentes cancerígenos (agentes oncopromotores) e estas são transformadas em células diferenciadas. O processo de mutação da célula, neste estágio, ocorre de forma lenta e gradual, pois é necessário um longo e contínuo contato com o agente cancerígeno promotor. A suspensão do contato com os agentes oncopromotores pode interromper o processo de mutação nesse estágio.
- Estágio de progressão: caracterizada pela multiplicação descontrolada e irreversível das células alteradas. Neste estágio, inicia-se a evolução da células diferenciadas e o surgimento das primeiras manifestações clínicas da doença. Quando há ocorrência de infiltração do

tumor, este pode invadir os vasos linfáticos ou vasos sanguíneos e são carregados pela circulação sob a forma de êmbolos tumorais podendo se desenvolver. Esta situação é conhecida como metástase. É possível que as células tumorais sejam transportadas por meio de outras vias naturais, como por exemplo, pela urina. Segundo [19], metástase é um tumor secundário que cresce separadamente do tumor primário. Ele se origina de células que se destacaram do tumor principal e foram transportados para outros locais. Felizmente, apenas uma pequena porcentagem das células malignas que caem na circulação conseguem sobreviver e desenvolver. Se experimentalmente forem inoculadas células malignas na circulação de um animal, apenas 1% delas sobrevivem por 24 horas. A capacidade de invasão depende de uma série de interações entre a célula tumoral e os tecidos do hospedeiro. Os trabalhos vêm demonstrando que fatores da célula tumoral regulam a síntese e liberação de enzimas líticas capazes de degradar e modificar a matriz com afrouxamento das ligações célula-célula ou célula matriz.

Para determinados tipos de câncer, a ocorrência de manifestações clínicas da doença pode indicar que seu estágio já está em uma fase avançada.

Em relação ao tipo de tumor, estes são divididos em tumores benignos e tumores malignos. Os tumores benignos apresentam crescimento lento, expansivo e bem tolerado pelo organismo do hospedeiro, ou seja, permanecem localizados no ponto em que se originam não havendo ocorrência de metástase. No entanto a localização do tumor pode trazer complicações ao hospedeiro e as células são semelhantes ao tecido original. Raramente constituindo um risco de vida [18] e [19]. Os tumores malignos, ou câncer, tem crescimento rápido, incontrolável, de tipo infiltrativo (metástases) e produzem efeitos nocivos podendo levar à morte. Os tumores malignos derivados de tecidos epiteliais (pele ou mucosas) são chamados de carcinomas e os derivados de tecido de origem mesenquimal (tecido conjuntivo como osso, músculo ou cartilagem) são chamados de sarcomas. Um tumor maligno derivado de epitélio glandular é denominado adenocarcinoma e um tumor maligno derivado de tecido cartilaginoso, condrossarcoma.

3.1.2 Defesa do organismo

O mecanismo de defesa natural (sistema imunológico) possibilita a interrupção do processo de produção de células alteradas (reparando o DNA danificado pelos agentes cancerígenos) e sua eliminação subsequente (ação de enzimas). Esse sistema é constituído pelas células linfócitos que agem nas atividades do sistema imune, ou seja, na defesa no processo de carcinogênese.

As células atacam as células do corpo infectado por vírus oncogênicos (capazes de causar câncer) ou as células em transformação maligna secretando substâncias chamadas de linfocinas que regulam o crescimento e amadurecimento de outras células e o próprio sistema imune. Acredita-se que distúrbios em sua produção (ou mudanças nas respectivas estruturas) sejam as causas de doenças, principalmente do tumor.

3.1.3 Causas do câncer

As causas podem ser de dois tipos, como é exibido a seguir:

- Causas externas: nelas estão contidos o meio ambiente, hábitos ou costumes próprios de um ambiente social e cultural. Cerca de 80 a 90% dos casos estão associados a fatores ambientais.
- Causas internas: aqui estão contidos os genes pré-determinados (ligados à capacidade do organismo de se defender das agressões externas) e fatores casuais podendo interagir de várias formas, aumentando a probabilidade de transformação das células normais para malignas.

Os fatores de riscos ambientais de câncer são denominados como cancerígenos e afetam a estrutura genética (DNA) das células. O seu surgimento depende da intensidade e duração da exposição das células aos agentes causadores do câncer.

Uma célula pode sofrer alterações (mutação) do DNA, quando este material genético é alterado passando a receber instruções erradas para as suas atividades. Alguns genes especiais estão

inativos em seu estado normal (protooncogenes). Quando sofrem alterações, estas são ativadas transformando-se em oncogenes.

3.2 Câncer do esôfago

Todo câncer tem seu desenvolvimento inicial similar ao descrito no item 3.1. Dentre os diversos tipos de câncer, o objetivo de análise deste trabalho é o câncer do esôfago.

3.2.1 Anatomia

O esôfago é um tubo músculo membranoso, longo (aproximadamente 20 cm) e delgado unindo a faringe ao estômago (figura 23). É responsável em realizar as contrações por meio dos movimentos peristálticos, fazendo com que o bolo alimentar avance até o estômago. Sua estrutura normalmente é dividida em terço superior (próximo à boca), terço médio e terço inferior (próxima ao estômago).

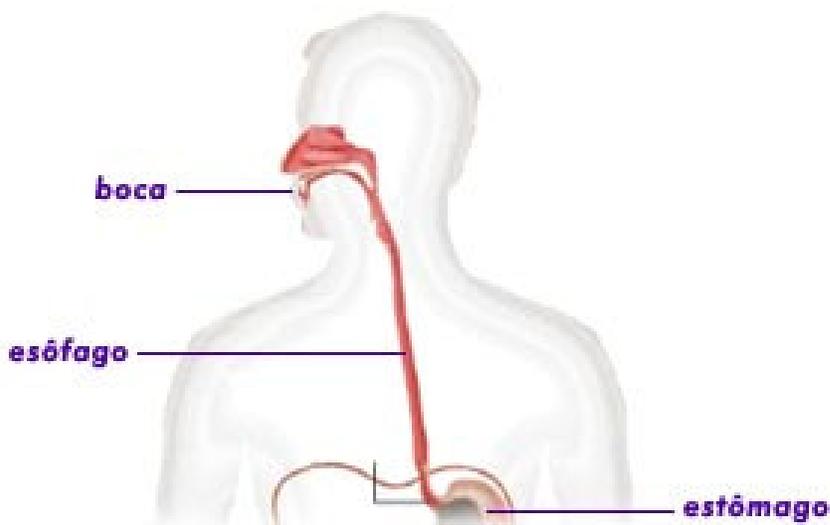


Figura 23 – Localização do esôfago no corpo humano.

3.2.2 Características

Segundo [18] e [20] o câncer do esôfago ocorre com maior probabilidade em indivíduos do sexo masculino (3:1), em indivíduos a partir de 50 anos e raramente antes do 40 anos. Em relação ao *ranking* dos tumores malignos é o 3^a em frequência entre os tumores malignos do aparelho digestivo, a 6^a causa de câncer no sexo masculino no Brasil, com 5.307 óbitos em 2000, a 8^a causa de câncer no sexo feminino, a 4^a maior causa de morte por câncer entre os homens e a 7^a maior causa de morte por câncer entre as mulheres. De acordo com a Estimativa de Incidência de Câncer no Brasil para 2006, devem ocorrer cerca de 10.580 casos novos deste câncer (7.970 entre os homens e 2.610 entre as mulheres). A incidência deste tipo de câncer no Brasil pode partir de 2,56% chegando a 5,02% no sul do país.

Possui uma alta taxa de incidência em países como China e na Ásia Central (Irã, Afeganistão e Sibéria). No Brasil, a região sul possui maior incidência de casos. Pode-se observar que nessas regiões existem hábitos culturais de ingestão de líquidos quentes.

De acordo com [18] e [20], pacientes com este tipo de câncer possuem uma sobrevida curta após 5 anos de tratamento, isto é, de 10% a 20% conseguem uma sobrevida de 5 anos. Grande parte dos profissionais acredita que o tratamento paliativo seja a única forma de beneficiar o paciente.

Uma característica para o surgimento do câncer do esôfago é a ausência de uma camada esofágica serosa, pois em sua ausência existe a tendência do favorecimento da disseminação local do tumor. Em 90% a 95% dos casos, há ocorrência do carcinoma de células escamosas. Este carcinoma se desenvolve principalmente no esôfago torácico na mucosa do esôfago e normalmente está associado à ingestão de álcool.

Esse câncer costuma comprometer o esôfago na seguinte proporção dos pacientes, 50% dos casos no terço médio do esôfago, 25% dos casos no terço inferior e 25% dos casos restantes no terço superior. Este câncer possui um comportamento agressivo, infiltrando-se localmente e alastrando-se para os gânglios linfáticos adjacentes e outros órgãos.

3.2.3 Fatores de risco e pré-condições

Os fatores de risco principais são o tabagismo (com mais de 20 cigarros ao dia ou produtos derivados do tabaco) e o consumo de álcool (com mais de 66 ml de etanol/dia). A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece que para se evitar problemas com o álcool, o consumo aceitável é de até três doses diárias de álcool para homens e para mulheres de duas doses, sendo que tanto homens quanto mulheres não devem beber por pelo menos dois dias na semana. Uma dose equivale a aproximadamente 285 ml de cerveja, 120 ml de vinho e aproximadamente 33 ml de destilado (whisky, vodka, pinga).

No entanto outros fatores devem ser considerados, como listados a seguir:

- Alimentação deficiente de vitaminas (A, B, C, Zn e Fe); alimentos ricos em gordura, pobres em fibras e em calorias; alimentos e bebidas ingeridos quentes e uso de condimentos.
- Paciente com estreitamento secundário devido à ingestão de cáusticos (lesão cáustica).
- Paciente com doença de refluxo gastroesofágico (DRGE), podendo tornar-se a doença de Esôfago de Barrett (transformação do tecido escamoso do terço inferior do esôfago em tecido colunar).
- Pacientes que realizaram operação gástrica anteriormente.
- Acalasia, ou seja, não relaxamento do EEI (Esfíncter Esofágico Inferior) e diminuição da motilidade do esôfago (geralmente causado pela doença de Chagas).
- Tilose (espessamento nas palmas das mãos e na planta dos pés).
- Agentes infecciosos (papiloma vírus - HPV).
- História pessoal de câncer de cabeça e pescoço ou pulmão.

Podemos citar outros fatores, no entanto os itens citados acima são os de maior ocorrência e estudos ([18], [20] e [21]).

Dentre os fatores citados, o de maior importância para o diagnóstico do paciente é a doença de refluxo gastroesofágico (DRGE). Esta doença se caracteriza pela pirose (queimação), que é o refluxo ácido do estômago passando para o esôfago devido ao momento incorreto da abertura do esfíncter esofágico inferior (a EEI é caracterizado por um anel muscular).

Quando a pirose (refluxo gastroesofágico) ocorre frequentemente de forma intensa e prolongada (longo período), pode ser danoso dando origem ao esôfago de Barrett (10% dos casos de refluxo podem se tornar doença de Barrett). Portanto quando esta é diagnosticada e tratada o câncer está em fase inicial. O câncer do esôfago é uma caso particular dessa doença, pois o esôfago de Barrett tem como característica a modificação do tecido do esôfago devido à irritação constante na sua superfície mucosa; futuramente esta modificação pode-se tornar um tumor maligno ([21], [22], [23] e [24]).

De acordo com [21], [22], [23] e [24], outras características do DRGE são a regurgitação (refluxo de pequenas quantidade sem vômito), a dor torácica, a disfagia (dificuldade de passagem do alimento da boca até o estômago) e a odinofagia (dor após engolir o alimento), a anemia, a esofagite e as hemorragias digestivas.

Por meio de exames de DRGE é possível realizar um pré-diagnóstico de câncer do esôfago além de verificar outras patologias no paciente. Além do histórico clínico (dados do paciente e exames) diversos exames complementares podem auxiliar no diagnóstico, podendo adicionar, confirmar ou excluir informações existentes. Alguns desses exames complementares são o raio-X contrastado, a pHmetria e a manometria.

3.2.4 Quadro clínico

O tumor em seu início é assintomático, por esta razão a detecção precoce do câncer do esôfago é difícil. Além das pré-condições citadas acima darem ao paciente maior chances de desenvolver o câncer, quando a doença se encontra em uma fase avançada, o ato de engolir o alimento se torna difícil (disfagia progressiva, pois progride de alimentos sólidos até alimentos pastosos e líquidos) ou dolorosa (odinofagia). A disfagia progressiva se manifesta de 80% a 90% dos doentes. A dificuldade de engolir pode se tornar dolorosa (odinofagia) em 50% dos casos, isto é devido à invasão do câncer em toda a parede do esôfago ou da compressão dos nervos espinhais.

Na fase de disfagia ou odinofagia existe a obstrução de 1/3 a 1/2 da luz no esôfago. A sialorréia é resultante da obstrução quase total da luz, impedindo a passagem da saliva. Por esta razão quando o câncer é diagnosticado com os sintomas acima (disfagia e odinofagia), na grande parte dos casos, o câncer já está em fase avançada.

Outras características como o emagrecimento (chegando até 10% do peso corporal), a rouquidão, tosse, dor retroesternal, dor torácica, sensação de obstrução à passagem do alimento, náuseas, vômitos e perda do apetite são sintomas freqüentes, mas não são características específicas.

3.2.5 Diagnóstico

O diagnóstico precoce pode ser feito por meio da endoscopia digestiva, estudos citológicos ou métodos com colorações especiais (azul de toluidina e lugol). Cabe lembrar que o diagnóstico precoce pode fazer com que as chances de cura atinjam 98%.

Para a presença de disfagia, principalmente para alimentos sólidos, é necessário os seguintes exames a seguir:

- Estudo radiológico contrastado;
- Endoscopia com biopsia (define o diagnóstico histológico da lesão e determina a extensão da disseminação tumoral longitudinal intramural);
- Ou citologia para confirmação.

Conhecer a extensão da doença, isto é, a fase da doença ou estadiamento é muito importante em função do prognóstico, pois esta possuindo uma agressividade biológica devido ao fato do esôfago não possuir uma camada serosa pode causar a infiltração local das estruturas adjacentes, e/ou a disseminação linfática, causando metástases hematogênicas com grande frequência.

Outros exames para verificação do estadiamento do câncer, em relação à profundidade de invasão tumoral e possibilidade de metástase são respectivamente a ecoendoscopia, a ultra-sonografia endoscópica e a Tomografia Computadorizada (TC) que avalia a espessura da parede do esôfago, a invasão direta do mediastino e a presença de metástase à distância e linfadenopatia regional.

O Raio X de tórax, a tomografia computadorizada, a broncoscopia e a ultra-sonografia endoscópica são realizados para identificação da fase (estadiamento) em que se encontra o câncer, para assim diagnosticar o melhor tratamento.

O raio X contrastado de esôfago (ou Esofagografia com bário) é utilizado para visualização da extensão e localização do tumor, distorção tumoral da luz e a presença da fístula ou obstrução. A endoscopia digestiva alta é responsável pela visualização da extensão do tumor e a presença de fístula e biopsia para posterior estudo histológico.

O PET-Scan fornece uma melhor precisão no diagnóstico de comprometimento linfonodal, além de poder avaliar o tratamento químico e radioterápico pré-preparatório linfonodal.

Outras formas de diagnósticos que podem ser utilizados são os marcadores como CEA, CA19-9 e CA50, no entanto, estes apresentam pouca sensibilidade diagnóstica.

Cabe lembrar que o exame histológico é o método ideal para diferenciar tumores benignos e malignos. Segundo [19] somente por meio da histologia é possível diferenciar de maneira segura a maioria dos tumores benignos e tumores malignos.

3.2.6 Classificação

Existem duas formas de classificar os cânceres quanto à sua malignidade, o grau de diferenciação e a fase de estágio em que se encontram.

O grau é baseado em características histológicas, ou seja, o grau de diferenciação de suas células, o polimorfismo, o número e o tipo de mitoses, a invasão de vasos ou dos limites com o tecido. Os cânceres são classificados de Grau I a Grau IV. Embora os graus sejam conferidos de acordo com os parâmetros de diferenciação, mitose e invasão vascular, os critérios para classificar como grau IV podem ser um pouco diferentes quando se trata de uma neoplasia do sistema nervoso central. Outro problema com a graduação dos tumores é a variação de padrões que pode ser encontrada em vários cortes de um mesmo tumor. Áreas com câncer maligno podem ter intensidades diferenciados.

O estágio de uma neoplasia procura definir as características do tumor quando diagnosticado, o tamanho do tumor, a extensão, a presença de metástase nos nódulos linfáticos e a presença ou ausência de metástase sistêmica ou por via sanguínea.

A união Internacional contra o câncer propôs um sistema de estadiamento (sistema TNM – Tumor, Nódulo linfático e Metástase). O sistema TNM não usa os mesmos critérios para todas as neoplasias, mas as regras para classificar TNM são adaptadas às características biológicas e clínicas de cada tipo de tumor. Os valores da classificação estão representados pelas tabelas 10, 11, 12 e 13.

Tabela 10 – Sistema de estadiamento TNM (Tumor-Node-Metastasis).

Estádio (Fase)	
0	$T_0N_0, T_{IS}N_0M_0$
I	$T_1N_0M_0$
IIa	$T_2N_0M_0, T_3N_0M_0$
IIb	$T_1N_1M_0, T_2N_1M_0$
III	$T_3N_1M_0, T_4N_{qq}M_0$
IVa	$T_{qq}N_{qq}M_{1a}$
IVb	$T_{qq}N_{qq}M_{1b}$

Tabela 11 – Legenda para tamanho do tumor.

Tamanho do tumor (T)	
T0:	Sem evidência de tumor
Tis:	Carcinoma in situ (displasia de alto grau)
T1:	Tumor restrito a submucosa
T2:	Tumor restrito a muscular própria
T3:	Tumor invade a adventícia
T4:	Tumor invade tecidos adjacentes

Tabela 12 – Legenda para linfonodo.

Linfonodos (N)	
N0	Sem metástase em linfonodos
N1	Coma, metástase em linfonodos regionais

Tabela 13 – Legenda para metástase.

Metástases (M)				
M0	Sem metástase			
M1	Com metástase	1/3 superior	M1a	Nos linfonodos celíacos
			M1b	Outras
		1/3 médio	M1a	Não se aplica
			M1b	Linfonodos não regionais e/ou metástases a distância
		1/3 inferior	M1a	Nos linfonodos cervicais
			M1b	Outras

3.2.7 Tratamento

Como dito anteriormente, quando diagnosticado o câncer do esôfago este se encontra em fase avançada. Nestes casos avançados a esofagectomia (a ressecção da neoplasia do esôfago) nem sempre é possível (menos de 30% dos doentes estão aptos para esofagectomia), devido ao estado avançado da doença e ao comprometimento de estruturas vizinhas. Portanto grande parte das vezes a palição é a única forma de tratamento de disfagia. Em relação aos cuidados paliativos são utilizadas dilatações com endoscopia, colocação de próteses auto-expansivas, assim como uso da braquiterapia.

Em relação ao estadiamento clínico, pacientes com doença localizada I ou IIa [21] são submetidas à ressecção do tumor ou à quimioterapia e radioterapia exclusivas. No entanto

doentes com tumor que invadem linfonodos, estruturas vizinhas ou com metástase são candidatos ao tratamento paliativo.

A quimioterapia e a radioterapia são indicadas nos tumores I, IIa ou b, III e IVa e alguns casos (tumores de terço distal) a cirurgia é indicada como única forma terapêutica.

Alguns estudos iniciais têm mostrado alta mortalidade dos doentes submetidos à quimioterapia e a radioterapia no pré-operatório (26%). Estudos mais recentes mostram que a mortalidade operatória está entre 4% e 11%.

4 Sistema de diagnóstico

4.1 Objetivo

O objetivo desta parte experimental é aplicar a teoria fuzzy para diagnosticar pessoas com risco de desenvolvimento do câncer do esôfago.

Alguns fatores que levaram ao desenvolvimento desse sistema foram o baixo desenvolvimento de softwares voltados para área da saúde utilizando inteligência artificial, carência de softwares de uso diário para as pessoas que trabalham nesta área e diagnósticos de algumas doenças que poderiam ser feitas com maior rapidez e menor custo com o uso da tecnologia. A escolha do câncer, restringindo ao câncer do esôfago como tema de estudo e desenvolvimento do sistema, se deve ao fato de ser uma doença agressiva em fase avançada e assintomática em sua fase inicial, dificultando o seu diagnóstico.

Em relação ao processo de diagnóstico (exames), todos eles envolvem um determinado custo. Dentre os exames que podem ser solicitados, a ultrasonografia endoscópica possui um maior custo, seguido da tomografia computadorizada (existem poucos equipamentos desse tipo no Brasil). Sistemas propostos como neste trabalho podem auxiliar na indicação dos exames apropriados para o paciente, minimizando os custos de tratamento. Para que o sistema consiga realizar as escolhas dos exames de maneira confiável é necessário que este seja adequadamente adaptado e ajustado (atuando nas variáveis de entrada) pois quanto maior e melhor as informações, mais precisos serão os resultados.

4.2 Aquisição de informações

Como primeira fase para construção do sistema, foi realizada uma pesquisa sobre as variáveis que poderiam fazer parte do sistema. Foram analisadas algumas anamneses, ou seja, prontuários de

pacientes para verificação dos campos mais relevantes. De acordo com [25], existe um padrão para geração de uma anamnes, no entanto, na prática alguns dos campos da anamnes são omitidos. Uma dificuldade na obtenção dos dados é o acesso aos prontuários pois as informações contidas são confidenciais. Por esta razão o material consultado para obtenção de informações sobre o câncer são valores estimados, onde estas possuem amostras chegando ao máximo de 100 pacientes. Um outro problema encontrado foi o fato das informações serem manuscritas, não havendo o armazenamento dessas em um banco de dados, causando perda de informações que poderiam ser de grande utilidade.

Em relação ao armazenamento de informações, estas são gravadas de forma seqüencial, não havendo uma normalização dos dados (utilização de software não profissional servindo apenas como repositório de informações). A normalização em banco de dados é um conceito importante para obtenção de associação de padrões pois novas relações entre uma série de dados no tempo podem ser descobertas. Existem situações onde a descoberta de novas informações por meio de associações envolvem incertezas ou dúvidas, caracterizando a utilização do sistema fuzzy [26], [27] e [28] dentro da base de dados. A normalização das informações não faz parte deste estudo.

Com a verificação dos campos do prontuário foi realizado uma pré-classificação das informações, ou seja, com auxílio de uma pessoa com conhecimento da área (especialista) conseguiu-se realizar um pré-processamento das informações, dando forma à base de conhecimento do sistema e ao próprio sistema. As principais fases do sistema de diagnóstico podem ser vistos na figura 24.

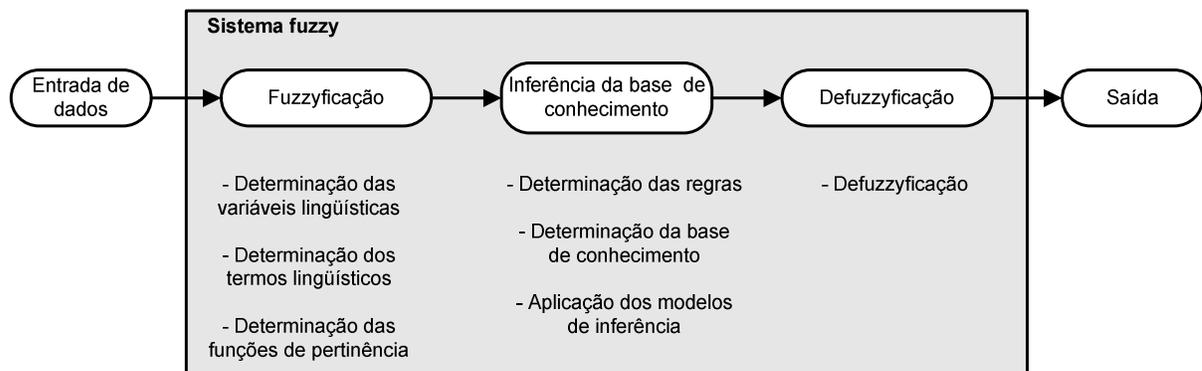


Figura 24 – Principais fases de um sistema fuzzy.

A primeira fase para construção do sistema consiste na fuzzyficação das informações, esta fase está diretamente relacionada ao câncer, pois verificaram-se os diversos fatores que poderiam levar ao desenvolvimento do câncer do esôfago. Inicialmente, no sistema de diagnóstico de câncer do esôfago foram utilizadas como variáveis lingüísticas o tabagismo (fator de risco), o consumo de álcool (fator de risco), a idade (fator de risco) e a evolução do esôfago de Barrett (doença de refluxo). Estas variáveis foram escolhidas pois possuem uma importância significativa em relação às outras variáveis ([18], [20] e [21]).

Com as variáveis lingüísticas definidas para o sistema é necessário realizar as seguintes tarefas:

- Escolher os termos lingüísticos representados pelos conjuntos fuzzy, ou seja, os termos lingüísticos para cada variável.
- Dividir o espaço das variáveis utilizadas no sistema em subespaços fuzzy.
- Adotar as funções de pertinência que caracterizam os conjuntos fuzzy.
- Elaborar as regras para a base de conhecimento (este item se encaixa na fase de inferência das regras e formação da base de conhecimento).

O principal problema encontrado na definição do conjunto fuzzy relacionado a cada variável foram as definições dos valores limites que representam as divisões de subespaços para cada termo em análise. Essas dificuldades são devidas pelo desencontro de informações, ou seja, algumas fontes consultadas apresentavam índices diferentes para o mesmo item em análise. Segundo [29] devido à diferença de valores sobre um mesmo índice em análise, é necessário cuidados com o uso dessas informações contidas nos mais diversos canais de comunicação. E a falta de índices de referência para a situação da região onde se pretende implantar o sistema. Por esta razão alguns valores de referência adotados no sistema foram obtidos de outras regiões.

As características das variáveis utilizadas no sistema são descritas a seguir.

Segundo [30], para o tabagismo (variável lingüística Cigarro, que indica o consumo de cigarro) a possibilidade de desenvolvimento de câncer do esôfago é agravada quando o consumo de cigarros é acima de 20 unidades ao dia (figura 25).

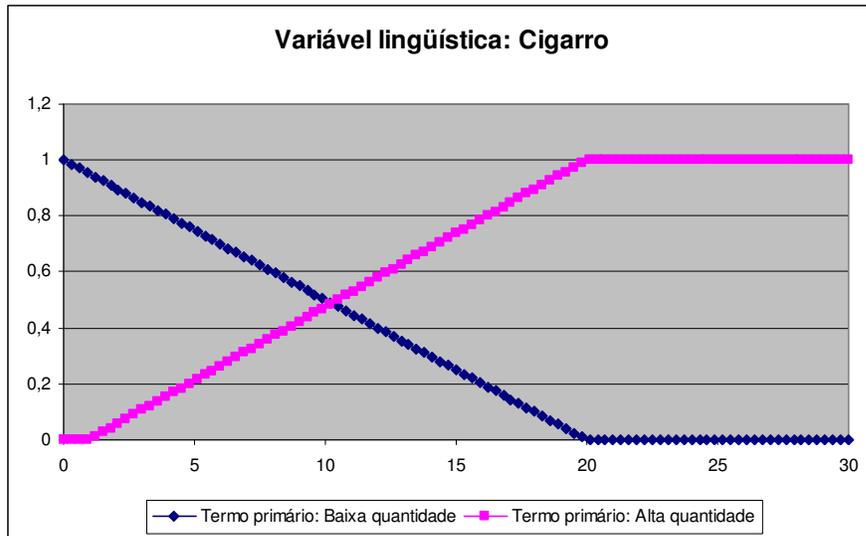


Figura 25 – Conjunto fuzzy relacionado à variável Cigarro.

Segundo [30] e [31] para o consumo de álcool (variável linguística Álcool) é considerado consumo leve até 36 ml/dia, consumo moderado até 66 ml/dia e consumo pesado para ingestão de valores acima de 105 ml/dia.

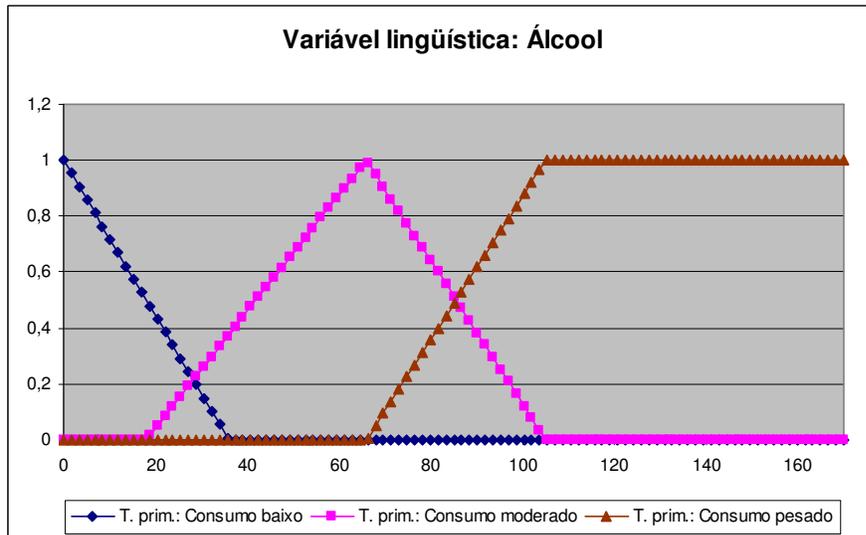


Figura 26 - Conjunto fuzzy relacionado à variável álcool.

Segundo [18] e [30] (variável linguística Idade) o câncer do esôfago ocorre com maior probabilidade em indivíduos a partir de 70 anos e raramente antes do 40 anos (figura 27).

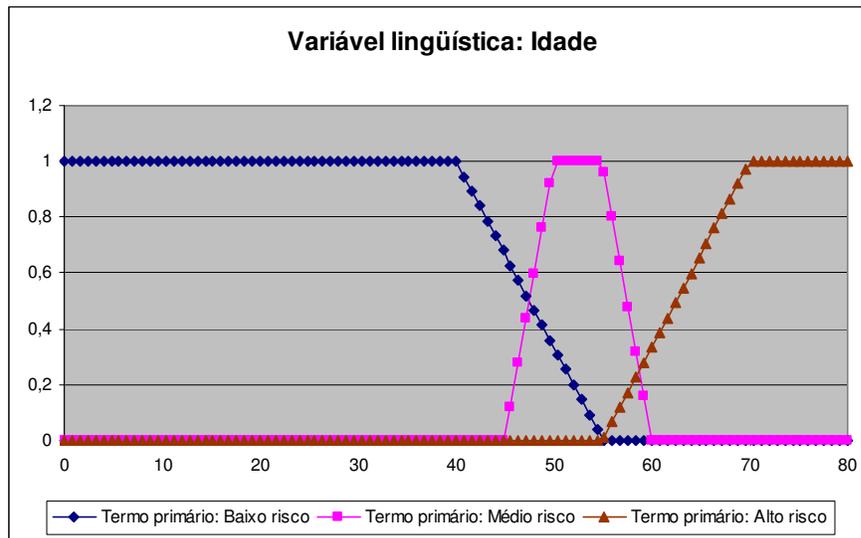


Figura 27 - Conjunto fuzzy relacionado à variável Idade.

O gráfico relacionado com o esôfago de Barrett [23] (variável lingüística Barrett) indica que mudanças das paredes do esôfago com extensão maiores de 3 cm são casos de grande probabilidade de tornarem-se um câncer do esôfago. Para mudanças menores de 3 cm, o paciente requer cuidados (acompanhamento constante). Quando há ocorrência de mudanças menores de 0,5 cm o paciente deve estar em observação.

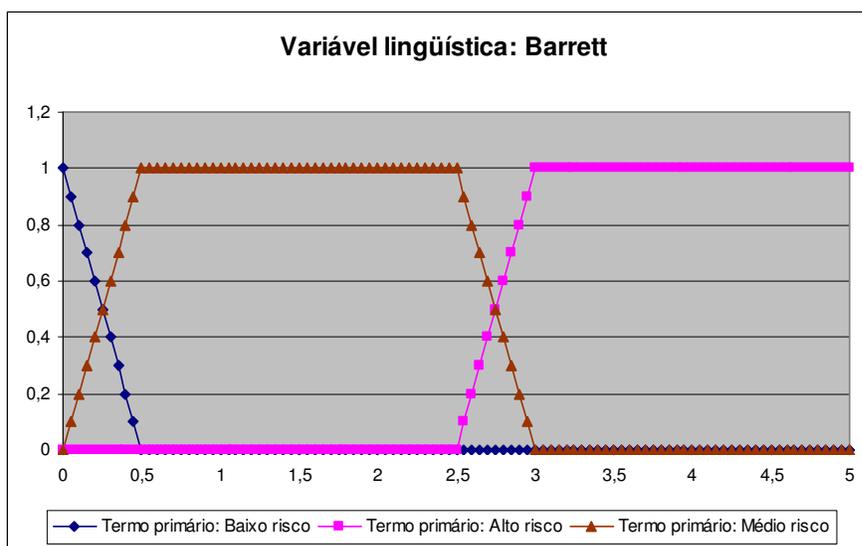


Figura 28 - Conjunto fuzzy relacionado à variável doença de Barrett.

Com os gráficos 25, 26, 27 e 28 pode-se notar cada universo de discurso formado com suas respectivas variáveis lingüísticas de entrada, termos primários e funções de pertinência, criando assim o conjunto fuzzy e finalizando o processo de fuzzyficação do sistema. Convém observar que a inclusão de novas variáveis (ou seja, novos índices) para o sistema, seguem os mesmos procedimentos de determinação de termos e podem melhorar resultados tornando-os mais precisos.

A próxima etapa consiste na preparação de interface do sistema onde o usuário fornecerá os valores de entrada. Em paralelo com o desenvolvimento inicial do sistema (interface) são criadas as regras que fazem parte da base de conhecimento (processo de inferência).

Tabela 14 – Base de conhecimento.

Base de conhecimento				
Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado
bu	rb	bq	cb	O resultado depende do modelo de inferência adotado
bu	rb	bq	cm	
bu	rb	bq	cp	
bu	rb	aq	cb	
bu	rb	aq	cm	
bu	rb	aq	cp	
bu	rm	bq	cb	
bu	rm	bq	cm	
bu	rm	bq	cp	
bu	rm	aq	cb	
bu	rm	aq	cm	
bu	rm	aq	cp	
bu	ra	bq	cb	
bu	ra	bq	cm	
bu	ra	bq	cp	
bu	ra	aq	cb	
bu	ra	aq	cm	
bu	ra	aq	cp	
bc	rb	bq	cb	
bc	rb	bq	cm	
bc	rb	bq	cp	
bc	rb	aq	cb	
bc	rb	aq	cm	
bc	rb	aq	cp	
bc	rm	bq	cb	
bc	rm	bq	cm	
bc	rm	bq	cp	
bc	rm	aq	cb	
bc	rm	aq	cm	
bc	rm	aq	cp	
bc	ra	bq	cb	
bc	ra	bq	cm	
bc	ra	bq	cp	
bc	ra	aq	cb	
bc	ra	aq	cm	
bc	ra	aq	cp	
bl	rb	bq	cb	
bl	rb	bq	cm	
bl	rb	bq	cp	
bl	rb	aq	cb	
bl	rb	aq	cm	
bl	rb	aq	cp	
bl	rm	bq	cb	
bl	rm	bq	cm	
bl	rm	bq	cp	
bl	rm	aq	cb	

Tabela 15 – Legenda.

Legenda		
Barrett	bu	Barret – ultra curto
	bc	Barrett - curto
	bl	Barrett - longo
Idade	rb	risco baixo
	rm	risco médio
	ra	risco alto
Cigarro	bq	baixa quantidade
	aq	alta quantidade
Álcool	cb	consumo baixo
	cm	consumo moderado
	cp	consumo pesado

bl	rm	aq	cm	
bl	rm	aq	cp	
bl	ra	bq	cb	
bl	ra	bq	cm	
bl	ra	bq	cp	
bl	ra	aq	cb	
bl	ra	aq	cm	
bl	ra	aq	cp	

A tabela 14 é parte da representação das regras que compõem a base de conhecimento, pois para cada possibilidade (regra de saída) é atribuído um valor de acordo com a opinião de um especialista ou profissional da área (médico). Este valor atribuído pode ser o termo da variável de saída (variável lingüística Resultado) ou peso. A utilização de uma variável de saída ou peso é adotado de acordo com o modelo de inferência (discutido nos itens 2.3.6 e 2.3.7). O número de regras é determinado pela quantidade de termos de cada variável em análise. Como inicialmente, temos quatro variáveis (Barrett, Idade, Cigarro e Álcool) contendo respectivamente 3, 3, 2 e 3 termos, são criadas 54 regras nesta base de conhecimento.

$$\text{Número de regras} = \prod_{i=1}^N \text{termos}_i \quad (\text{eq 28})$$

onde

- *termos*: representa a quantidade de termos adotados na variável *i*;
- *i*: representa a variável em análise.

As próximas etapas dependem do modelo de inferência adotado e do valor informado pelo usuário pois para cada valor fornecido é gerado um resultado final. Por meio dos valores de entrada (Barrett, Idade, Cigarro e Álcool) fornecidos pelo usuário são encontrados os respectivos graus de pertinência para cada termo definido. A partir dos graus de pertinência e das regras definidas é encontrado o valor mínimo de cada regra.

Após encontrado o valor mínimo de cada regra estas são utilizadas de acordo com o modelo de inferência adotado (Mamdani e Sugeno). Com o resultado obtido pelo modelo de inferência é realizada a interpretação desse resultado.

4.3 Modelagem do sistema

Toda modelagem do sistema foi desenvolvida na planilha eletrônica Excel. A adoção dessa ferramenta é devido à facilidade de modelagem e programação, além de ser uma ferramenta encontrada (ou instalada) em grande parte das empresas e domicílios. A facilidade de modelagem é devido à inserção de todas as etapas de forma visual, isto é, os dados e cálculos podem ser tabulados em uma única planilha ou várias planilhas (onde cada planilha pode simular passos do processo). Além dessa facilidade de visualização e uso de funções pré determinadas é possível gerenciarmos o fluxo de informação por meio de macros (*script* que possibilita a criação de procedimentos e funções) que podem ser criadas por meio da linguagem VBA (Visual Basic for Application) dentro da planilha.

O sistema de diagnóstico é formado por quatro planilhas principais e uma auxiliar, assim nomeadas Interface (responsável pela entrada dos dados e exibição do resultado), Cálculos (responsável pela determinação dos graus de pertinência dos valores de entrada, obtenção do valor mínimo de cada regra, classificação dos valores mínimos de acordo com o modelo de inferência adotado e obtenção do resultado a ser interpretado - defuzzyficação), Base de conhecimento (nesta planilha são colocadas as regras - inferência das variáveis lingüísticas - a serem utilizadas na planilha Cálculos) e Gráficos-pontos (nesta planilha são definidos os intervalos dos termos de cada variável lingüística e, também, é responsável pela geração dos gráficos de cada variável de entrada e saída). Por meio destas planilhas é possível acompanharmos todo o processo de fuzzyficação, inferência e defuzzyficação do sistema.

Apesar de possuir a vantagem de acompanhar todo o processo visualmente, algumas desvantagens dessa ferramenta são em relação ao tempo de resposta do sistema e o número de

regras a serem colocadas. O tempo de resposta se deve à quantidade de informações, fórmulas (funções pré-definidas) e macros utilizadas, quanto maior o uso dessas, mais lento a planilha responderá. Existe também a limitação do número de regras que é devido a capacidade de cada planilha suportar até 65.536 linhas.

Como citado anteriormente, o sistema foi implementado com dois modelos de inferência, o modelo de Mamdani e o modelo de Sugeno. Para que tenhamos um bom desempenho foram criadas duas planilhas, cada uma utilizando um modelo de inferência. Apesar de existirem duas planilhas alguns cálculos são comuns para ambas.

Para um melhor entendimento do sistema desenvolvido no Excel, o seu funcionamento é mostrado por meio do fluxograma indicado pela figura 29.

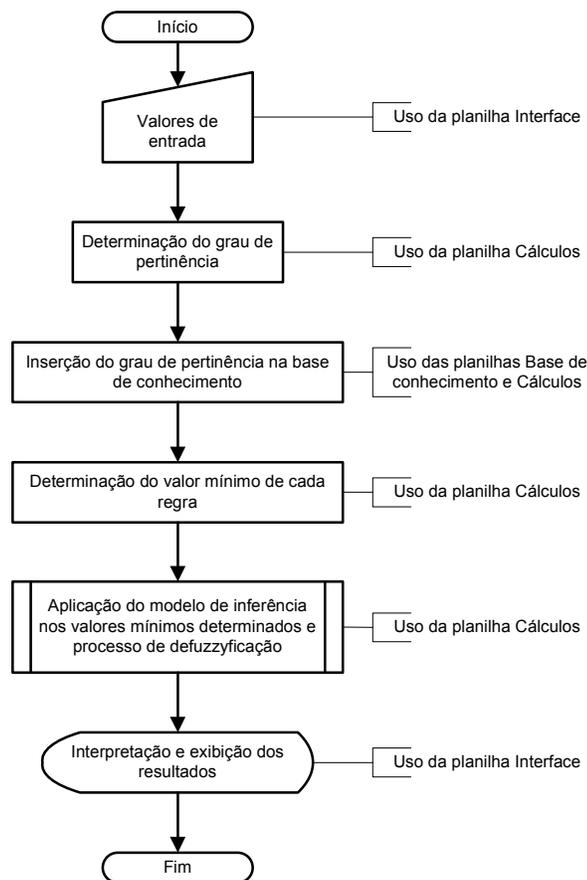


Figura 29 – Diagrama comparativo das planilhas criadas no Excel, com suas respectivas tarefas e as etapas de um sistema fuzzy.

Uma planilha comum aos dois modelos é a planilha Interface. Como dito anteriormente nesta planilha são digitados os dados do paciente em relação à idade, ao consumo de cigarro, ao consumo de álcool e a verificação da existência da doença de Barrett (dimensão da doença). Ver figura 30 para melhor visualização.

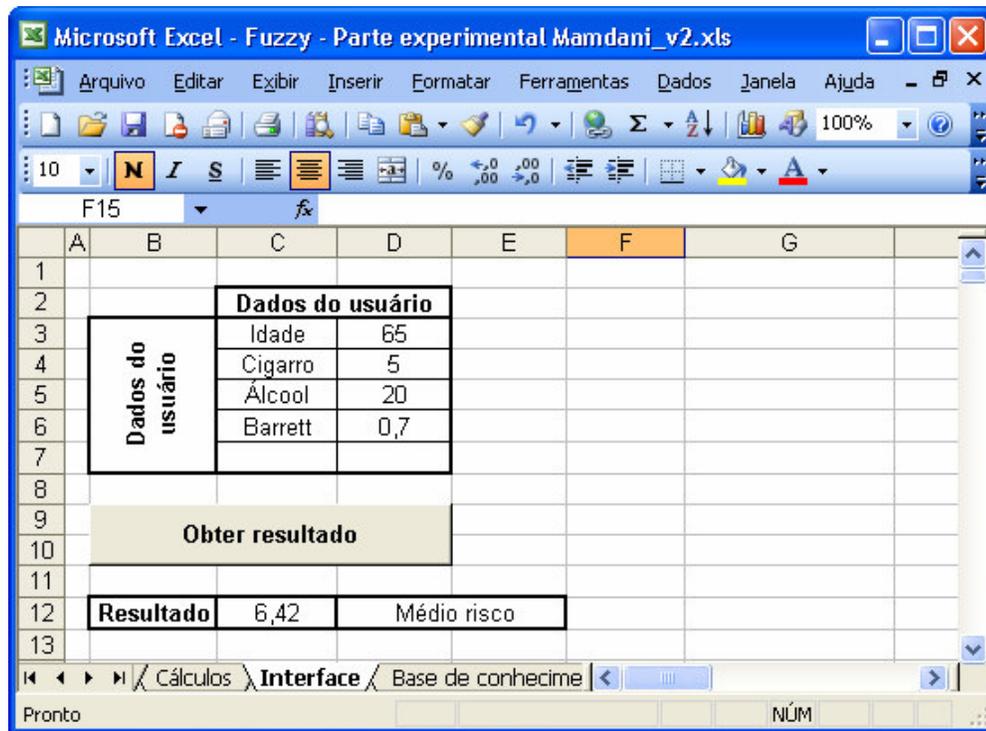


Figura 30 - Planilha Interface.

O botão *Obter resultado* ao ser clicado (figura 30) fornece o resultado numérico e a sua interpretação, ou seja, indicando a condição do paciente (Alto risco, Baixo risco ou Médio risco) de estar com câncer de esôfago.

Outra planilha comum aos modelos adotados é a Gráficos-pontos. Nela, como dito anteriormente, foram definidos os intervalos de cada termo lingüístico das variáveis lingüísticas adotadas. Os intervalos adotados para o sistema são descritos na tabela 16.

Tabela 16 - Intervalos dos termos de cada variável utilizada no sistema.

Variável	Intervalo		Baixo		Médio				Alto	
	Inicial	Final	Pto ₁	Pto ₂	Pto ₁	Pto ₂	Pto ₃	Pto ₄	Pto ₁	Pto ₂
Idade	20	80	40	55	45	50	55	60	55	70
Cigarro	1	30	0	20	-	-	-	-	1	20
Álcool	0	170	0	36	18	66	66	105	66	105
Barrett	0	5	0	0,5	0	0,5	2,5	3	2,5	3

Com a tabela 16 podem-se mostrar as informações a seguir:

- Partição do universo de discurso das variáveis lingüísticas de entrada. Os valores contidos nas colunas Inicial e Final representam o intervalo do universo de discurso de cada variável. Já os valores contidos nas colunas Baixo, Médio e Alto representam os intervalos (ou subintervalos do universo de discurso) de cada termo lingüístico. As colunas Baixo, Médio e Alto representam os termos das variáveis Idade, Cigarro, Álcool e Barrett.
- Definição dos universos de discursos definidos por meio das variáveis lingüísticas e respectivos termos primários utilizados no sistema.
- Os valores dos intervalos podem ser alterados (intervalos) possibilitando também realização de ajustes dos termos (calibração).
- Definição dos pontos das funções características de cada termo para realizar a obtenção dos respectivos graus de pertinência.

Como exemplo de cálculo são adotados os valores de entrada da figura 30.

A resolução gráfica pode ser vista nas figuras 31, 32, 33 e 34, onde cada valor de entrada é colocado no seu respectivo gráfico (linha vertical). A linha vertical (valor de entrada) pode passar por um ou mais termos; essa passagem é a intersecção fuzzy de cada termo. Com a intersecção são encontrados os graus de pertinência correspondentes ao valor de entrada (linha horizontal), ou seja, intersecção do valor de entrada com seu respectivo grau de pertinência.

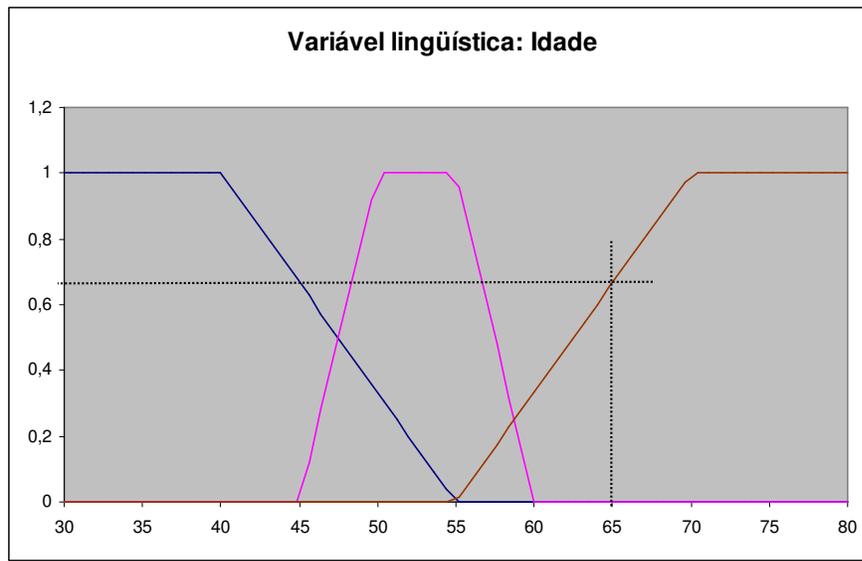


Figura 31 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 65 anos.

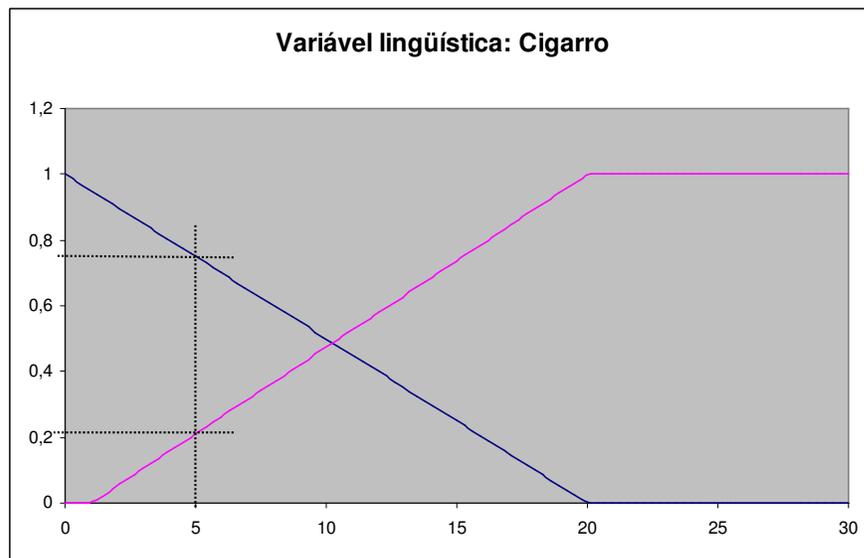


Figura 32 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 5 cigarro/dia.

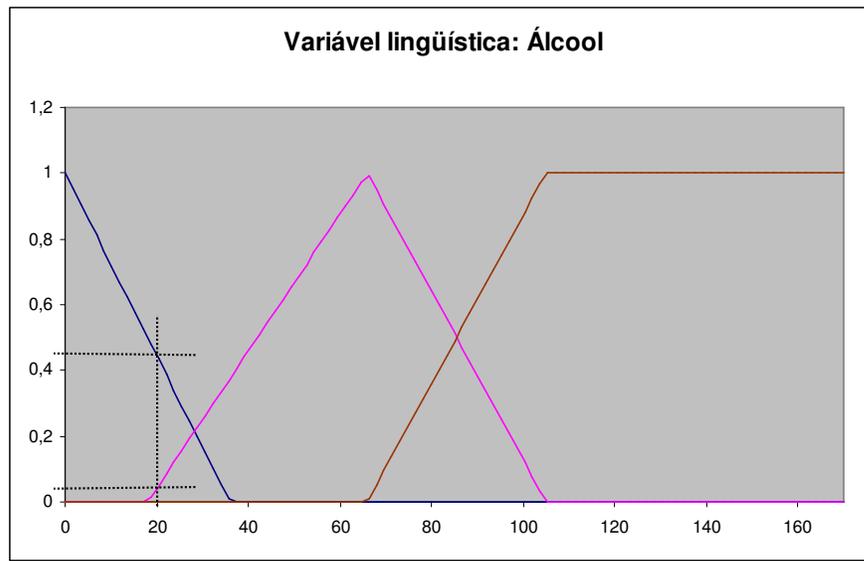


Figura 33 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 20 ml/dia.

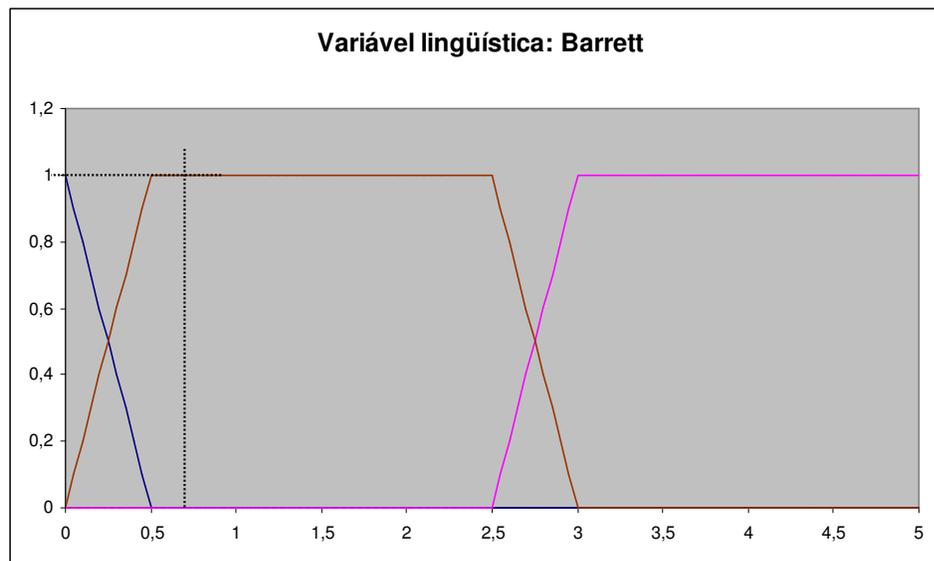


Figura 34 – Determinação do grau de pertinência para o valor de entrada 0,7cm.

Os valores (graus de pertinência) encontrados graficamente por meio dos valores de entrada digitados pelo usuário estão representados na tabela 17.

Tabela 17 – Grau de pertinência para cada termo.

Variável	Valor digitado	Termos	Valor normalizado
Idade	65	Risco baixo	0
		Risco médio	0
		Risco alto	0,67
Cigarro	5	Baixa quantidade	0,75
		Alta quantidade	0,21
Álcool	20	Consumo baixo	0,44
		Consumo médio	0,04
		Consumo alto	0
Barrett	0,7	Barret – ultra curto	0
		Barret – curto	1
		Barret – longo	0

Para a planilha Cálculos, a obtenção dos graus de pertinência a partir dos dados de entrada (digitados na planilha Interface) e o uso da base de dados (planilha Base de conhecimento) são comuns para ambos os modelos. Os graus encontrados na planilha Cálculos são determinados por meio de uma função criada em VBA chamada Trapezio. Seu fluxograma é indicado na figura 35 e logo a seguir é exibido seu respectivo código (código fonte 1) com comentários sobre seu funcionamento.

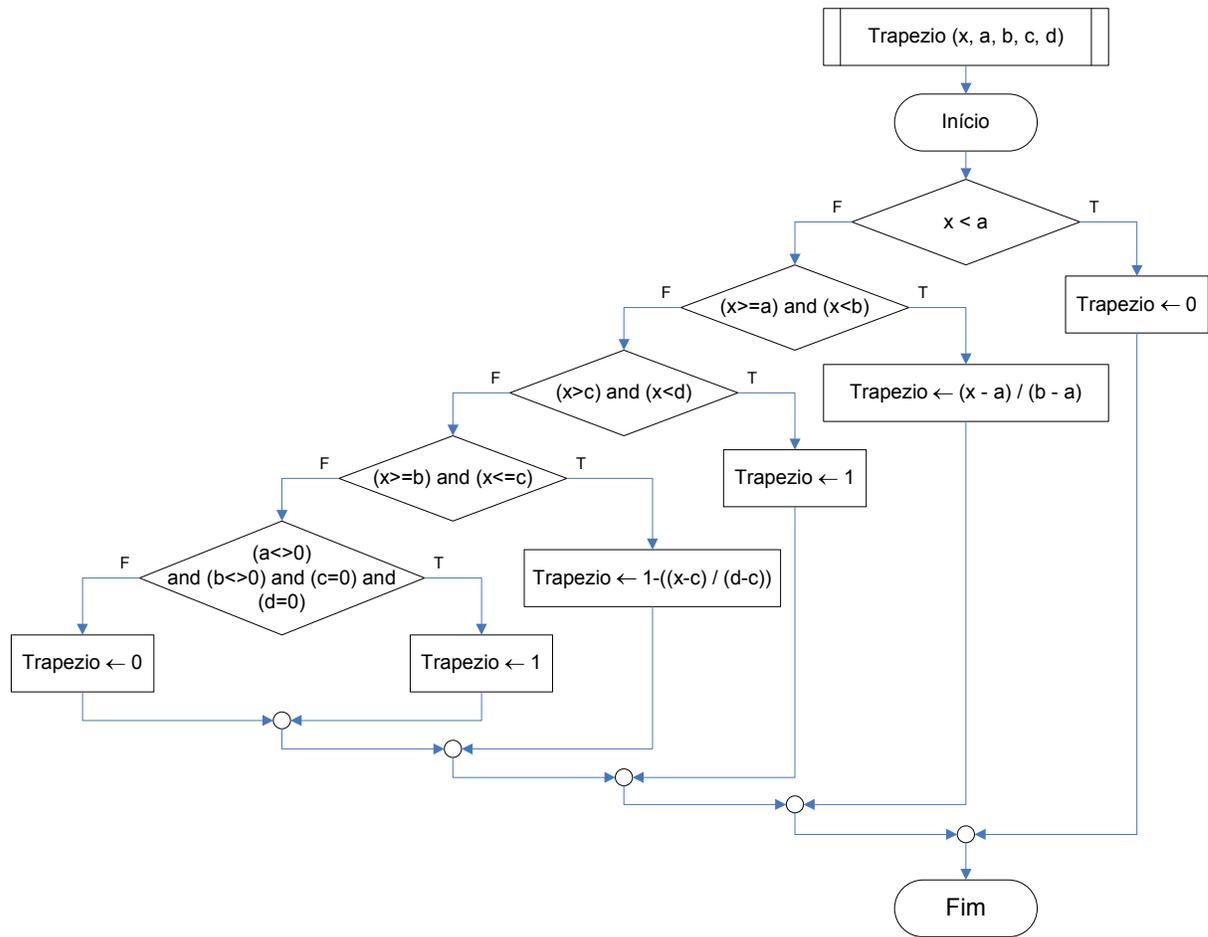


Figura 35 – Fluxograma da função Trapezio.

Como dito anteriormente a planilha Cálculos possui como um dos objetivos realizar a obtenção dos graus de pertinência dos dados de entrada (uso da função Trapezio - figura 35 e código fonte 1) para os respectivos termos.

' Descrição: Esta função tem como objetivo achar os pontos (graus de pertinência) de cada termo da variável em estudo de acordo com os parâmetros recebidos. ***'

'Parâmetros da função Trapezio:

' x: valor do ponto a ser colocado na função.

' a: valor inicial para a rampa de subida

' b: valor final para a rampa de subida

' c: valor inicial para a rampa de descida

' d: valor final para a rampa de descida

```

Function Trapezio(x, a, b, c, d As Double) As Double

If x < a Then
    Trapezio = 0
ElseIf ((x >= a) And (x < b)) Then
    Trapezio = (x - a) / (b - a)
ElseIf ((x >= b) And (x <= c)) Then
    Trapezio = 1
    ElseIf ((x > c) And (x < d)) Then
        Trapezio = 1 - ((x - c) / (d - c))
        ElseIf (a <> 0) And (b <> 0) And (c = 0) And (d = 0) Then
            Trapezio = 1
            Else
                Trapezio = 0
End If

```

Código fonte 1 - Função Trapezio.

Com as regras de inferência definidas (localizados na planilha Base de Conhecimento) é inserido em cada termo lingüístico de entrada (precedentes) a função Trapezio com seus respectivos intervalos (figura 36) na planilha Cálculos. Portanto ao serem digitados os valores de entrada os respectivos graus de pertinência são encontrados pela função Trapezio, como é exibido na tabela 18.

Termo	Variável Álcool
Consumo baixo	=Trapezio(Interface!D\$5;0;0;'Gráficos-pontos'!E\$5;'Gráficos-pontos'!F\$5)
Consumo moderado	=Trapezio(Interface!D\$5;'Gráficos-pontos'!G\$5;'Gráficos-pontos'!H\$5;'Gráficos-pontos'!I\$5;'Gráficos-pontos'!J\$5)
Consumo pesado	=Trapezio(Interface!D\$5;'Gráficos-pontos'!K\$5;'Gráficos-pontos'!L\$5;0;0)
Termo	Variável Cigarro
Baixa quantidade	=Trapezio(Interface!D\$4;0;0;'Gráficos-pontos'!E\$4;'Gráficos-pontos'!F\$4)
Alta quantidade	=Trapezio(Interface!D\$4;'Gráficos-pontos'!K\$4;'Gráficos-pontos'!L\$4;0;0)

Termo	Variável Idade
Baixo risco	=Trapezio(Interface!D\$3;0;0;'Gráficos-pontos'!E\$3;'Gráficos-pontos'!F\$3)
Médio risco	=Trapezio(Interface!D\$3;'Gráficos-pontos'!G\$3;'Gráficos-pontos'!H\$3;'Gráficos-pontos'!I\$3;'Gráficos-pontos'!J\$3)
Alto risco	=Trapezio(Interface!D\$3;'Gráficos-pontos'!K\$3;'Gráficos-pontos'!L\$3;0;0)

Termo	Variável Barrett
Barret – ultra curto	=Trapezio(Interface!D\$6;0;0;'Gráficos-pontos'!E\$6;'Gráficos-pontos'!F\$6)
Barret – curto	=Trapezio(Interface!D\$6;'Gráficos-pontos'!G\$6;'Gráficos-pontos'!H\$6;'Gráficos-pontos'!I\$6;'Gráficos-pontos'!J\$6)
Barret – longo	=Trapezio(Interface!D\$6;'Gráficos-pontos'!K\$6;'Gráficos-pontos'!L\$6;0;0)

Figura 36 - Utilização da função Trapezio com seus respectivos parâmetros.

Após a base de conhecimento ser preenchida pelos graus de pertinência (tabela 18), para cada regra é obtido seu valor mínimo (tabela 18 coluna Min).

A obtenção do valor mínimo (eq 24) é realizado por meio da função MÍNIMO(intervalo); função pré-definida do Excel. O valor mínimo é encontrado passando como parâmetro o intervalo das células a serem utilizadas. Por exemplo, ao ser definido o intervalo C3:F3 contendo os graus (0,00; 0,00; 0,75 e 0,44) e aplicando a este intervalo a função MÍNIMO é obtido o valor mínimo 0,00.

Tabela 18 – Graus de pertinência e o valor mínimo encontrado para cada regra.

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min
0,00	0,00	0,75	0,44	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,44	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,44	0,00
0,00	0,67	0,75	0,04	0,00
0,00	0,67	0,75	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min
0,00	0,67	0,21	0,44	0,00
0,00	0,67	0,21	0,04	0,00
0,00	0,67	0,21	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,44	0,00
1,00	0,00	0,75	0,04	0,00
1,00	0,00	0,75	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,44	0,00
1,00	0,00	0,21	0,04	0,00
1,00	0,00	0,21	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,44	0,00
1,00	0,00	0,75	0,04	0,00
1,00	0,00	0,75	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,44	0,00
1,00	0,00	0,21	0,04	0,00
1,00	0,00	0,21	0,00	0,00
1,00	0,67	0,75	0,44	0,44
1,00	0,67	0,75	0,04	0,04
1,00	0,67	0,75	0,00	0,00
1,00	0,67	0,21	0,44	0,21
1,00	0,67	0,21	0,04	0,04
1,00	0,67	0,21	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,44	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,44	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,44	0,00
0,00	0,67	0,75	0,04	0,00
0,00	0,67	0,75	0,00	0,00
0,00	0,67	0,21	0,44	0,00
0,00	0,67	0,21	0,04	0,00
0,00	0,67	0,21	0,00	0,00

Em resumo, nesta parte comum aos dois modelos do sistema, segundo [1], [6], [7] e [8], ocorreu a definição das variáveis lingüísticas com respectivos termos primários e funções de pertinência a partir de um problema proposto, ou seja, a realização do processo de fuzzyficação das entradas do problema, que é constituído por 11 termos fuzzy divididos em 4 conjuntos (variáveis) e a formação de parte do conjunto de regras fuzzy (regras de produção) que deram origem à base de

conhecimento (tabela 14). As regras de produção formadas pelo especialista (coluna Resultado da tabela 14 que representa o processo de inferência) formarão as tabelas 20 e 24. Nesta fase o especialista ou a pessoa que possui o conhecimento do problema em análise atribuirá um valor na saída de cada regra, esta atribuição conhecida como processo de inferência é realizada por meio da estrutura condicional SE-ENTÃO, ou seja, por meio dos precedentes (variáveis lingüísticas de entrada com seus respectivos termos primários) são gerados os consequentes associando-os com as variáveis lingüísticas de saída com seus respectivos termos primários.

Com as variáveis lingüísticas de entrada e a base de conhecimento (regras) definidos, é possível realizar a modelagem do modelo de inferência do sistema de diagnóstico. Como citado anteriormente, foram implementados os dois modelos de inferência o modelo de inferência de Mamdani e o modelo de inferência de Sugeno. Após a descrição desses modelos de inferência no Excel são realizadas algumas simulações. Ao final, é realizado um comparativo entre os resultados dos dois modelos de inferência.

4.3.1 Implementação do modelo de Mamdani

O modelo de inferência de Mamdani tem como característica o uso de uma variável lingüística de saída, pois a resposta de saída depende desta variável (variável Resultado).

A variável lingüística Resultado é definida de acordo com a incidência do câncer de esôfago, da doença de Barret e outras doenças relacionadas ao esôfago, sendo esta classificada em Alto risco, Médio risco e Baixo risco respectivamente. Devido a esta dependência foram definidos os intervalos da variável Resultado conforme mostra a tabela 19. A tabela 19 é similar à tabela 16 (somente os intervalos da variável Resultado foram acrescentados). O gráfico da variável Resultado é indicado pela figura 37.

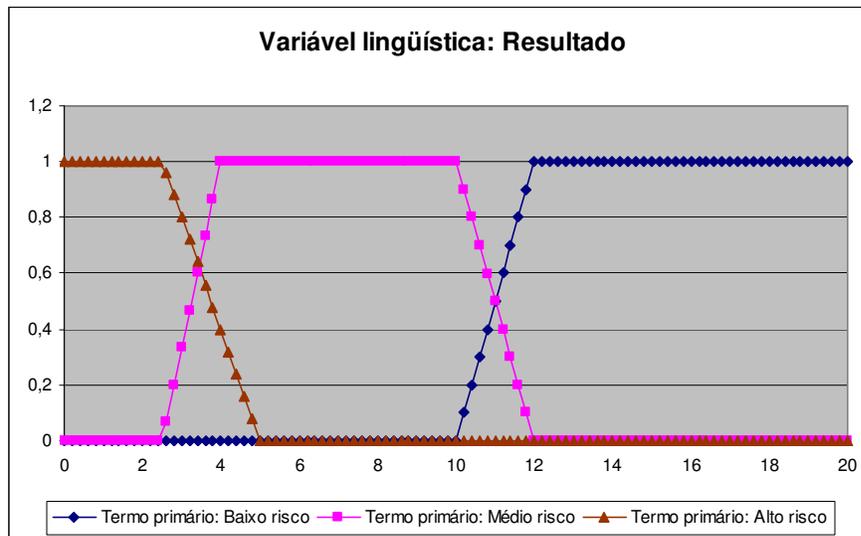


Figura 37 - Conjunto fuzzy relacionado à variável de saída.

A classificação dos resultados está associada à forma como o paciente é tratado. Um Baixo risco significa que este apresenta sintomas iniciais ou outra doença relacionado ao esôfago e deve estar em observação (em alerta) médica. Para o Médio risco, o paciente já apresenta a doença de Barrett e exames complementares (exames mais detalhados) devem ser solicitados. Um acompanhamento freqüente deve ser feito, para verificar o avanço ou o desenvolvimento da doença de Barrett. Para o Alto risco, a doença de Barrett já está em um estado avançado podendo se tornar um câncer do esôfago, portanto, nesta fase são solicitados exames complementares (exames mais detalhados com biópsia) para confirmação da existência ou não do tumor e o paciente deve estar em acompanhamento permanente.

Tabela 19 – Partição do universo de discurso das variáveis de entrada e saída.

Variável	Intervalo		Baixo		Médio				Alto	
	Inicial	Final	Pto ₁	Pto ₂	Pto ₁	Pto ₂	Pto ₃	Pto ₄	Pto ₁	Pto ₂
Idade	20	80	40	55	45	50	55	60	55	70
Cigarro	1	30	0	20	-	-	-	-	1	20
Álcool	0	170	0	36	18	66	66	105	66	105
Barrett	0	5	0	0,5	0	0,5	2,5	3	2,5	3
Resultado	0	20	10	12	2,5	4	10	12	2,5	5

Em seguida, para o modelo de Mamdani foram definidas as regras de pertinência representando os conseqüentes na coluna Resultado (tabela 20) com auxílio de pessoa com conhecimento do problema.

Tabela 20 - Formação das regras de saída (conseqüente) por meio da variável Resultado.

Base de conhecimento					
Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado
1	bu	rb	bq	cb	b
2	bu	rb	bq	cm	b
3	bu	rb	bq	cp	m
4	bu	rb	aq	cb	b
5	bu	rb	aq	cm	b
6	bu	rb	aq	cp	m
7	bu	rm	bq	cb	b
8	bu	rm	bq	cm	b
9	bu	rm	bq	cp	m
10	bu	rm	aq	cb	m
11	bu	rm	aq	cm	m
12	bu	rm	aq	cp	m
13	bu	ra	bq	cb	b
14	bu	ra	bq	cm	b
15	bu	ra	bq	cp	m
16	bu	ra	aq	cb	m
17	bu	ra	aq	cm	m
18	bu	ra	aq	cp	m
19	bc	rb	bq	cb	m
20	bc	rb	bq	cm	m
21	bc	rb	bq	cp	m
22	bc	rb	aq	cb	m
23	bc	rb	aq	cm	m
24	bc	rb	aq	cp	a
25	bc	rm	bq	cb	m
26	bc	rm	bq	cm	m
27	bc	rm	bq	cp	a
28	bc	rm	aq	cb	m
29	bc	rm	aq	cm	a
30	bc	rm	aq	cp	a
31	bc	ra	bq	cb	m
32	bc	ra	bq	cm	m
33	bc	ra	bq	cp	a
34	bc	ra	aq	cb	a
35	bc	ra	aq	cm	a
36	bc	ra	aq	cp	a
37	bl	rb	bq	cb	m
38	bl	rb	bq	cm	a
39	bl	rb	bq	cp	a
40	bl	rb	aq	cb	a

Base de conhecimento					
Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado
41	bl	rb	aq	cm	a
42	bl	rb	aq	cp	a
43	bl	rm	bq	cb	m
44	bl	rm	bq	cm	a
45	bl	rm	bq	cp	a
46	bl	rm	aq	cb	a
47	bl	rm	aq	cm	a
48	bl	rm	aq	cp	a
49	bl	ra	bq	cb	a
50	bl	ra	bq	cm	a
51	bl	ra	bq	cp	a
52	bl	ra	aq	cb	a
53	bl	ra	aq	cm	a
54	bl	ra	aq	cp	a

Legenda	
b	Baixo risco
m	Médio risco
a	Alto risco

Com a base de conhecimento definido e os valores dos graus de pertinência encontrados, é apresentado o modelo de inferência por meio de um fluxograma. Este é indicado pela figura 38 e cada processo pode ser visto na tabela 20 (regras) e figuras 39 a 44 (processo).

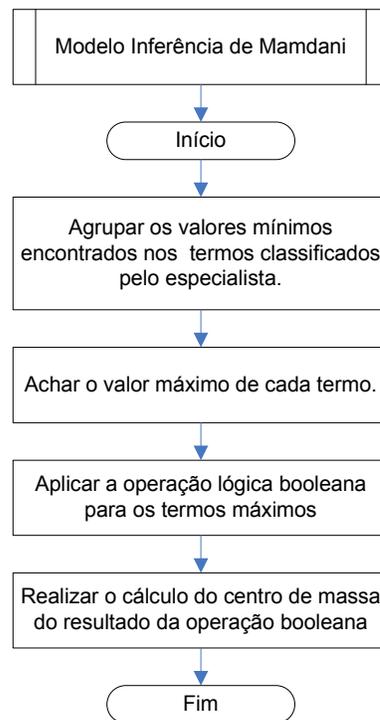


Figura 38 - Fluxograma representando o modelo de inferência de Mamdani.

O primeiro processo consiste em colocar os graus de pertinência encontrados na base de conhecimento e em seguida são encontrados os valores mínimos de cada regra, como mostra a tabela 18. Com as colunas Resultado (tabela 20) e Min (tabela 18), os valores mínimos são agrupados (ou classificados) de acordo com os termos adotados (Baixo risco – b , Médio risco – m e Alto risco – a), como mostram as tabelas 21, 22 e 23.

Tabela 21 – Valores mínimos para o termo Baixo risco da variável lingüística Resultado.

Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
1	0,00	0,00	0,75	0,44	b	0,00
2	0,00	0,00	0,75	0,04	b	0,00
4	0,00	0,00	0,21	0,44	b	0,00
5	0,00	0,00	0,21	0,04	b	0,00
7	0,00	0,00	0,75	0,44	b	0,00
8	0,00	0,00	0,75	0,04	b	0,00
13	0,00	0,67	0,75	0,44	b	0,00
14	0,00	0,67	0,75	0,04	b	0,00

Tabela 22 – Valores mínimos para o termo Médio risco da variável lingüística Resultado.

Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
3	0,00	0,00	0,75	0,00	m	0,00
6	0,00	0,00	0,21	0,00	m	0,00
9	0,00	0,00	0,75	0,00	m	0,00
10	0,00	0,00	0,21	0,44	m	0,00
11	0,00	0,00	0,21	0,04	m	0,00
12	0,00	0,00	0,21	0,00	m	0,00
15	0,00	0,67	0,75	0,00	m	0,00
16	0,00	0,67	0,21	0,44	m	0,00
17	0,00	0,67	0,21	0,04	m	0,00
18	0,00	0,67	0,21	0,00	m	0,00
19	1,00	0,00	0,75	0,44	m	0,00
20	1,00	0,00	0,75	0,04	m	0,00
21	1,00	0,00	0,75	0,00	m	0,00
22	1,00	0,00	0,21	0,44	m	0,00
23	1,00	0,00	0,21	0,04	m	0,00
25	1,00	0,00	0,75	0,44	m	0,00
26	1,00	0,00	0,75	0,04	m	0,00
28	1,00	0,00	0,21	0,44	m	0,00
31	1,00	0,67	0,75	0,44	m	0,44
32	1,00	0,67	0,75	0,04	m	0,04
37	0,00	0,00	0,75	0,44	m	0,00
43	0,00	0,00	0,75	0,44	m	0,00

Tabela 23 – Valores mínimos para o termo Alto risco da variável lingüística Resultado.

Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
24	1,00	0,00	0,21	0,00	a	0,00
27	1,00	0,00	0,75	0,00	a	0,00
29	1,00	0,00	0,21	0,04	a	0,00
30	1,00	0,00	0,21	0,00	a	0,00
33	1,00	0,67	0,75	0,00	a	0,00
34	1,00	0,67	0,21	0,44	a	0,21
35	1,00	0,67	0,21	0,04	a	0,04
36	1,00	0,67	0,21	0,00	a	0,00
38	0,00	0,00	0,75	0,04	a	0,00
39	0,00	0,00	0,75	0,00	a	0,00
40	0,00	0,00	0,21	0,44	a	0,00
41	0,00	0,00	0,21	0,04	a	0,00
42	0,00	0,00	0,21	0,00	a	0,00
44	0,00	0,00	0,75	0,04	a	0,00
45	0,00	0,00	0,75	0,00	a	0,00
46	0,00	0,00	0,21	0,44	a	0,00
47	0,00	0,00	0,21	0,04	a	0,00
48	0,00	0,00	0,21	0,00	a	0,00
49	0,00	0,67	0,75	0,44	a	0,00
50	0,00	0,67	0,75	0,04	a	0,00
51	0,00	0,67	0,75	0,00	a	0,00

Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
52	0,00	0,67	0,21	0,44	a	0,00
53	0,00	0,67	0,21	0,04	a	0,00
54	0,00	0,67	0,21	0,00	a	0,00

Após o agrupamento exibido pelas tabelas 21, 22 e 23 é selecionado o maior valor (valor máximo) de cada termo (Baixo risco, Médio risco e Alto risco). Este processo pode ser executado pela equação 25.

O processo de obtenção do Valor Máximo é realizado pela sub-rotina Valor_Maximo (figura 40 e código fonte 2). A função pré-definida MAXIMA(intervalo) no Excel, não consegue trabalhar diretamente na tabela 20 pois quando é definido o intervalo é obtido o maior valor ignorando a classificação (Baixo risco, Médio risco e Alto risco), por esta razão foi necessário a criação da sub-rotina Valor_Maximo. Pela figura 39 (tabela *Valores Máximos*) pode-se notar que os valores dos termos da variável lingüística Resultado são $\mu_b = 0,0$ para o termo Baixo risco, $\mu_m = 0,44$ para o termo Médio risco e $\mu_a = 0,21$ para o termo Alto risco.

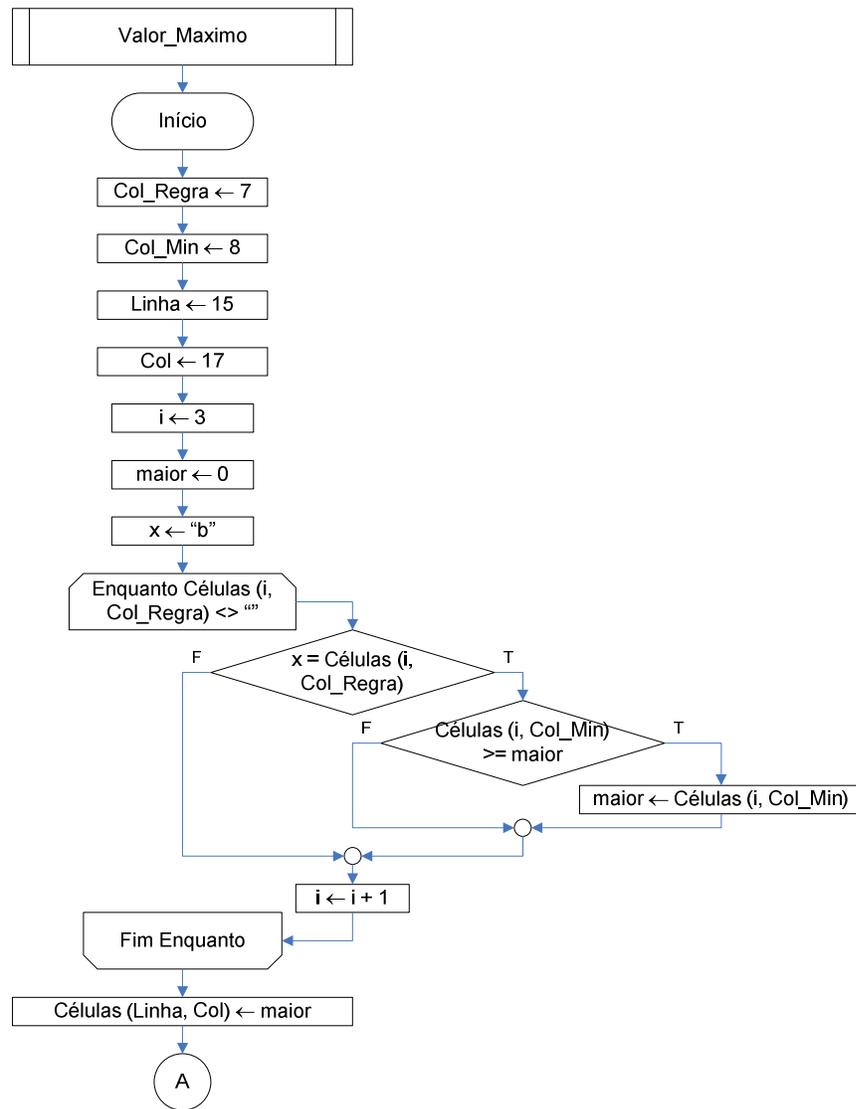
Fuzzyfication						
Reg	Barret	Idade	Cigarr	Alcool	Resulta	Min
1	0,00	0,00	0,75	0,44	b	0,00
2	0,00	0,00	0,75	0,04	b	0,00
3	0,00	0,00	0,75	0,00	m	0,00
4	0,00	0,00	0,21	0,44	b	0,00
5	0,00	0,00	0,21	0,04	b	0,00
6	0,00	0,00	0,21	0,00	m	0,00
7	0,00	0,00	0,75	0,44	b	0,00
8	0,00	0,00	0,75	0,04	b	0,00
9	0,00	0,00	0,75	0,00	m	0,00
10	0,00	0,00	0,21	0,44	m	0,00
11	0,00	0,00	0,21	0,04	m	0,00
12	0,00	0,00	0,21	0,00	m	0,00
13	0,00	0,67	0,75	0,44	b	0,00
14	0,00	0,67	0,75	0,04	b	0,00
15	0,00	0,67	0,75	0,00	m	0,00
16	0,00	0,67	0,21	0,44	m	0,00
17	0,00	0,67	0,21	0,04	m	0,00
18	0,00	0,67	0,21	0,00	m	0,00
19	1,00	0,00	0,75	0,44	m	0,00
20	1,00	0,00	0,75	0,04	m	0,00
21	1,00	0,00	0,75	0,00	m	0,00

Valores máximos	
b	0,00
m	0,44
a	0,21

Desfuzzyfication		
Valores	subida	descida
b	0	
m	3,166667	11,111111
a		4,473684

Figura 39 – Nesta figura estão representadas os graus de pertinência dos valores de entrada mapeados na base de dados, o valor mínimo encontrado em cada regra e o valor máximo de cada termo da variável de saída.

A sub-rotina Valor_Maximo foi desenvolvida dentro do Excel (macro) e seu funcionamento é representado pelo fluxograma a seguir (figura 40). A idéia deste procedimento é percorrer toda a base de conhecimento (colunas Resultado e Min) procurando os termos a, b e m de maior valor, ou seja, são realizadas três procuras (uma para cada termo) e ao final de cada procura é encontrado o valor máximo onde é passado para a planilha Cálculos (figura 39). No fluxograma a célula da planilha é representada pela palavra Célula seguida pelas posições de linha e coluna respectivamente. Detalhes das variáveis podem ser vistos no código-fonte (Código fonte 2) logo após o fluxograma Valor_Maximo.



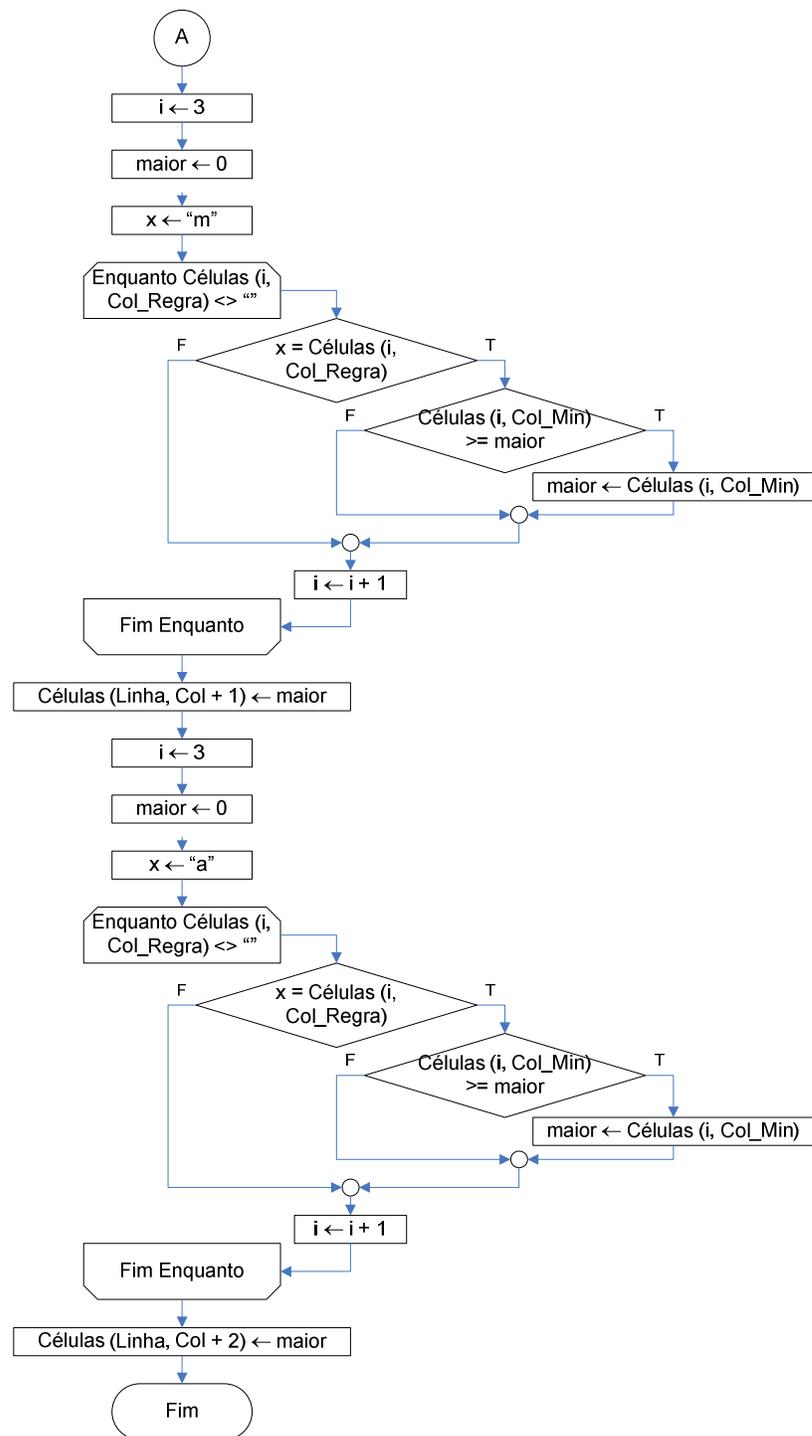


Figura 40 – Sub-rotina para encontrar o valor máximo de cada termo da variável Resultado.

```

Sub Valor_Maximo()
' Procedimento cuja função é encontrar o valor máximo de cada termo da
variável lingüística Resultado
  
```

```

Col_Regra = 7      ' Posição da coluna referente ao termo lingüístico
Resultado (b,m,a)
Col_Min = 8       ' Posição da coluna referente ao valor da coluna mínimo
(Min)

Linha = 15       ' Posição referente a saída do maior valor
Col = 17

i = 3            ' Valor inicial do contador de Linha
maior = 0       ' Valor inicial da variável maior valor
x = "b"         ' Valor de referência para procura do termo: Baixo risco

While Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Regra).Value <> ""
  If x = Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Regra).Value Then
    If Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Min).Value >= maior Then
      maior = Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Min).Value
    End If
  End If
  i = i + 1
Wend
Worksheets("Cálculos").Cells(Linha, Col).Value = maior

i = 3            ' Valor inicial do contador de Linha
maior = 0       ' Valor inicial da variável maior valor
x = "m"         ' Valor de referência para procura do termo: Médio risco
While Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Regra).Value <> ""
  If x = Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Regra).Value Then
    If Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Min).Value >= maior Then
      maior = Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Min).Value
    End If
  End If
  i = i + 1
Wend
Worksheets("Cálculos").Cells(Linha, Col + 1).Value = maior

i = 3            ' Valor inicial do contador de Linha
maior = 0       ' Valor inicial da variável maior valor

```

```

x = "a"          ' Valor de referência para procura do termo: Alto risco
While Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Regra).Value <> ""
  If x = Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Regra).Value Then
    If Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Min).Value >= maior Then
      maior = Worksheets("Cálculos").Cells(i, Col_Min).Value
    End If
  End If
  i = i + 1
Wend
Worksheets("Cálculos").Cells(Linha, Col + 2).Value = maior

End Sub

```

Código fonte 2 – Procedimento Valor_Maximo.

O procedimento acima (e o respectivo código) está associado ao botão *Obter resultado* da planilha Interface (figura 30). Após a obtenção dos valores máximos, o gráfico da variável de saída é redefinido, ou seja, cada termo da variável Resultado é recalculado pelas funções InvTrapezioDescida e InvTrapezioSubida (figura 39 – Defuzzificação).

Estas funções foram desenvolvidas em VBA (ver código fontes 3 e 4). Para melhor compreensão são apresentados os respectivos fluxogramas, conforme exibidas nas figuras 41 e 42.

```

Function InvTrapezioDescida(y, a, b, c, d As
Double) As Double
' Função utilizada para encontrar o valor de
y - inclinação decrescente
' a: subida inicial
' b: subida final
' c: descida inicial
' d: descida final

InvTrapezioDescida = d + -y * (d - c)

End Function

```

Código fonte 3 – Função InvTrapezioDescida.

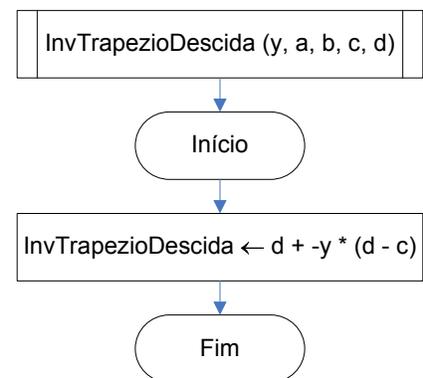


Figura 41 – Fluxograma InvTrapezioDescida.

```

Function InvTrapezioSubida(y, a, b, c, d As
Double) As Double
' Função utilizado para encontrar o valor de
y - inclinação crescente
' a: subida inicial
' b: subida final
' c: descida inicial
' d: descida final

InvTrapezioSubida = a + y * (b - a)

End Function
    
```

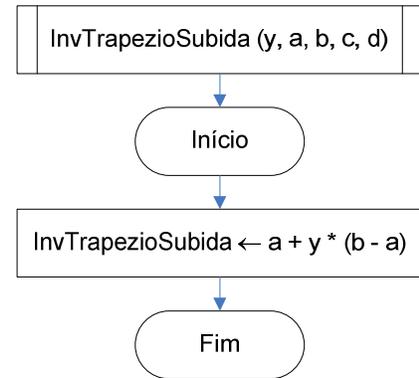


Figura 42 – Fluxograma InvTrapezioSubida.

Código fonte 4 – Função InvTrapezioSubida.

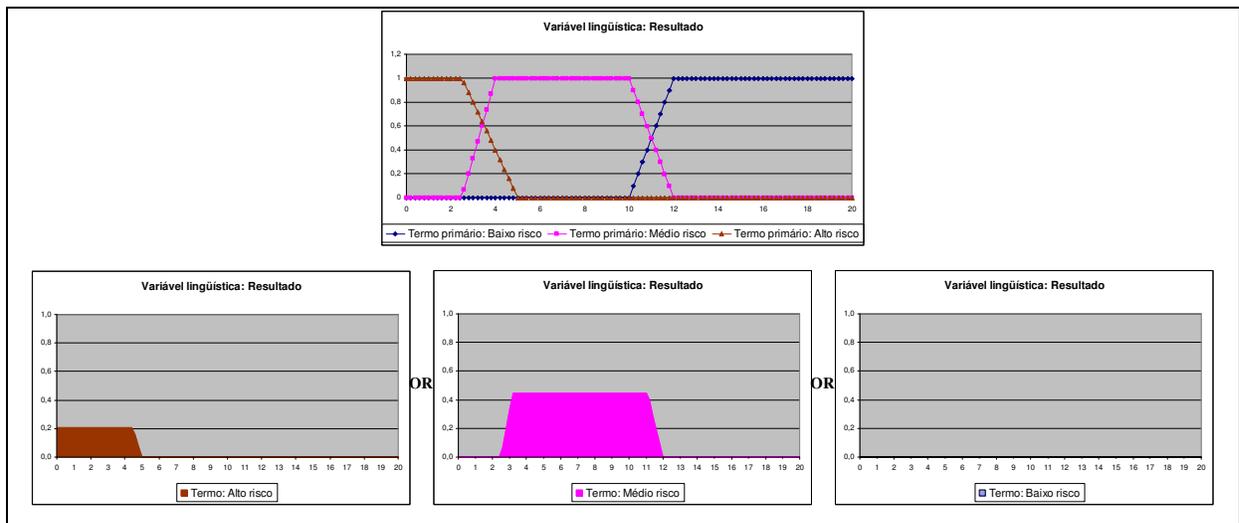


Figura 43 – Variável lingüística Resultado e termos redesenhados a partir de seus valores máximos encontrados.

O processo de união dos termos da variável lingüística Resultado com os novos limites máximos (figura 43) é realizado por meio do operador fuzzy OR (figura 44). O resultado gráfico desta união pode ser visto na figura 45.

Microsoft Excel - Fuzzy - Parte experimental Mamdani_v2.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

10 N I S % 0,00 0,00

AF105 fx

	P	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1		Termos máximos			Cálculo do centro de Massa			
2		b	m	a	OR	Pto*OR	Pto	
3		0,00	0,00	0,21	0,21	0,00	0,0	
4		0,00	0,00	0,21	0,21	0,04	0,2	
5		0,00	0,00	0,21	0,21	0,08	0,4	
6		0,00	0,00	0,21	0,21	0,13	0,6	
7		0,00	0,00	0,21	0,21	0,17	0,8	
93		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,0	
94		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,2	
95		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,4	
96		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,6	
97		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,8	
98		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,0	
99		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,2	
100		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,4	
101		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,6	
102		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,8	
103		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,0	
104				Somatório:	22,27	143,04		
105								

Cálculos / Interface / Base de conhecimento

Pronto NÚM

Figura 44 – Esta figura representa o processo de união dos termos e o cálculo de centro de massa (defuzzyficação).



Figura 45 – Resultado da aplicação dos operadores lógicos fuzzy nos termos da variável Resultado.

Por meio da figura 45 ou pela tabela localizada na planilha Cálculos (figura 44) é efetuado o cálculo do centro de massa, ou seja, o processo de defuzzyficação. O resultado desse cálculo pode ser visto na figura 30 onde o valor numérico de 6,42 representa um grau de Médio risco conforme a variável lingüística Resultado.

4.3.2 Implementação do modelo de Sugeno

O modelo de inferência de Sugeno não necessita de uma variável lingüística de saída como o modelo de inferência de Mamdani. O processo de cálculo é similar ao processo de inferência de Mamdani (fuzzyficação das variáveis de entrada e aplicação dos operadores fuzzy para as regras lingüísticas), mas a saída é calculada por meio de uma combinação linear das variáveis de entrada utilizadas no sistema. As atividades envolvidas por este modelo podem ser vistas no fluxograma da figura 46.

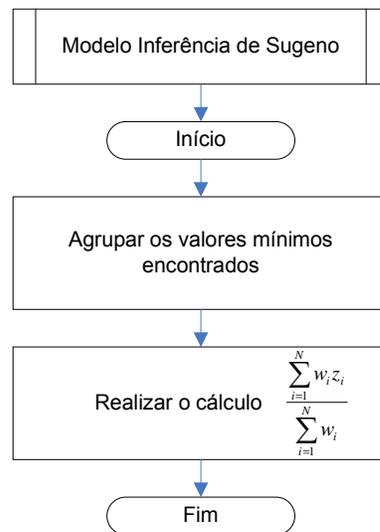


Figura 46 – Modelo de Inferência de Sugeno.

Como representado anteriormente na figura 29 é necessário realizar todo o processo de fuzzyficação, ou seja, são necessárias realizar as tarefas a seguir:

- Definir os universos de discurso e termos primários, conforme exibidos nas figuras 25, 26, 27 e 28.

- Particionar o universo de discurso das variáveis lingüísticas de entrada com seus respectivos intervalos e subintervalos para os termos definidos na tabela 16.

A partir desse ponto é utilizada a base de conhecimento definida na tabela 14 para definição do conseqüente (por meio de pesos) para cada regra auxiliado por um especialista (tabela 24) completando assim o processo de inferência. Foram atribuídos os seguintes pesos na base de conhecimento, peso 1 para pessoas com Baixo risco, peso 2 para pessoas com Médio risco e peso 3 para pessoas com Alto risco. Estes pesos foram definidos para realizarmos uma comparação com o modelo de Mamdani. Outros valores (maior número de pesos) poderiam ser adotados, conseguindo talvez uma melhor precisão. No entanto para definição desses novos pesos a cada regra (saída) ainda é necessário a opinião de um especialista ou profissional da área para a composição do conseqüente. O número de regras é o mesmo definido no início deste capítulo, ou seja, 54 regras a serem analisadas (lembrando que o valor 54 é obtido pela equação 28), pois as mesmas variáveis lingüísticas de entrada com seus respectivos termos foram utilizados.

Tabela 24 – Base de conhecimento com atribuição de pesos (conseqüentes).

Base de conhecimento				
Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado
bu	rb	Bq	cb	1
bu	rb	Bq	cm	1
bu	rb	Bq	cp	2
bu	rb	Aq	cb	1
bu	rb	Aq	cm	1
bu	rb	Aq	cp	2
bu	rm	Bq	cb	1
bu	rm	Bq	cm	1
bu	rm	Bq	cp	2
bu	rm	Aq	cb	2
bu	rm	Aq	cm	2
bu	rm	aq	cp	2
bu	ra	bq	cb	1
bu	ra	bq	cm	1
bu	ra	bq	cp	2
bu	ra	aq	cb	2
bu	ra	aq	cm	2
bu	ra	aq	cp	2
bc	rb	bq	cb	2
bc	rb	bq	cm	2
bc	rb	bq	cp	2
bc	rb	aq	cb	2

Base de conhecimento				
Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado
bc	rb	aq	cm	2
bc	rb	aq	cp	3
bc	rm	bq	cb	2
bc	rm	bq	cm	2
bc	rm	bq	cp	3
bc	rm	aq	cb	2
bc	rm	aq	cm	3
bc	rm	aq	cp	3
bc	ra	bq	cb	2
bc	ra	bq	cm	2
bc	ra	bq	cp	3
bc	ra	aq	cb	3
bc	ra	aq	cm	3
bc	ra	aq	cp	3
bl	rb	bq	cb	2
bl	rb	bq	cm	3
bl	rb	bq	cp	3
bl	rb	aq	cb	3
bl	rb	aq	cm	3
bl	rb	aq	cp	3
bl	rm	bq	cb	2
bl	Rm	bq	cm	3
bl	Rm	bq	cp	3
bl	Rm	aq	cb	3
bl	Rm	aq	cm	3
bl	Rm	aq	cp	3
bl	Ra	bq	cb	3
bl	Ra	bq	cm	3
bl	Ra	bq	cp	3
bl	Ra	aq	cb	3
bl	Ra	aq	cm	3
bl	Ra	aq	cp	3

Com a obtenção dos graus de pertinência e as regras de pertinência definidas é aplicado o modelo de inferência de Sugeno. Os dados são inseridos na planilha Cálculos e ao final é determinado o valor a ser interpretado pela equação 27 (processo de defuzzyficação), conforme é indicado pela figura 46. Os cálculos podem ser vistos na figura 47 e tabela 25.

Tabela 25 – Valores mínimos relacionados com o peso de cada regra.

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,00	0,00	0,75	0,44	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	2	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,00	0,00	0,21	0,44	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,44	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,44	1	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,04	1	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,67	0,21	0,44	2	0,00	0,00
0,00	0,67	0,21	0,04	2	0,00	0,00
0,00	0,67	0,21	0,00	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,44	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,04	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,00	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,44	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,04	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,00	3	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,44	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,04	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,75	0,00	3	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,44	2	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,04	3	0,00	0,00
1,00	0,00	0,21	0,00	3	0,00	0,00
1,00	0,67	0,75	0,44	2	0,44	0,89
1,00	0,67	0,75	0,04	2	0,04	0,08
1,00	0,67	0,75	0,00	3	0,00	0,00
1,00	0,67	0,21	0,44	3	0,21	0,63
1,00	0,67	0,21	0,04	3	0,04	0,13
1,00	0,67	0,21	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,44	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,44	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,04	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,75	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,44	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,04	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,21	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,44	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,04	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,75	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,21	0,44	3	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,00	0,67	0,21	0,04	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,21	0,00	3	0,00	0,00
Somatório					0,74	1,73
Resultado					2,34	

Microsoft Excel - Fuzzy - Parte experimental Sugeno_v2.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

C44 =Trapezio(Interface!D\$5,'Gráficos-pontos'!K\$6,'Gráficos-pontos'!L\$6,0,0)

Fuzzyfication								
Regra	Barrett	Idade	Cigarro	Alcool	Peso	Min	Peso*Min	
1	0,00	0,00	0,75	0,44	1	0,00	0,00	
2	0,00	0,00	0,75	0,04	1	0,00	0,00	
3	0,00	0,00	0,75	0,00	2	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,21	0,44	1	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	0,21	0,04	1	0,00	0,00	
6	0,00	0,00	0,21	0,00	2	0,00	0,00	
7	0,00	0,00	0,75	0,44	1	0,00	0,00	
8	0,00	0,00	0,75	0,04	1	0,00	0,00	
9	0,00	0,00	0,75	0,00	2	0,00	0,00	
10	0,00	0,00	0,21	0,44	2	0,00	0,00	
11	0,00	0,00	0,21	0,04	2	0,00	0,00	
47	0,00	0,00	0,21	0,04	3	0,00	0,00	
48	0,00	0,00	0,21	0,00	3	0,00	0,00	
49	0,00	0,67	0,75	0,44	3	0,00	0,00	
50	0,00	0,67	0,75	0,04	3	0,00	0,00	
51	0,00	0,67	0,75	0,00	3	0,00	0,00	
52	0,00	0,67	0,21	0,44	3	0,00	0,00	
53	0,00	0,67	0,21	0,04	3	0,00	0,00	
54	0,00	0,67	0,21	0,00	3	0,00	0,00	
Somatória						0,74	1,73	
Resultado						2,34		

Base de conhecimento \ Cálculos \ Interface \ Exemp

Pronto NÚM

Figura 47 – Processo de cálculo do modelo de Sugeno (defuzzyficação).

Com os valores de entrada da tabela 17, o processo de cálculo indicado pela figura 47 e a equação 27 é obtido o valor de 2,34.

Considerando os pesos definidos com uma faixa de valores como: [1, 2] para Baixo risco, [2, 3] para Médio risco e 3 para Alto risco; com o valor calculado de 2,34 teremos a classificação Médio risco para o paciente.

4.4 Testes

Neste tópico são realizados os testes do sistema. O objetivo destes testes é verificar a confiabilidade dos resultados gerados pelo sistema e realizar um comparativo entre os dois modelos de inferência adotados.

As variáveis lingüísticas adotadas são as mesmas vistas no tópico 4.2 deste capítulo, ou seja, as variáveis Cigarro (figura 25), Álcool (figura 26), Idade (figura 27) e Barrett (figura 28) com seus respectivos intervalos (tabela 16). Em relação aos modelos de inferência são utilizados o modelo de Mamdani e o modelo de Sugeno (tópicos 4.3.1 e 4.3.2 respectivamente).

As bases de conhecimento definidas pelo especialista aplicadas nos testes são a tabela 20 (para o modelo de Mamdani) e a tabela 24 (para o modelo de Sugeno). Cabe lembrar que a diferença entre as duas tabelas está na coluna Resultado, sendo que no modelo de Mamdani cada regra de saída é classificada de acordo com o termo da variável lingüística de saída (Resultado) enquanto que no modelo de Sugeno são atribuídos pesos nas saídas.

Para a realização do comparativo e dos testes são utilizados valores de entrada conforme indicado na tabela 26. Esses valores foram adotados para observar o comportamento de saída que poderia ocorrer em uma situação real, ou seja, cobrir algumas situações possíveis.

Tabela 26 - Valores de entrada adotados.

Variável de entrada	Valores adotados
Idade	35, 43, 52, 57, 65 e 75
Cigarro	2, 15 e 22
Álcool	5, 30, 50, 90 e 120
Barrett	0.2, 1.5, 2.6 e 3.2

Os valores de entrada (tabela 26) de maior interesse são os que estão localizados na região de transição (ou região de incerteza), pois deseja-se verificar o comportamento do sistema para estas regiões.

É utilizada a planilha Cálculos para obtenção dos graus de pertinência dos valores de entrada. A obtenção dos graus de pertinência de entrada também pode ser realizada de forma gráfica, como exibido abaixo.

- Variável lingüística Idade. Para cada valor de idade é obtido o grau de pertinência representado pela figura 48 e tabela 27.

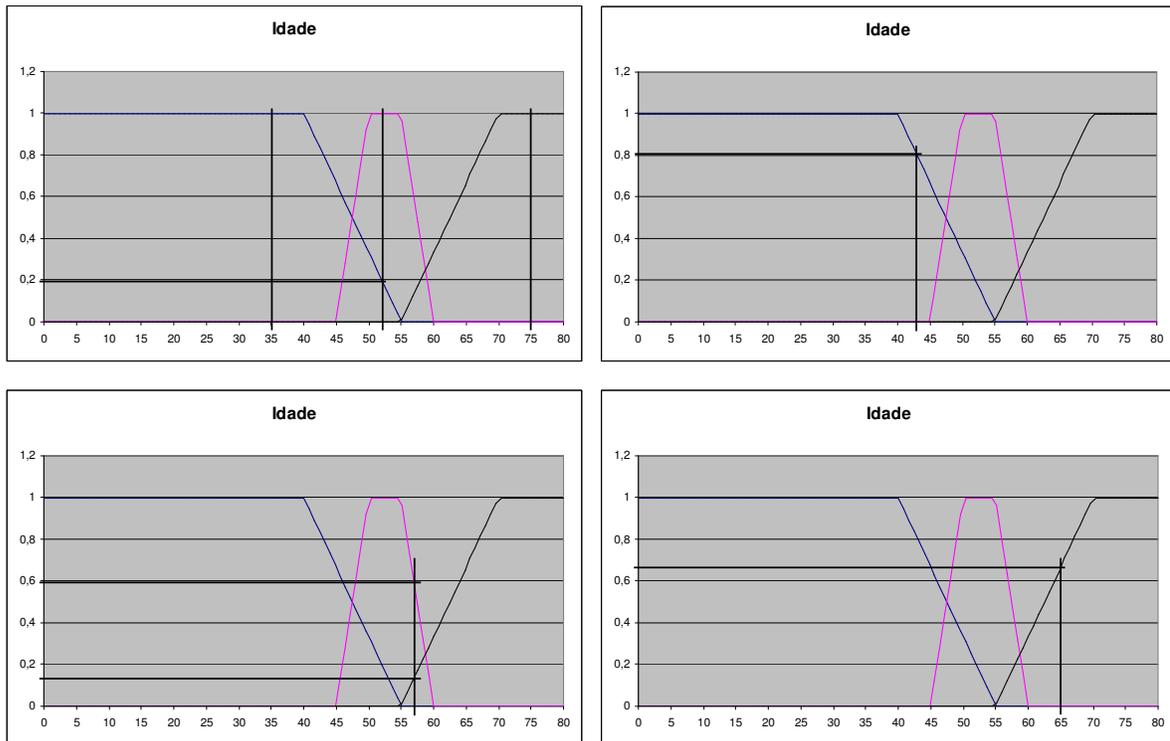


Figura 48 – Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Idade.

Tabela 27 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Idade.

Variável	Valor entrada	Baixo	Médio	Alto
Idade	35	1,00	0,00	0,00
	43	0,80	0,00	0,00
	52	0,20	1,00	0,00
	57	0,00	0,60	0,13
	65	0,00	0,00	0,67
	75	0,00	0,00	1,00

- Variável lingüística Cigarro. Para valor da quantidade de cigarro é obtido o grau de pertinência representado pela figura 49 e tabela 28.

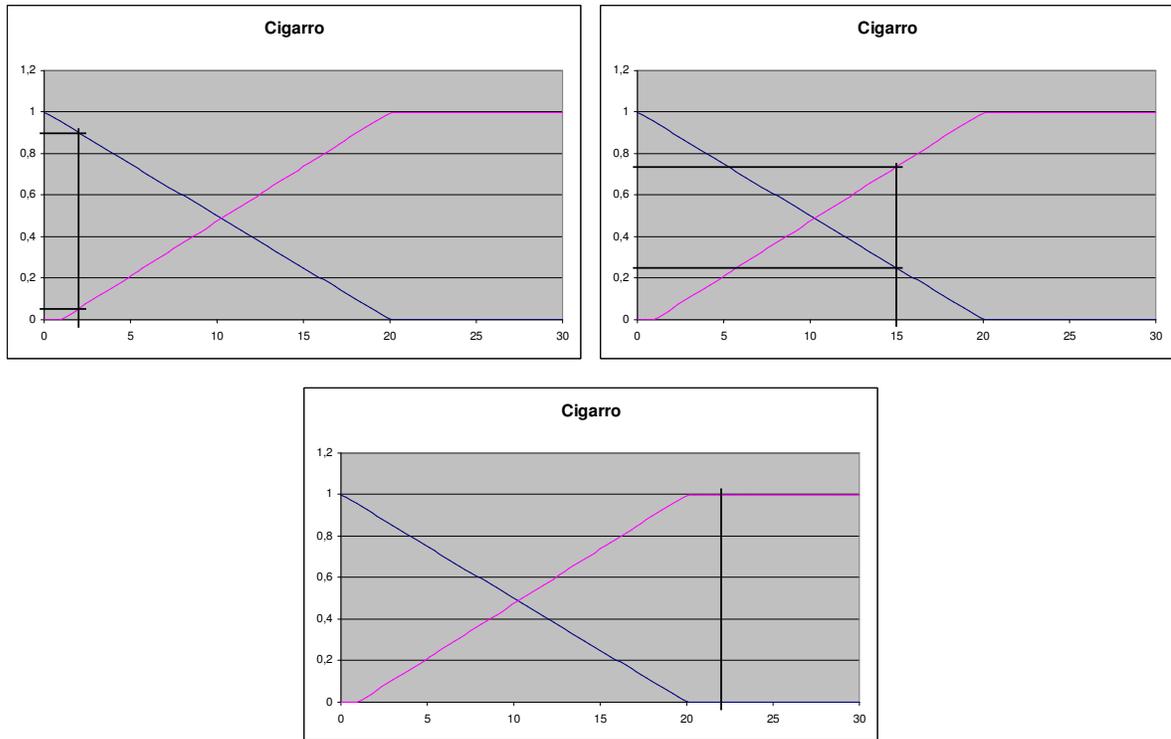


Figura 49 - Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Cigarro.

Tabela 28 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Cigarro.

Variável	Valor entrada	Baixo	Médio	Alto
Cigarro	2	0,90	-	0,05
	15	0,25	-	0,74
	22	0,00	-	1,00

- Variável lingüística Álcool. Para cada valor da quantidade de etanol consumido é obtido o grau de pertinência representado pela figura 50 e tabela 29.

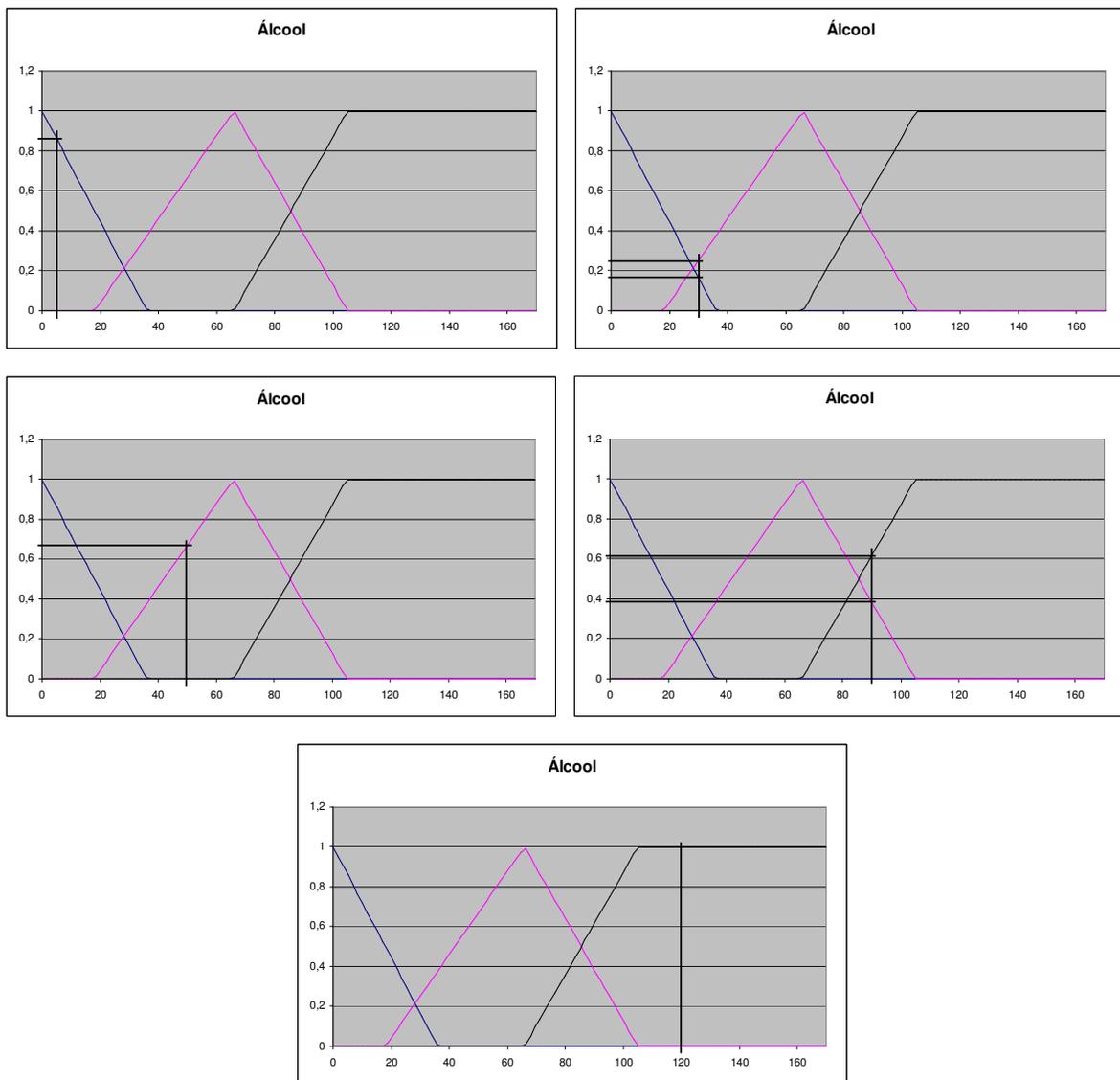


Figura 50 - Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Álcool.

Tabela 29 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Álcool.

Variável	Valor entrada	Baixo	Médio	Alto
Álcool	5	0,86	0,00	0,00
	30	0,17	0,25	0,00
	50	0,00	0,67	0,00
	90	0,00	0,38	0,62
	120	0,00	0,00	1,00

- Variável linguística Barrett. Para cada valor de extensão da doença de Barrett é obtido o grau de pertinência representado pela figura 51 e tabela 30.

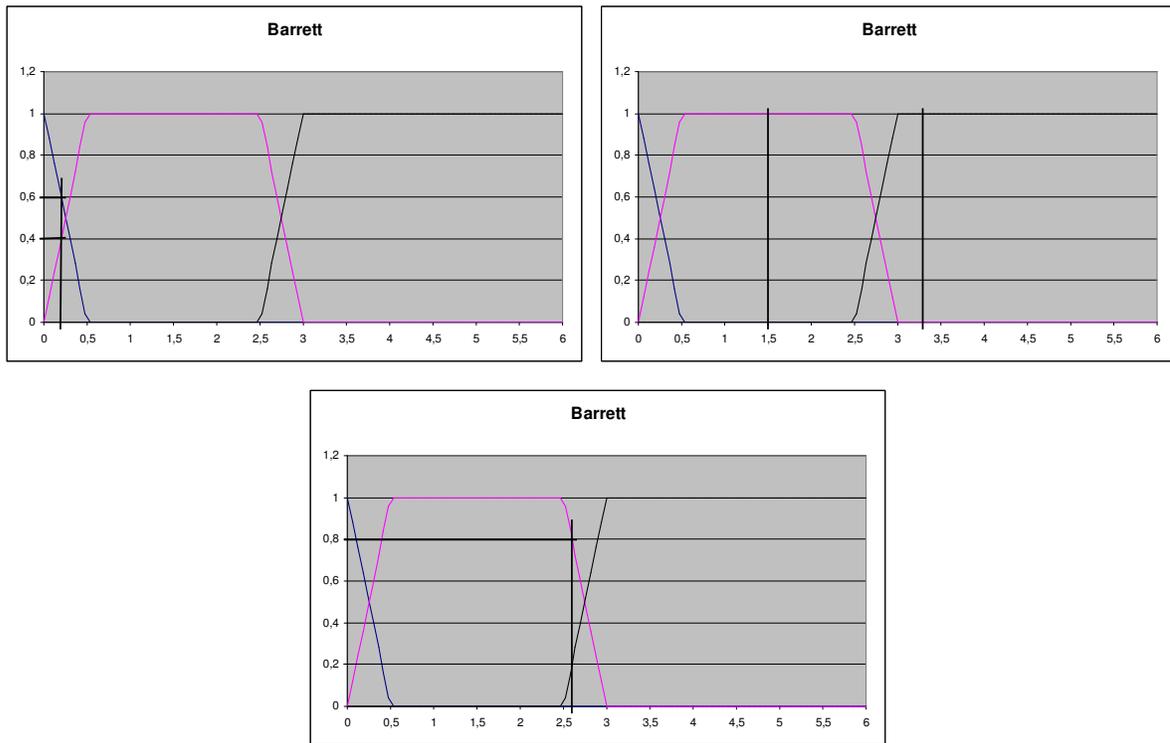


Figura 51 - Processo gráfico para obtenção do grau de pertinência da variável Barrett.

Tabela 30 – Grau de pertinência encontrado para cada valor de Barrett.

Variável	Valor entrada	Baixo	Médio	Alto
Barrett	0,2	0,60	0,40	0,00
	1,5	0,00	1,00	0,00
	2,6	0,00	0,80	0,20
	3,2	0,00	0,00	1,00

Com a obtenção do grau de pertinência para cada variável de entrada é possível realizar as combinações entre elas, ou seja, é possível gerar 360 testes (valor obtido por meio da equação 28).

Devido à grande quantidade de testes, apenas para alguns valores é demonstrado o processo de obtenção dos resultados passo a passo. Para os outros testes, as tabelas (a partir da tabela 43), as figuras (a partir da figura 55) e o processo de cálculo do centro de massa estão no apêndice 7.1 – Tabelas de teste.

Um resumo das 360 possibilidades dos dois modelos com suas respectivas saídas podem ser vistos na tabela 62 (apêndice 7.2 – Tabela comparativa).

4.4.1 Teste número 1

Neste teste são considerados os valores a seguir:

- Idade: 43 anos,
- Quantidade de cigarro: 22 cigarros/dia,
- Quantidade de álcool: 120 ml/dia,
- Extensão da doença de Barrett: 2,6 cm.

De acordo com as figuras 48, 49, 50 e 51 e tabelas 27, 28, 29 e 30 respectivamente, são obtidos os seguintes graus de pertinência (tabela 31).

Tabela 31 – Graus de pertinência encontrados para as variáveis de entrada – Teste 1.

	Entrada	Baixo	Médio	Alta
Idade	43	0,80	0,00	0,00
Cigarro	22	0,00	-	1,00
Álcool	120	0,00	0,00	1,00
Barrett	2,6	0,00	0,80	0,20

Substituindo os graus de pertinência na base de conhecimento (tabela 14, tabela 20 e tabela 24) e encontrando o valor mínimo de cada regra é obtida a tabela 32. Nesta tabela foram incluídas as classificações das regras (consequentes) para modelo de Sugeno e Mamdani definido pelo especialista.

Tabela 32 – Os graus de pertinência associados na base de conhecimento, valores mínimos encontrados e classificação de regras para os modelos de Mamdani e Sugeno (Teste 1).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min	Classificação de Sugeno	Classificação de Mamdani
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,80	0,00	1,00	0,00	2,00	m
0,00	0,80	1,00	0,00	0,00	1,00	b

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min	Classificação de Sugeno	Classificação de Mamdani
0,00	0,80	1,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,80	1,00	1,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	b
0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	2,00	m
0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,80	0,00	1,00	0,00	2,00	m
0,80	0,80	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,80	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,80	1,00	1,00	0,80	3,00	a
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00	a
0,80	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,80	0,00	1,00	1,00	0,00	3,00	a
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,80	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00	a
0,80	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,80	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,80	0,00	1,00	1,00	0,00	3,00	a
0,20	0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,20	0,80	0,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,80	0,00	1,00	0,00	3,00	a
0,20	0,80	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,80	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,80	1,00	1,00	0,20	3,00	a
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	m
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	1,00	1,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min	Classificação de Sugeno	Classificação de Mamdani
0,20	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	a
0,20	0,00	1,00	1,00	0,00	3,00	a

Utilizando o modelo de inferência de Mamdani, para a obtenção do resultado são realizadas as etapas a seguir:

1. Agrupamento dos termos das variável Resultado (tabelas 33, 34 e 35);

Tabela 33 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 1).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,00	0,80	0,00	0,00	b	0,00
0,00	0,80	0,00	0,00	b	0,00
0,00	0,80	1,00	0,00	b	0,00
0,00	0,80	1,00	0,00	b	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	b	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	b	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	b	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	b	0,00

Tabela 34 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 1).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,00	0,80	0,00	1,00	m	0,00
0,00	0,80	1,00	1,00	m	0,00
0,00	0,00	0,00	1,00	m	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	m	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	m	0,00
0,00	0,00	1,00	1,00	m	0,00
0,00	0,00	0,00	1,00	m	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	m	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	m	0,00
0,00	0,00	1,00	1,00	m	0,00
0,80	0,80	0,00	0,00	m	0,00
0,80	0,80	0,00	0,00	m	0,00
0,80	0,80	0,00	1,00	m	0,00
0,80	0,80	1,00	0,00	m	0,00
0,80	0,80	1,00	0,00	m	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	m	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	m	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	m	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	m	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	m	0,00
0,20	0,80	0,00	0,00	m	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	m	0,00

Tabela 35 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 1).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,80	0,80	1,00	1,00	a	0,80
0,80	0,00	0,00	1,00	a	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,80	0,00	1,00	1,00	a	0,00
0,80	0,00	0,00	1,00	a	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,80	0,00	1,00	1,00	a	0,00
0,20	0,80	0,00	0,00	a	0,00
0,20	0,80	0,00	1,00	a	0,00
0,20	0,80	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,80	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,80	1,00	1,00	a	0,20
0,20	0,00	0,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	0,00	1,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	1,00	a	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	0,00	1,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	1,00	a	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	0,00	1,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	a	0,00
0,20	0,00	1,00	1,00	a	0,00

2. Obtenção dos valores máximos de cada agrupamento (tabela 36);

Tabela 36 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 1).

Valores máximos	
b	0,00
m	0,00
a	0,80

3. Reconstrução do gráfico da variável lingüística Resultado a partir dos valores máximos de cada termo. A tabela 43 contém os novos limites (grau de pertinência) para os termos da variável de saída. A partir dos novos limites para os graus de pertinência de saída é aplicada a operação lógica OR para soma dos termos, ou seja, a união dos termos. O resultado final é a figura 52.

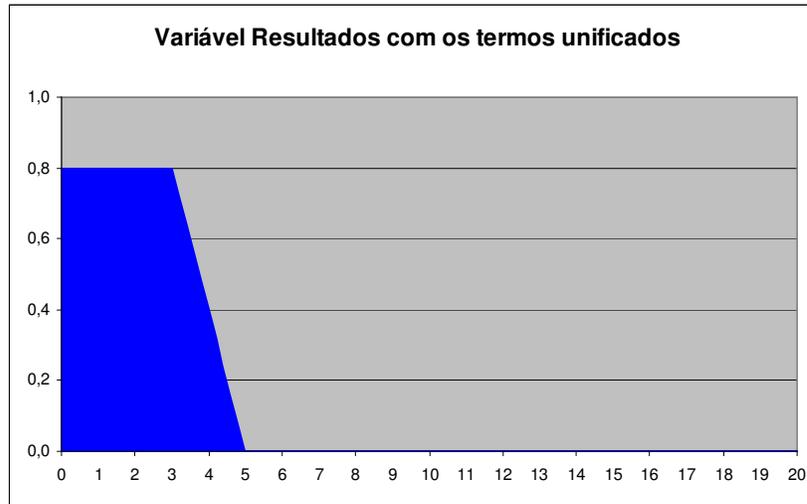


Figura 52 – Variável Resultados com os termos unificados (Teste 1).

Pela figura 52 pode-se notar que a região formada está dentro do termo Alto risco da variável Resultado, portanto, o valor encontrado (centro de massa) pelo sistema está na região de Alto risco.

4. Cálculo do centro de massa da figura 52. Este cálculo é feito por meio da equação 26, definido no item 2.4 (processo de defuzzyficação) .

$$\frac{\sum_{i=1}^N OR_i \cdot Pto_i}{\sum_{i=1}^N OR_i} = \frac{32,64}{16,40} = 1,99$$

5. O resultado obtido (1,99), encontra-se na região de Médio risco da variável de saída.

Resultado	1,99	Médio risco
------------------	------	-------------

No modelo de inferência de Sugeno, para a obtenção do resultado são realizadas as etapas a seguir:

1. Multiplicação dos valores mínimos com os pesos estipulados na tabela 32. Ao final é gerada a tabela 44.

2. Cálculo da equação 23 (item 2.3.7) utilizando os valores obtidos da tabela 44.

$$\frac{\sum_{i=1}^N Min_i \cdot Peso_i}{\sum_{i=1}^N Peso_i} = \frac{3,00}{1,00} = 3,00$$

3. Interpretação do resultado obtido de acordo com o peso atribuído, o valor representa um Alto risco.

Resultado	3,00	Alto risco
------------------	------	------------

Portanto para este paciente, os dois modelos classificaram-no como Alto risco, devendo ser solicitados exames complementares (exames mais detalhados com biópsia) para confirmação da existência ou não do câncer de esôfago, precisando permanecer em constante acompanhamento.

4.4.2 Teste número 2

No segundo teste são considerados os valores a seguir:

- Idade: 65 anos,
- Quantidade de cigarro: 2 cigarros/dia,
- Quantidade de álcool: 50 ml/dia,
- Extensão da doença de Barrett: 0,2 cm.

De acordo com as figuras 48, 49, 50 e 51 e tabelas 27, 28, 29 e 30 respectivamente, são obtidos os seguintes graus de pertinência (tabela 37);

Tabela 37 - Graus de pertinência para as variáveis de entrada. – Teste 2.

	Entrada	Baixo	Médio	Alta
Idade	65	0,00	0,00	0,67
Cigarro	2	0,90	-	0,05
Álcool	50	0,00	0,67	0,00
Barrett	0,2	0,60	0,40	0,00

Substituindo os graus de pertinência na base de conhecimento (tabela 14, tabela 20 e tabela 24) é encontrado o valor mínimo de cada regra (tabela 45). Utilizando o modelo inferência de Mamdani são obtidos os valores a seguir.

1. Agrupamento dos termos da variável Resultado (tabelas 38, 39 e 40) a partir da tabela 45.

Tabela 38 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 2).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,60	0,00	0,90	0,00	b	0,00
0,60	0,00	0,90	0,67	b	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	b	0,00
0,60	0,00	0,05	0,67	b	0,00
0,60	0,00	0,90	0,00	b	0,00
0,60	0,00	0,90	0,67	b	0,00
0,60	0,67	0,90	0,00	b	0,00
0,60	0,67	0,90	0,67	b	0,60

Tabela 39 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 2).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,60	0,00	0,90	0,00	m	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	m	0,00
0,60	0,00	0,90	0,00	m	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	m	0,00
0,60	0,00	0,05	0,67	m	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	m	0,00
0,60	0,67	0,90	0,00	m	0,00
0,60	0,67	0,05	0,00	m	0,00
0,60	0,67	0,05	0,67	m	0,05
0,60	0,67	0,05	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,90	0,67	m	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,05	0,67	m	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,40	0,00	0,90	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,90	0,67	m	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	m	0,00
0,40	0,67	0,90	0,00	m	0,00
0,40	0,67	0,90	0,67	m	0,40
0,00	0,00	0,90	0,00	m	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	m	0,00

Tabela 40 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 2).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,40	0,00	0,05	0,00	a	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	a	0,00
0,40	0,00	0,05	0,67	a	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	a	0,00
0,40	0,67	0,90	0,00	a	0,00
0,40	0,67	0,05	0,00	a	0,00
0,40	0,67	0,05	0,67	a	0,05
0,40	0,67	0,05	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,90	0,67	a	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,05	0,67	a	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,90	0,67	a	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,05	0,67	a	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	a	0,00
0,00	0,67	0,90	0,00	a	0,00
0,00	0,67	0,90	0,67	a	0,00
0,00	0,67	0,90	0,00	a	0,00
0,00	0,67	0,05	0,00	a	0,00
0,00	0,67	0,05	0,67	a	0,00
0,00	0,67	0,05	0,00	a	0,00

2. Obtenção dos valores máximos de cada agrupamento (tabela 41);

Tabela 41 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 2).

Valores máximos	
b	0,60
m	0,40
a	0,05

3. Reconstrução do gráfico da variável Resultado a partir dos valores máximos de cada termo (tabela 46 e figura 53).

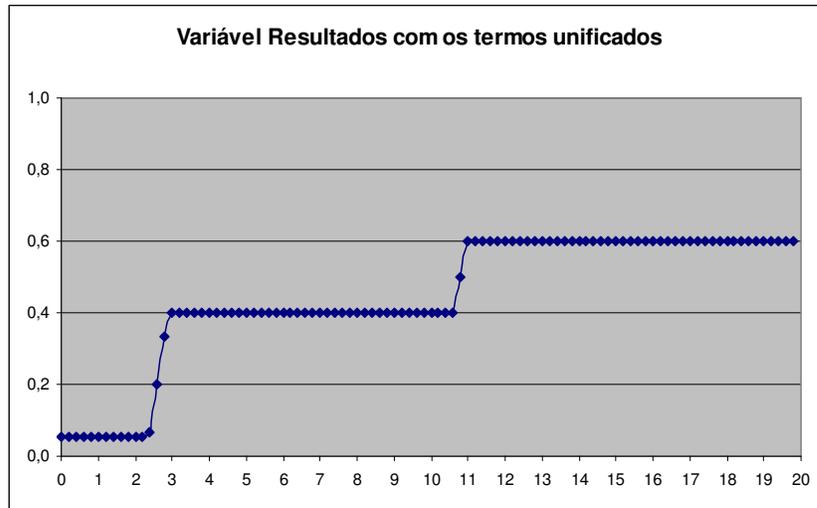


Figura 53 – Variável Resultados com os termos unificados (Teste 2).

4. Cálculo do centro de massa da figura 53 com os valores obtidos da tabela 46.

$$\frac{\sum_{i=1}^N OR_i \cdot Pto_i}{\sum_{i=1}^N OR_i} = \frac{538,45}{44,38} = 12,13$$

5. Interpretação do resultado obtido.

Resultado	12,13	Baixo risco
------------------	-------	-------------

Para o modelo inferência de Sugeno são realizadas as etapas a seguir:

1. Multiplicação dos valores mínimos com os pesos estipulados, somatório dos produtos (valor igual a 1,11) e somatório dos pesos (valor igual a 1,66) (tabela 47).

2. Cálculo da equação 23.

$$\frac{\sum_{i=1}^N Min_i \cdot Peso_i}{\sum_{i=1}^N Peso_i} = \frac{1,66}{1,11} = 1,50$$

3. Interpretação do resultado obtido. De acordo com o peso atribuído, o valor representa um Baixo risco.

Resultado	1,50	Baixo risco
------------------	------	-------------

Portanto para este paciente, os dois modelos classificaram-no como Baixo risco, devendo ser solicitados exames complementares e ficar em observação para tratamento de não progressão da doença.

4.4.3 Teste número 3

Neste teste são considerados os valores a seguir:

- Idade: 52 anos,
- Quantidade de cigarro: 15 cigarros/dia,
- Quantidade de álcool: 30 ml/dia,
- Extensão da doença de Barrett: 2,6 cm.

O processo de obtenção dos valores pode ser visto no apêndice 7.1 – Tabelas de teste – Teste 3.

Os resultados encontrados para as entradas acima foram as seguintes:

Mamdani	5,82	Médio risco
Sugeno	2,46	Médio risco

Portanto para este paciente, os dois modelos classificaram-no como Médio risco, devendo ser solicitados exames complementares (exames detalhados) e acompanhamento para a doença de Barrett (mudança na estrutura do esôfago).

4.4.4 Teste número 4

Neste teste são considerados os seguintes valores:

- Idade: 57 anos,
- Quantidade de cigarro: 15 cigarros/dia,
- Quantidade de álcool: 5 ml/dia,
- Extensão da doença de Barrett: 0,2 cm.

O processo de obtenção dos valores pode ser visto no apêndice 7.1 – Tabelas de teste – Teste 4.

Os resultados encontrados para as entradas acima foram as seguintes:

Mamdani	9,33	Médio risco
Sugeno	1,88	Baixo risco

4.4.5 Comparativo

A tabela 62 representa as diferenças entre os valores lingüísticos obtidos (modelo de Mamdani e o modelo de Sugeno respectivamente) dos 360 testes gerados.

Tabela 42 - Valores lingüísticos diferentes entre os modelos utilizados.

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
35	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
35	2	50	0,2	Médio risco	Baixo risco
35	2	50	1,5	Risco Médio-Baixo	Médio risco
35	2	90	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
35	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
35	22	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
43	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
43	2	90	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
43	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
43	22	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
52	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
52	2	120	1,5	Risco Alto-Médio	Médio risco
52	2	120	2,6	Risco Alto-Médio	Médio risco
52	15	5	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
52	15	50	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	22	5	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	22	30	0,2	Médio risco	Baixo risco
57	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
57	15	5	0,2	Médio risco	Baixo risco
57	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
65	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
65	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
75	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
75	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco

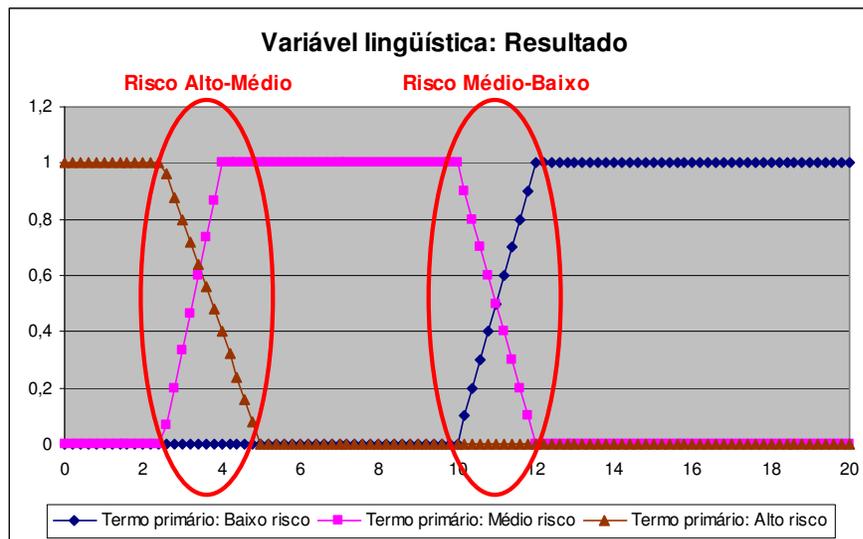


Figura 54 - Regiões fuzzy.

Dentre os dois resultados lingüísticos ocorreram 25 diferenças dos 360 testes, portanto, 93,06% das respostas são exatamente iguais (ou coincidentes) no contexto lingüístico. Estas diferenças ocorreram devido ao resultado obtido pertencer a alguma região vaga (Risco Médio-Baixo e Risco Alto-Médio) no modelo de Mamdani (figura 54).

Se forem desconsiderados estes “novos termos” (regiões fuzzy nomeadas Risco Médio-Baixo e Risco Alto-Médio conforme a figura 54), ocorreram 6 diferenças entre os 360 resultados, ou seja, 98,33% das respostas são coincidentes no contexto lingüístico para os dois modelos. Todas as 6 diferenças foram classificadas como Risco Médio para o modelo de Mamdani e Risco Baixo em relação ao modelo de Sugeno.

Esta diferença pode ser minimizada calibrando-se (ajustando-se os intervalos) os modelos ou aumentando-se a granularidade dos termos lingüísticos adotados no sistema.

5 Conclusões

A escolha da lógica fuzzy para o processo de inferência foi devido ao uso do modelo lingüístico [7] que emprega a linguagem natural aproximando-se do conceito de conjunto fuzzy e as situações reais do nosso dia a dia segundo [3] e [9]. Esse modelo traz algumas vantagens, por exemplo, ser aplicável em diversas áreas onde haja necessidade de representação de conhecimentos por meio de uma linguagem natural, ser de fácil implementação, ser aplicável em problemas com processos complexos de decisões onde exista tolerância a dados imprecisos, possuir flexibilidade para manuseio de processos, utilizar funções não lineares e ser possível mesclar com outras técnicas. Uma desvantagem notada neste modelo é a necessidade de um especialista da área para construção da base de conhecimento (regras de inferência).

Na elaboração do sistema, a principal dificuldade encontrada foi na escolha das variáveis, mapeamento das variáveis de entrada e/ou saída e validação das regras de inferência (base de conhecimento). A dificuldade na escolha foram os diferentes valores de referência encontrados e a falta de conhecimento na área, por esta razão houve a necessidade de um especialista. Ao final, as variáveis adotadas foram o cigarro, o álcool, a idade e a doença de Barrett, sendo esta última de maior importância.

Um fato a ser considerando é a qualidade e a quantidade de variáveis relevantes utilizadas no sistema. Quanto maior a quantidade mais preciso serão os resultados. No entanto, um número maior de variáveis envolvidas acarreta em uma complexidade maior para análise do problema, confirmando, assim, a necessidade de um especialista para análise e classificação das combinações das variáveis (definição das regras).

Em relação aos modelos adotados, para o modelo de inferência de Mamdani, foi necessário encontrarmos uma variável de saída que representasse a saída do sistema. Portanto, neste modelo cria-se uma dependência entre as funções de entrada e a função de saída (sistema estímulo-resposta), ou seja, o sistema tem uma determinada resposta a partir de um determinado estímulo – dados de entrada ([3] e [9]).

O modelo de Sugeno oferece algumas vantagens em relação ao modelo de inferência de Mamdani como a não dependência de uma variável de saída para encontrarmos um resultado, o processo de obtenção do resultado mais simples e o processo de interpretação poder ser mais simples (caso haja necessidade de aumentarmos o número de termos). No entanto, para esse modelo é necessária a adoção de pesos durante a criação das regras de inferência, portanto ainda é necessário um especialista para definição destas regras, mas o modelo fornece mais liberdade em relação ao modelo de Mamdani para montagem da base de dados.

Nos testes realizados os modelos apresentam diferenças nos valores numéricos dos resultados devido a forma como a base de conhecimento foi construída, isto é, a construção da base de conhecimento do modelo de Mamdani utiliza a variável de saída para a classificação das regras, enquanto o modelo de Sugeno utiliza um peso na classificação de cada regra. No entanto, quando transformamos os valores em linguagem natural os resultados são praticamente iguais ocorrendo uma coincidência de 93,06%. Uma maneira de diminuir esta diferença é aumentar a granularidade dos termos e/ou ajustar os intervalos do modelo.

O sistema apresentado para o diagnóstico de câncer pode ser facilmente adaptado para outras aplicações. Para isto, deve-se definir a nova base de conhecimento e suas respectivas regras. Como exemplo, este sistema poderia ser adaptado para calcular o seguro de vida de uma pessoa com risco de desenvolvimento de câncer.

A seguir, são apresentadas propostas de futuros trabalhos.

- Em relação à base de conhecimento, aumentar o número de variáveis de entrada de acordo com novas evidências que forem sendo descobertas para o diagnóstico de câncer do esôfago, como a obesidade [32]. Como melhoria imediata do sistema é aconselhável a inclusão de outros fatores como região do país, sexo, grau de desnutrição, estágio patológico, nível sócio econômico, cor, riscos profissionais, fator genéticos/familiares, tempo de exposição, etc.
- Utilização de outras funções de pertinência, outros métodos de cálculo do centro de massa como parte do processo de defuzzyficação e outros modelos de inferência como o de Tsukamoto [33].

- Desenvolvimento de um sistema mais robusto em relação ao modelo em Excel apresentado. Apesar do modelo em Excel apresentar uma melhor visualização do funcionamento do sistema, em termos de segurança das informações, desempenho (quanto maior ou complexo o sistema seu desempenho diminui, além de possuir um limite em quantidade de linhas e colunas), usabilidade, interface, tratamento de erros e codificação (programação), esta ferramenta não seria a mais recomendada principalmente se o sistema se tornar um sistema de grande porte (sistemas distribuídos). Para o desenvolvimento desse modelo como produto de uso comercial e/ou operacional é aconselhável a utilização de um banco de dados de médio a grande porte como MySQL e uma ferramenta de desenvolvimento como Eclipse, que possui como linguagem nativa o Java. Outras ferramentas comerciais podem ser utilizadas, como SQL Server 2005, Oracle 10g como banco de dados e o Visual Studio 2005, Delphi 2005 como ferramentas de desenvolvimento. Uma outra recomendação a ser feita é o desenvolvimento desse sistema voltado para a Internet (Web Application), pois a interação com outras pessoas e bases de conhecimento seria muito positiva.
- Utilização de outros modelos relacionadas à inteligência artificial (ou sistemas híbridos), que podem trazer grandes benefícios tanto na parte de tomada de decisão quanto na construção da base de conhecimento. O uso de um sistema híbrido para base de conhecimento seria uma tentativa de deixá-lo com menor dependência de um especialista da área.
- Deixar o sistema em uso junto ao setor referente a problemas de esôfago para validação das regras (outras situações não previstas) e ajustes dos intervalos (calibração), para futuramente ser colocado em operação e distribuição.

6 Referencias bibliográficas

- [1] L. A. Zadeh. *Fuzzy Sets. Information and Control*. V. 8, 1965, pp 338-853.
- [2] R. R. Yager; D. P. Filev. *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*. John Wiley & Sons, 1994.
- [3] T. J. Ross. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. New York, McGraw-Hill International Edition, Inc 1995.
- [4] G. G. Klir; B.Yuan. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall; 1995.
- [5] R. Kruse, E. Gebhardt, and F.Klawonn. *Foundations of Fuzzy Systems*. J. Wiley & sons, Chichester, United Kingdom, 1994.
- [6] L. A. Zadeh. *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*. IEEE Trans. Systems, Man & Cybernet 1, 1973, pp 28–44.
- [7] L. A. Zadeh. *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning*. Information Sciences 8, 1975, pp 43–80.
- [8] L. A. Zadeh. *Fuzzy logic*. IEEE Computer 21(4), 1988, pp 83–93.
- [9] B. Kosko. *Neural network and fuzzy systems: A dynamic system approach to machine intelligence*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.
- [10] H. J. Zimmerman. *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers, Boston, 1987.
- [11] www.mathworks.com – acessado em 20.05.2006.
- [12] C. C. Lee. *Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller*. IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 20, No 2, March/April 1990, pp 404 – 435.

- [13] M.J. Patyra; D.M. Mlynek. *Fuzzy Logic: Implementation and Applications*. Wyley Teubner, 1996.
- [14] J. Oliveira., et al. *Lógica Difusa. Aspectos práticos e aplicações*. Editora Interciência Ltda. Rio de Janeiro, 1999.
- [15] E.H. Mamdani, S. Assilian. *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*. International Journal of Man-Machine Studies. vol. 7, No. 1, 1975, pp 1 – 13.
- [16] L.A. Zadeh. *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. vol. 3, No. 1, Jan. 1973, pp 28 – 44.
- [17] M. Sugeno. *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Pub. Co., 1985.
- [18] www.inca.org.br – acessado em 03.12.2005.
- [19] M. R. Montenegro, M. Franco. *Patologia processos gerais*. Ed. Atheneu, São Paulo, 4ed, 2003, pp 241 – 251.
- [20] N. M. Forones, R. J.G. Filho, H. Tadokoro, C. A. R. Freire. *Oncologia*. Ed. Manoles, 2005, pp 91 – 98.
- [21] EML Haagedoom, j Oldholf, W. Bender, WD Clarke, D. Th. Sleijfer. *Oncologia básica para profissionais de saúde*. Associação Paulista de Medicina, 2000, pp 135 – 142.
- [22] D.O. Burati, A. C. Duprat, C.A. Eckley, H.O. Costa. *Doença de refluxo gastroesofágico: análise de 157 pacientes*. Ver. Brasileira de Otorrinolaringologia. v6, No 4, São Paulo, agosto 2003.
- [23] J. P. P. M. Filho, C.L. Hashimoto. *I Conceso Brasileiro da Doença de Refluxo Gastroesofágico*. São Paulo, 2000.
- [24] F. S. Gomes, C. Schuler, F.Delgiovio, N.P. Rosenberg. *Carcinoma epidermóide esofágico em paciente com esôfago de Barrett: relato de caso*. Rev. Brasileira de Cancerologia, janeiro 2005, 51(1): 39 – 41.

- [25] O.M. Jesen, D.M. Parkin, R. MacLennan, C.S. Muir, R.G. Skeet. *Registro de Câncer: Princípios e Métodos*. Publicações Científicas da IARC. RJ, No 95, 1995, pp 47 – 51, 69 – 87.
- [26] R. Agrawal, T. Imielinski; A. Swarmi. *Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases*, In Proceedings of the ACM-SIGMOD 1993 International Conference on Management of Data, Washington D. C., U.S.A., 1993, pp 207 – 216.
- [27] R. Srikant, R. Agrawal. *Mining Generalized Association Rules*, in Proc. of the 21st Int'l Conference on Very Large Databases, Zurich, Switzerland, 1995.
- [28] R. Srikant, R. Agrawal. *Mining Quantitative Association Rules in Large Relational Tables*, SIGMOD'96 6/96 Montreal, Canada, 1996.
- [29] A.A. Castro. *Avaliação da qualidade da informação*. SP, Set. 2005. (www.metodologia.org – acessado em 14.07.2006).
- [30] Effective health Care. *NHS Centre for Reviews and Destination*, University of York. Outubro 2000, vol 6, No 4.
- [31] E.L. Abel, M. L.Kruger, J. Friedl. *How do physicians define light, moderate, and heavy drinking?* Alcohol Clin Exp Res 1998; 22:998-1040.
- [32] H. Hampel, N. S. Abraham, H. B. Serag. *Meta_analysis: Obesity and the Risk for Gastroesophageal Reflux Disease and Its Complications*. Annals of Internal Medicine, v 143, No 3, august 2005. pp 199 – 211.
- [33] Y. Tsukamoto. *An approach to fuzzy reasoning method*, Ed. Amsterdam, North_Holland, 1979. pp 137 – 145.

7 Apêndices

7.1 Tabelas de teste

- Teste 1

Tabela 43 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa. (Teste 1).

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,80	0,80	0,00	0,0
0,00	0,00	0,80	0,80	0,16	0,2
0,00	0,00	0,80	0,80	0,32	0,4
0,00	0,00	0,80	0,80	0,48	0,6
0,00	0,00	0,80	0,80	0,64	0,8
0,00	0,00	0,80	0,80	0,80	1,0
0,00	0,00	0,80	0,80	0,96	1,2
0,00	0,00	0,80	0,80	1,12	1,4
0,00	0,00	0,80	0,80	1,28	1,6
0,00	0,00	0,80	0,80	1,44	1,8
0,00	0,00	0,80	0,80	1,60	2,0
0,00	0,00	0,80	0,80	1,76	2,2
0,00	0,00	0,80	0,80	1,92	2,4
0,00	0,00	0,80	0,80	2,08	2,6
0,00	0,00	0,80	0,80	2,24	2,8
0,00	0,00	0,80	0,80	2,40	3,0
0,00	0,00	0,72	0,72	2,30	3,2
0,00	0,00	0,64	0,64	2,18	3,4
0,00	0,00	0,56	0,56	2,02	3,6
0,00	0,00	0,48	0,48	1,82	3,8
0,00	0,00	0,40	0,40	1,60	4,0
0,00	0,00	0,32	0,32	1,34	4,2
0,00	0,00	0,24	0,24	1,06	4,4
0,00	0,00	0,16	0,16	0,74	4,6
0,00	0,00	0,08	0,08	0,38	4,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,6

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,2

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,0
Somatório			16,40	32,64	

Tabela 44 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 1).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,00	0,80	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,80	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,80	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,80	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,80	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,80	1,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,00	0,00	1,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,80	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,80	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,80	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,80	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,80	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,80	0,80	1,00	1,00	3,00	0,80	2,40
0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,80	0,00	1,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,80	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,20	0,80	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,80	0,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,80	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,80	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,80	1,00	1,00	3,00	0,20	0,60
0,20	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	1,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,90	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,90	0,67	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,90	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,05	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,05	0,67	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,05	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,05	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,90	0,00	3,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,90	0,00	3,00	0,00	0,00
Somatório					1,00	3,00

- **Teste 2**

Tabela 45 – Os graus de pertinência associados na base de conhecimento, valores mínimos encontrados e classificação de regras para os modelos de Mamdani e Sugeno (Teste 2).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min	Classificação de Sugeno	Classificação de Mamdani
0,60	0,00	0,90	0,00	0,00	1,00	b
0,60	0,00	0,90	0,67	0,00	1,00	b
0,60	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,00	0,05	0,00	0,00	1,00	b
0,60	0,00	0,05	0,67	0,00	1,00	b
0,60	0,00	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,00	0,90	0,00	0,00	1,00	b

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Min	Classificação de Sugeno	Classificação de Mamdani
0,60	0,00	0,90	0,67	0,00	1,00	b
0,60	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,00	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,00	0,05	0,67	0,00	2,00	m
0,60	0,00	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,67	0,90	0,00	0,00	1,00	b
0,60	0,67	0,90	0,67	0,60	1,00	b
0,60	0,67	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,67	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,60	0,67	0,05	0,67	0,05	2,00	m
0,60	0,67	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,90	0,67	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,05	0,67	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,40	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,90	0,67	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,90	0,00	0,00	3,00	a
0,40	0,00	0,05	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,00	0,05	0,67	0,00	3,00	a
0,40	0,00	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,40	0,67	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,40	0,67	0,90	0,67	0,40	2,00	m
0,40	0,67	0,90	0,00	0,00	3,00	a
0,40	0,67	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,40	0,67	0,05	0,67	0,05	3,00	a
0,40	0,67	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	0,90	0,67	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,05	0,67	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	2,00	m
0,00	0,00	0,90	0,67	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,05	0,67	0,00	3,00	a
0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,67	0,90	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,67	0,90	0,67	0,00	3,00	a
0,00	0,67	0,90	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,67	0,05	0,00	0,00	3,00	a
0,00	0,67	0,05	0,67	0,00	3,00	a
0,00	0,67	0,05	0,00	0,00	3,00	a

Tabela 46 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa (Teste 2).

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,0
0,00	0,00	0,05	0,05	0,01	0,2
0,00	0,00	0,05	0,05	0,02	0,4
0,00	0,00	0,05	0,05	0,03	0,6
0,00	0,00	0,05	0,05	0,04	0,8
0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	1,0
0,00	0,00	0,05	0,05	0,06	1,2
0,00	0,00	0,05	0,05	0,07	1,4
0,00	0,00	0,05	0,05	0,08	1,6
0,00	0,00	0,05	0,05	0,09	1,8
0,00	0,00	0,05	0,05	0,11	2,0
0,00	0,00	0,05	0,05	0,12	2,2
0,00	0,00	0,05	0,05	0,13	2,4
0,00	0,07	0,05	0,07	0,17	2,6
0,00	0,20	0,05	0,20	0,56	2,8
0,00	0,33	0,05	0,33	1,00	3,0
0,00	0,40	0,05	0,40	1,28	3,2
0,00	0,40	0,05	0,40	1,36	3,4
0,00	0,40	0,05	0,40	1,44	3,6
0,00	0,40	0,05	0,40	1,52	3,8
0,00	0,40	0,05	0,40	1,60	4,0
0,00	0,40	0,05	0,40	1,68	4,2
0,00	0,40	0,05	0,40	1,76	4,4
0,00	0,40	0,05	0,40	1,84	4,6
0,00	0,40	0,05	0,40	1,92	4,8
0,00	0,40	0,00	0,40	2,00	5,0
0,00	0,40	0,00	0,40	2,08	5,2
0,00	0,40	0,00	0,40	2,16	5,4
0,00	0,40	0,00	0,40	2,24	5,6
0,00	0,40	0,00	0,40	2,32	5,8
0,00	0,40	0,00	0,40	2,40	6,0
0,00	0,40	0,00	0,40	2,48	6,2
0,00	0,40	0,00	0,40	2,56	6,4
0,00	0,40	0,00	0,40	2,64	6,6
0,00	0,40	0,00	0,40	2,72	6,8
0,00	0,40	0,00	0,40	2,80	7,0
0,00	0,40	0,00	0,40	2,88	7,2
0,00	0,40	0,00	0,40	2,96	7,4
0,00	0,40	0,00	0,40	3,04	7,6
0,00	0,40	0,00	0,40	3,12	7,8
0,00	0,40	0,00	0,40	3,20	8,0
0,00	0,40	0,00	0,40	3,28	8,2
0,00	0,40	0,00	0,40	3,36	8,4
0,00	0,40	0,00	0,40	3,44	8,6
0,00	0,40	0,00	0,40	3,52	8,8

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,40	0,00	0,40	3,60	9,0
0,00	0,40	0,00	0,40	3,68	9,2
0,00	0,40	0,00	0,40	3,76	9,4
0,00	0,40	0,00	0,40	3,84	9,6
0,00	0,40	0,00	0,40	3,92	9,8
0,00	0,40	0,00	0,40	4,00	10,0
0,10	0,40	0,00	0,40	4,08	10,2
0,20	0,40	0,00	0,40	4,16	10,4
0,30	0,40	0,00	0,40	4,24	10,6
0,40	0,40	0,00	0,40	4,32	10,8
0,50	0,40	0,00	0,50	5,50	11,0
0,60	0,40	0,00	0,60	6,72	11,2
0,60	0,30	0,00	0,60	6,84	11,4
0,60	0,20	0,00	0,60	6,96	11,6
0,60	0,10	0,00	0,60	7,08	11,8
0,60	0,00	0,00	0,60	7,20	12,0
0,60	0,00	0,00	0,60	7,32	12,2
0,60	0,00	0,00	0,60	7,44	12,4
0,60	0,00	0,00	0,60	7,56	12,6
0,60	0,00	0,00	0,60	7,68	12,8
0,60	0,00	0,00	0,60	7,80	13,0
0,60	0,00	0,00	0,60	7,92	13,2
0,60	0,00	0,00	0,60	8,04	13,4
0,60	0,00	0,00	0,60	8,16	13,6
0,60	0,00	0,00	0,60	8,28	13,8
0,60	0,00	0,00	0,60	8,40	14,0
0,60	0,00	0,00	0,60	8,52	14,2
0,60	0,00	0,00	0,60	8,64	14,4
0,60	0,00	0,00	0,60	8,76	14,6
0,60	0,00	0,00	0,60	8,88	14,8
0,60	0,00	0,00	0,60	9,00	15,0
0,60	0,00	0,00	0,60	9,12	15,2
0,60	0,00	0,00	0,60	9,24	15,4
0,60	0,00	0,00	0,60	9,36	15,6
0,60	0,00	0,00	0,60	9,48	15,8
0,60	0,00	0,00	0,60	9,60	16,0
0,60	0,00	0,00	0,60	9,72	16,2
0,60	0,00	0,00	0,60	9,84	16,4
0,60	0,00	0,00	0,60	9,96	16,6
0,60	0,00	0,00	0,60	10,08	16,8
0,60	0,00	0,00	0,60	10,20	17,0
0,60	0,00	0,00	0,60	10,32	17,2
0,60	0,00	0,00	0,60	10,44	17,4
0,60	0,00	0,00	0,60	10,56	17,6
0,60	0,00	0,00	0,60	10,68	17,8
0,60	0,00	0,00	0,60	10,80	18,0
0,60	0,00	0,00	0,60	10,92	18,2
0,60	0,00	0,00	0,60	11,04	18,4

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,60	0,00	0,00	0,60	11,16	18,6
0,60	0,00	0,00	0,60	11,28	18,8
0,60	0,00	0,00	0,60	11,40	19,0
0,60	0,00	0,00	0,60	11,52	19,2
0,60	0,00	0,00	0,60	11,64	19,4
0,60	0,00	0,00	0,60	11,76	19,6
0,60	0,00	0,00	0,60	11,88	19,8
0,60	0,00	0,00	0,60	12,00	20,0
Somatório			44,38	538,45	

Tabela 47 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 2).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,60	0,00	0,90	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,90	0,67	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,05	0,67	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,00	0,90	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,90	0,67	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,00	0,05	0,67	2	0,00	0,00
0,60	0,00	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,67	0,90	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,67	0,90	0,67	1	0,60	0,60
0,60	0,67	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,67	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,67	0,05	0,67	2	0,05	0,11
0,60	0,67	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,90	0,67	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,05	0,67	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,90	0,67	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,90	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,05	0,67	3	0,00	0,00
0,40	0,00	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,67	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,67	0,90	0,67	2	0,40	0,80
0,40	0,67	0,90	0,00	3	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,40	0,67	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,67	0,05	0,67	3	0,05	0,16
0,40	0,67	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,90	0,67	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,05	0,67	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,90	0,67	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,90	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,05	0,67	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,90	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,90	0,67	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,90	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,05	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,05	0,67	3	0,00	0,00
0,00	0,67	0,05	0,00	3	0,00	0,00
Somatório					1,11	1,66

- **Teste 3**

A classificação da variável de saída pelo especialista continua o mesmo das tabelas 20 e 24.

Somente os graus de pertinência foram alterados devido aos novos valores de entrada (tabela 48).

Tabela 48 – Graus de pertinência encontrados para as variáveis de entrada – Teste 3.

	Entrada	Baixo	Médio	Alta
Idade	52	0,20	1,00	0,00
Cigarro	15	0,25	-	0,74
Álcool	30	0,17	0,25	0,00
Barrett	2,6	0,00	0,80	0,20

Para o modelo de Mamdani é necessário:

1. Agrupamento dos termos das variável Resultado (tabelas 49, 50 e 51).

Tabela 49 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 3).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,00	0,20	0,25	0,17	b	0,00
0,00	0,20	0,25	0,25	b	0,00
0,00	0,20	0,74	0,17	b	0,00
0,00	0,20	0,74	0,25	b	0,00
0,00	1,00	0,25	0,17	b	0,00
0,00	1,00	0,25	0,25	b	0,00
0,00	0,00	0,25	0,17	b	0,00
0,00	0,00	0,25	0,25	b	0,00

Tabela 50 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 3).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,00	0,20	0,25	0,00	m	0,00
0,00	0,20	0,74	0,00	m	0,00
0,00	1,00	0,25	0,00	m	0,00
0,00	1,00	0,74	0,17	m	0,00
0,00	1,00	0,74	0,25	m	0,00
0,00	1,00	0,74	0,00	m	0,00
0,00	0,00	0,25	0,00	m	0,00
0,00	0,00	0,74	0,17	m	0,00
0,00	0,00	0,74	0,25	m	0,00
0,00	0,00	0,74	0,00	m	0,00
0,80	0,20	0,25	0,17	m	0,17
0,80	0,20	0,25	0,25	m	0,20
0,80	0,20	0,25	0,00	m	0,00
0,80	0,20	0,74	0,17	m	0,17
0,80	0,20	0,74	0,25	m	0,20
0,80	1,00	0,25	0,17	m	0,17
0,80	1,00	0,25	0,25	m	0,25
0,80	1,00	0,74	0,17	m	0,17
0,80	0,00	0,25	0,17	m	0,00
0,80	0,00	0,25	0,25	m	0,00
0,20	0,20	0,25	0,17	m	0,17
0,20	1,00	0,25	0,17	m	0,17

Tabela 51 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 3).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,80	0,20	0,74	0,00	a	0,00
0,80	1,00	0,25	0,00	a	0,00
0,80	1,00	0,74	0,25	a	0,25
0,80	1,00	0,74	0,00	a	0,00
0,80	0,00	0,25	0,00	a	0,00
0,80	0,00	0,74	0,17	a	0,00
0,80	0,00	0,74	0,25	a	0,00
0,80	0,00	0,74	0,00	a	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,20	0,20	0,25	0,25	a	0,20
0,20	0,20	0,25	0,00	a	0,00
0,20	0,20	0,74	0,17	a	0,17
0,20	0,20	0,74	0,25	a	0,20
0,20	0,20	0,74	0,00	a	0,00
0,20	1,00	0,25	0,25	a	0,20
0,20	1,00	0,25	0,00	a	0,00
0,20	1,00	0,74	0,17	a	0,17
0,20	1,00	0,74	0,25	a	0,20
0,20	1,00	0,74	0,00	a	0,00
0,20	0,00	0,25	0,17	a	0,00
0,20	0,00	0,25	0,25	a	0,00
0,20	0,00	0,25	0,00	a	0,00
0,20	0,00	0,74	0,17	a	0,00
0,20	0,00	0,74	0,25	a	0,00
0,20	0,00	0,74	0,00	a	0,00

2. Obtenção dos valores máximos de cada agrupamento (tabela 52).

Tabela 52 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 3).

Valores máximos	
b	0,00
m	0,25
a	0,25

3. Reconstrução do gráfico da variável Resultado a partir dos valores máximos de cada termo.

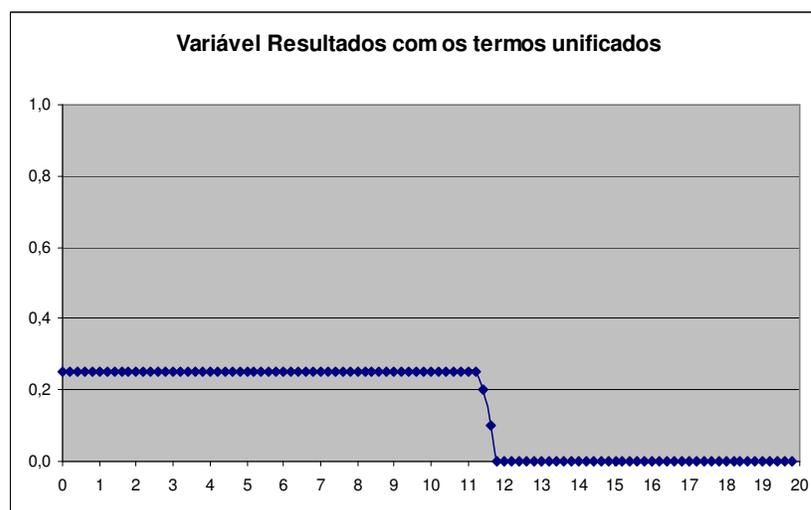


Figura 55 – Variável Resultado com os termos unificados (Teste 3).

4. Cálculo do centro de massa da figura 53.

Tabela 53 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa (Teste 3).

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,0
0,00	0,00	0,25	0,25	0,05	0,2
0,00	0,00	0,25	0,25	0,10	0,4
0,00	0,00	0,25	0,25	0,15	0,6
0,00	0,00	0,25	0,25	0,20	0,8
0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	1,0
0,00	0,00	0,25	0,25	0,30	1,2
0,00	0,00	0,25	0,25	0,35	1,4
0,00	0,00	0,25	0,25	0,40	1,6
0,00	0,00	0,25	0,25	0,45	1,8
0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	2,0
0,00	0,00	0,25	0,25	0,55	2,2
0,00	0,00	0,25	0,25	0,60	2,4
0,00	0,07	0,25	0,25	0,65	2,6
0,00	0,20	0,25	0,25	0,70	2,8
0,00	0,25	0,25	0,25	0,75	3,0
0,00	0,25	0,25	0,25	0,80	3,2
0,00	0,25	0,25	0,25	0,85	3,4
0,00	0,25	0,25	0,25	0,90	3,6
0,00	0,25	0,25	0,25	0,95	3,8
0,00	0,25	0,25	0,25	1,00	4,0
0,00	0,25	0,25	0,25	1,05	4,2
0,00	0,25	0,24	0,25	1,10	4,4
0,00	0,25	0,16	0,25	1,15	4,6
0,00	0,25	0,08	0,25	1,20	4,8
0,00	0,25	0,00	0,25	1,25	5,0
0,00	0,25	0,00	0,25	1,30	5,2
0,00	0,25	0,00	0,25	1,35	5,4
0,00	0,25	0,00	0,25	1,40	5,6
0,00	0,25	0,00	0,25	1,45	5,8
0,00	0,25	0,00	0,25	1,50	6,0
0,00	0,25	0,00	0,25	1,55	6,2
0,00	0,25	0,00	0,25	1,60	6,4
0,00	0,25	0,00	0,25	1,65	6,6
0,00	0,25	0,00	0,25	1,70	6,8
0,00	0,25	0,00	0,25	1,75	7,0
0,00	0,25	0,00	0,25	1,80	7,2
0,00	0,25	0,00	0,25	1,85	7,4
0,00	0,25	0,00	0,25	1,90	7,6
0,00	0,25	0,00	0,25	1,95	7,8
0,00	0,25	0,00	0,25	2,00	8,0

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,25	0,00	0,25	2,05	8,2
0,00	0,25	0,00	0,25	2,10	8,4
0,00	0,25	0,00	0,25	2,15	8,6
0,00	0,25	0,00	0,25	2,20	8,8
0,00	0,25	0,00	0,25	2,25	9,0
0,00	0,25	0,00	0,25	2,30	9,2
0,00	0,25	0,00	0,25	2,35	9,4
0,00	0,25	0,00	0,25	2,40	9,6
0,00	0,25	0,00	0,25	2,45	9,8
0,00	0,25	0,00	0,25	2,50	10,0
0,00	0,25	0,00	0,25	2,55	10,2
0,00	0,25	0,00	0,25	2,60	10,4
0,00	0,25	0,00	0,25	2,65	10,6
0,00	0,25	0,00	0,25	2,70	10,8
0,00	0,25	0,00	0,25	2,75	11,0
0,00	0,25	0,00	0,25	2,80	11,2
0,00	0,25	0,00	0,25	2,85	11,4
0,00	0,20	0,00	0,20	2,32	11,6
0,00	0,10	0,00	0,10	1,18	11,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,6

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,2
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,6
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,8
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,0
Somatório			14,80	86,15	

$$\frac{\sum_{i=1}^N OR_i \cdot Pto_i}{\sum_{i=1}^N OR_i} = \frac{86,15}{14,80} = 5,82$$

Para o modelo de Sugeno é necessário:

1. Multiplicação dos valores mínimos com os pesos estipulados, somatório dos produtos e somatório dos valores mínimos (tabela 54).

Tabela 54 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 3).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,00	0,20	0,25	0,17	1	0,00	0,00
0,00	0,20	0,25	0,25	1	0,00	0,00
0,00	0,20	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,20	0,74	0,17	1	0,00	0,00
0,00	0,20	0,74	0,25	1	0,00	0,00
0,00	0,20	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,00	1,00	0,25	0,17	1	0,00	0,00
0,00	1,00	0,25	0,25	1	0,00	0,00
0,00	1,00	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,00	1,00	0,74	0,17	2	0,00	0,00
0,00	1,00	0,74	0,25	2	0,00	0,00
0,00	1,00	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,25	0,17	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,25	0,25	1	0,00	0,00
0,00	0,00	0,25	0,00	2	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,00	0,00	0,74	0,17	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,74	0,25	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,80	0,20	0,25	0,17	2	0,17	0,33
0,80	0,20	0,25	0,25	2	0,20	0,40
0,80	0,20	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,80	0,20	0,74	0,17	2	0,17	0,33
0,80	0,20	0,74	0,25	2	0,20	0,40
0,80	0,20	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,80	1,00	0,25	0,17	2	0,17	0,33
0,80	1,00	0,25	0,25	2	0,25	0,50
0,80	1,00	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,80	1,00	0,74	0,17	2	0,17	0,33
0,80	1,00	0,74	0,25	3	0,25	0,75
0,80	1,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,80	0,00	0,25	0,17	2	0,00	0,00
0,80	0,00	0,25	0,25	2	0,00	0,00
0,80	0,00	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,80	0,00	0,74	0,17	3	0,00	0,00
0,80	0,00	0,74	0,25	3	0,00	0,00
0,80	0,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,20	0,20	0,25	0,17	2	0,17	0,33
0,20	0,20	0,25	0,25	3	0,20	0,60
0,20	0,20	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,20	0,20	0,74	0,17	3	0,17	0,50
0,20	0,20	0,74	0,25	3	0,20	0,60
0,20	0,20	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,20	1,00	0,25	0,17	2	0,17	0,33
0,20	1,00	0,25	0,25	3	0,20	0,60
0,20	1,00	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,20	1,00	0,74	0,17	3	0,17	0,50
0,20	1,00	0,74	0,25	3	0,20	0,60
0,20	1,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,20	0,00	0,25	0,17	3	0,00	0,00
0,20	0,00	0,25	0,25	3	0,00	0,00
0,20	0,00	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,20	0,00	0,74	0,17	3	0,00	0,00
0,20	0,00	0,74	0,25	3	0,00	0,00
0,20	0,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00
Somatório					3,03	7,45

2. Cálculo da equação 23.

$$\frac{\sum_{i=1}^N Min_i \cdot Peso_i}{\sum_{i=1}^N Peso_i} = \frac{7,45}{3,03} = 2,46$$

- **Teste 4**

A classificação da variável de saída pelo especialista continua a mesma das tabelas 20 e 24. Somente os graus de pertinência foram alterados devido aos novos valores de entrada (tabela 55).

Tabela 55 – Graus de pertinência encontrados para as variáveis de entrada – Teste 4.

	Entrada	Baixo	Médio	Alta
Idade	57	0,00	0,00	0,67
Cigarro	15	0,90	-	0,05
Álcool	5	0,00	0,67	0,00
Barrett	0,2	1,00	0,40	0,00

Para o modelo de Mamdani é necessário:

1. Agrupamento dos termos da variável Resultado (tabelas 55, 56 e 57).

Tabela 56 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Baixo risco da variável Resultado (Teste 4).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,60	0,00	0,25	0,86	b	0,00
0,60	0,00	0,25	0,00	b	0,00
0,60	0,00	0,74	0,86	b	0,00
0,60	0,00	0,74	0,00	b	0,00
0,60	0,60	0,25	0,86	b	0,25
0,60	0,60	0,25	0,00	b	0,00
0,60	0,13	0,25	0,86	b	0,13
0,60	0,13	0,25	0,00	b	0,00

Tabela 57 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Médio risco da variável Resultado (Teste 4).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,60	0,00	0,25	0,00	m	0,00
0,60	0,00	0,74	0,00	m	0,00
0,60	0,60	0,25	0,00	m	0,00
0,60	0,60	0,74	0,86	m	0,60
0,60	0,60	0,74	0,00	m	0,00
0,60	0,60	0,74	0,00	m	0,00
0,60	0,13	0,25	0,00	m	0,00
0,60	0,13	0,74	0,86	m	0,13
0,60	0,13	0,74	0,00	m	0,00
0,60	0,13	0,74	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,25	0,86	m	0,00
0,40	0,00	0,25	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,25	0,00	m	0,00
0,40	0,00	0,74	0,86	m	0,00
0,40	0,00	0,74	0,00	m	0,00
0,40	0,60	0,25	0,86	m	0,25
0,40	0,60	0,25	0,00	m	0,00
0,40	0,60	0,74	0,86	m	0,40
0,40	0,13	0,25	0,86	m	0,13
0,40	0,13	0,25	0,00	m	0,00
0,00	0,00	0,25	0,86	m	0,00
0,00	0,60	0,25	0,86	m	0,00

Tabela 58 – Agrupamento dos valores mínimos para o termo Alto risco da variável Resultado (Teste 4).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,40	0,00	0,74	0,00	a	0,00
0,40	0,60	0,25	0,00	a	0,00
0,40	0,60	0,74	0,00	a	0,00
0,40	0,60	0,74	0,00	a	0,00
0,40	0,13	0,25	0,00	a	0,00
0,40	0,13	0,74	0,86	a	0,13
0,40	0,13	0,74	0,00	a	0,00
0,40	0,13	0,74	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,25	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,25	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,74	0,86	a	0,00
0,00	0,00	0,74	0,00	a	0,00
0,00	0,00	0,74	0,00	a	0,00
0,00	0,60	0,25	0,00	a	0,00
0,00	0,60	0,25	0,00	a	0,00
0,00	0,60	0,74	0,86	a	0,00
0,00	0,60	0,74	0,00	a	0,00
0,00	0,60	0,74	0,00	a	0,00
0,00	0,13	0,25	0,86	a	0,00
0,00	0,13	0,25	0,00	a	0,00
0,00	0,13	0,25	0,00	a	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Resultado	Min
0,00	0,13	0,74	0,86	a	0,00
0,00	0,13	0,74	0,00	a	0,00
0,00	0,13	0,74	0,00	a	0,00

2. Obtenção dos valores máximos de cada agrupamento (tabela 59).

Tabela 59 – Valores máximos de cada termo da variável Resultado (Teste 4).

Valores máximos	
b	0,25
m	0,60
a	0,13

3. Reconstrução do gráfico da variável Resultado a partir dos valores máximos de cada termo.

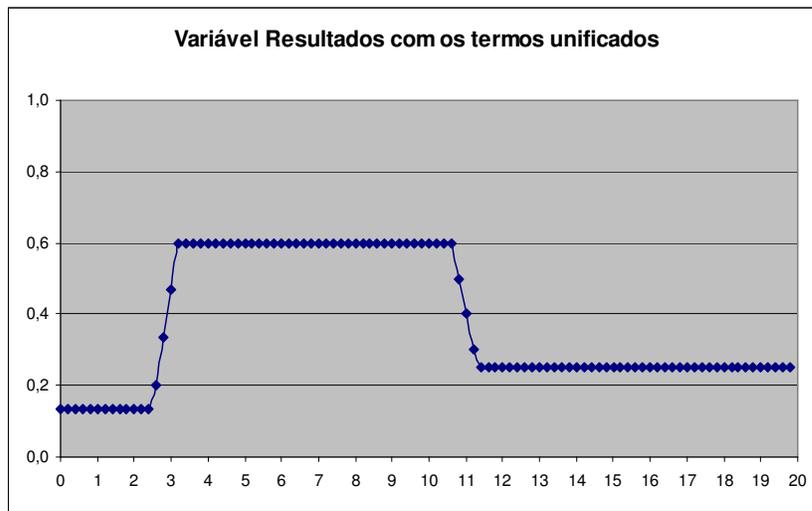


Figura 56 – Variável Idade com os termos unificados (Teste 4).

4. Cálculo do centro de massa da figura 56.

Tabela 60 – Formação dos termos, união dos termos pelo operador fuzzy OR e cálculo parcial do centro de massa (Teste 4).

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,13	0,13	0,00	0,0
0,00	0,00	0,13	0,13	0,03	0,2

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,00	0,13	0,13	0,05	0,4
0,00	0,00	0,13	0,13	0,08	0,6
0,00	0,00	0,13	0,13	0,11	0,8
0,00	0,00	0,13	0,13	0,13	1,0
0,00	0,00	0,13	0,13	0,16	1,2
0,00	0,00	0,13	0,13	0,19	1,4
0,00	0,00	0,13	0,13	0,21	1,6
0,00	0,00	0,13	0,13	0,24	1,8
0,00	0,00	0,13	0,13	0,27	2,0
0,00	0,00	0,13	0,13	0,29	2,2
0,00	0,00	0,13	0,13	0,32	2,4
0,00	0,07	0,13	0,13	0,35	2,6
0,00	0,20	0,13	0,20	0,56	2,8
0,00	0,33	0,13	0,33	1,00	3,0
0,00	0,47	0,13	0,47	1,49	3,2
0,00	0,60	0,13	0,60	2,04	3,4
0,00	0,60	0,13	0,60	2,16	3,6
0,00	0,60	0,13	0,60	2,28	3,8
0,00	0,60	0,13	0,60	2,40	4,0
0,00	0,60	0,13	0,60	2,52	4,2
0,00	0,60	0,13	0,60	2,64	4,4
0,00	0,60	0,13	0,60	2,76	4,6
0,00	0,60	0,08	0,60	2,88	4,8
0,00	0,60	0,00	0,60	3,00	5,0
0,00	0,60	0,00	0,60	3,12	5,2
0,00	0,60	0,00	0,60	3,24	5,4
0,00	0,60	0,00	0,60	3,36	5,6
0,00	0,60	0,00	0,60	3,48	5,8
0,00	0,60	0,00	0,60	3,60	6,0
0,00	0,60	0,00	0,60	3,72	6,2
0,00	0,60	0,00	0,60	3,84	6,4
0,00	0,60	0,00	0,60	3,96	6,6
0,00	0,60	0,00	0,60	4,08	6,8
0,00	0,60	0,00	0,60	4,20	7,0
0,00	0,60	0,00	0,60	4,32	7,2
0,00	0,60	0,00	0,60	4,44	7,4
0,00	0,60	0,00	0,60	4,56	7,6
0,00	0,60	0,00	0,60	4,68	7,8
0,00	0,60	0,00	0,60	4,80	8,0
0,00	0,60	0,00	0,60	4,92	8,2
0,00	0,60	0,00	0,60	5,04	8,4
0,00	0,60	0,00	0,60	5,16	8,6
0,00	0,60	0,00	0,60	5,28	8,8
0,00	0,60	0,00	0,60	5,40	9,0
0,00	0,60	0,00	0,60	5,52	9,2
0,00	0,60	0,00	0,60	5,64	9,4
0,00	0,60	0,00	0,60	5,76	9,6
0,00	0,60	0,00	0,60	5,88	9,8

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,00	0,60	0,00	0,60	6,00	10,0
0,10	0,60	0,00	0,60	6,12	10,2
0,20	0,60	0,00	0,60	6,24	10,4
0,25	0,60	0,00	0,60	6,36	10,6
0,25	0,60	0,00	0,60	6,48	10,8
0,25	0,50	0,00	0,50	5,50	11,0
0,25	0,40	0,00	0,40	4,48	11,2
0,25	0,30	0,00	0,30	3,42	11,4
0,25	0,20	0,00	0,25	2,90	11,6
0,25	0,10	0,00	0,25	2,95	11,8
0,25	0,00	0,00	0,25	3,00	12,0
0,25	0,00	0,00	0,25	3,05	12,2
0,25	0,00	0,00	0,25	3,10	12,4
0,25	0,00	0,00	0,25	3,15	12,6
0,25	0,00	0,00	0,25	3,20	12,8
0,25	0,00	0,00	0,25	3,25	13,0
0,25	0,00	0,00	0,25	3,30	13,2
0,25	0,00	0,00	0,25	3,35	13,4
0,25	0,00	0,00	0,25	3,40	13,6
0,25	0,00	0,00	0,25	3,45	13,8
0,25	0,00	0,00	0,25	3,50	14,0
0,25	0,00	0,00	0,25	3,55	14,2
0,25	0,00	0,00	0,25	3,60	14,4
0,25	0,00	0,00	0,25	3,65	14,6
0,25	0,00	0,00	0,25	3,70	14,8
0,25	0,00	0,00	0,25	3,75	15,0
0,25	0,00	0,00	0,25	3,80	15,2
0,25	0,00	0,00	0,25	3,85	15,4
0,25	0,00	0,00	0,25	3,90	15,6
0,25	0,00	0,00	0,25	3,95	15,8
0,25	0,00	0,00	0,25	4,00	16,0
0,25	0,00	0,00	0,25	4,05	16,2
0,25	0,00	0,00	0,25	4,10	16,4
0,25	0,00	0,00	0,25	4,15	16,6
0,25	0,00	0,00	0,25	4,20	16,8
0,25	0,00	0,00	0,25	4,25	17,0
0,25	0,00	0,00	0,25	4,30	17,2
0,25	0,00	0,00	0,25	4,35	17,4
0,25	0,00	0,00	0,25	4,40	17,6
0,25	0,00	0,00	0,25	4,45	17,8
0,25	0,00	0,00	0,25	4,50	18,0
0,25	0,00	0,00	0,25	4,55	18,2
0,25	0,00	0,00	0,25	4,60	18,4
0,25	0,00	0,00	0,25	4,65	18,6
0,25	0,00	0,00	0,25	4,70	18,8
0,25	0,00	0,00	0,25	4,75	19,0
0,25	0,00	0,00	0,25	4,80	19,2
0,25	0,00	0,00	0,25	4,85	19,4

Termos máximos			Cálculo do centro de Massa		
b	m	a	OR	Pto*OR	Pto
0,25	0,00	0,00	0,25	4,90	19,6
0,25	0,00	0,00	0,25	4,95	19,8
0,25	0,00	0,00	0,25	5,00	20,0
Somatório			37,62	350,61	

$$\frac{\sum_{i=1}^N OR_i \cdot Pto_i}{\sum_{i=1}^N OR_i} = \frac{350,61}{37,62} = 9,32 \text{ (Médio risco)}$$

Para o modelo de Sugeno é necessário:

1. Multiplicação dos valores mínimos com os pesos estipulados, somatório dos produtos e somatório dos valores mínimos (tabela 61).

Tabela 61 – Agrupamento dos valores mínimos para cada regra, multiplicação do peso com o respectivo valor mínimo (Teste 4).

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,60	0,00	0,25	0,86	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,25	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,00	0,74	0,86	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,74	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,00	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,60	0,25	0,86	1	0,25	0,25
0,60	0,60	0,25	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,60	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,60	0,74	0,86	2	0,60	1,20
0,60	0,60	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,60	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,13	0,25	0,86	1	0,13	0,13
0,60	0,13	0,25	0,00	1	0,00	0,00
0,60	0,13	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,13	0,74	0,86	2	0,13	0,27
0,60	0,13	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,60	0,13	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,25	0,86	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,74	0,86	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,74	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00

Barrett	Idade	Cigarro	Álcool	Peso	Min	Peso*Min
0,40	0,60	0,25	0,86	2	0,25	0,50
0,40	0,60	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,60	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,60	0,74	0,86	2	0,40	0,80
0,40	0,60	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,60	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,13	0,25	0,86	2	0,13	0,27
0,40	0,13	0,25	0,00	2	0,00	0,00
0,40	0,13	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,13	0,74	0,86	3	0,13	0,40
0,40	0,13	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,40	0,13	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,25	0,86	2	0,00	0,00
0,00	0,00	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,74	0,86	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,00	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,60	0,25	0,86	2	0,00	0,00
0,00	0,60	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,60	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,60	0,74	0,86	3	0,00	0,00
0,00	0,60	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,60	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,13	0,25	0,86	3	0,00	0,00
0,00	0,13	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,13	0,25	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,13	0,74	0,86	3	0,00	0,00
0,00	0,13	0,74	0,00	3	0,00	0,00
0,00	0,13	0,74	0,00	3	0,00	0,00
Somatório					2,03	3,82

2. Cálculo da equação 23.

$$\frac{\sum_{i=1}^N Min_i \cdot Peso_i}{\sum_{i=1}^N Peso_i} = \frac{3,82}{2,03} = 1,88 \text{ (Baixo risco)}$$

7.2 Tabela comparativa

Tabela 62 – Comparativo de resultados dos dois modelos de inferência.

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
35	2	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
35	2	5	1,5	Médio risco	Médio risco
35	2	5	2,6	Médio risco	Médio risco
35	2	5	3,2	Médio risco	Médio risco
35	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
35	2	30	1,5	Médio risco	Médio risco
35	2	30	2,6	Médio risco	Médio risco
35	2	30	3,2	Médio risco	Médio risco
35	2	50	0,2	Médio risco	Baixo risco
35	2	50	1,5	Risco Médio-Baixo	Médio risco
35	2	50	2,6	Médio risco	Médio risco
35	2	50	3,2	Alto risco	Alto risco
35	2	90	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
35	2	90	1,5	Médio risco	Médio risco
35	2	90	2,6	Médio risco	Médio risco
35	2	90	3,2	Alto risco	Alto risco
35	2	120	0,2	Médio risco	Médio risco
35	2	120	1,5	Médio risco	Médio risco
35	2	120	2,6	Médio risco	Médio risco
35	2	120	3,2	Alto risco	Alto risco
35	15	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
35	15	5	1,5	Médio risco	Médio risco
35	15	5	2,6	Médio risco	Médio risco
35	15	5	3,2	Médio risco	Médio risco
35	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
35	15	30	1,5	Médio risco	Médio risco
35	15	30	2,6	Médio risco	Médio risco
35	15	30	3,2	Médio risco	Médio risco
35	15	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
35	15	50	1,5	Médio risco	Médio risco
35	15	50	2,6	Médio risco	Médio risco
35	15	50	3,2	Alto risco	Alto risco
35	15	90	0,2	Médio risco	Médio risco
35	15	90	1,5	Médio risco	Médio risco
35	15	90	2,6	Médio risco	Médio risco
35	15	90	3,2	Alto risco	Alto risco
35	15	120	0,2	Médio risco	Médio risco
35	15	120	1,5	Médio risco	Médio risco
35	15	120	2,6	Médio risco	Médio risco
35	15	120	3,2	Alto risco	Alto risco
35	22	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
35	22	5	1,5	Médio risco	Médio risco
35	22	5	2,6	Médio risco	Médio risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
35	22	5	3,2	Alto risco	Alto risco
35	22	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
35	22	30	1,5	Médio risco	Médio risco
35	22	30	2,6	Médio risco	Médio risco
35	22	30	3,2	Alto risco	Alto risco
35	22	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
35	22	50	1,5	Médio risco	Médio risco
35	22	50	2,6	Médio risco	Médio risco
35	22	50	3,2	Alto risco	Alto risco
35	22	90	0,2	Médio risco	Médio risco
35	22	90	1,5	Médio risco	Médio risco
35	22	90	2,6	Médio risco	Médio risco
35	22	90	3,2	Alto risco	Alto risco
35	22	120	0,2	Médio risco	Médio risco
35	22	120	1,5	Alto risco	Alto risco
35	22	120	2,6	Alto risco	Alto risco
35	22	120	3,2	Alto risco	Alto risco
43	2	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
43	2	5	1,5	Médio risco	Médio risco
43	2	5	2,6	Médio risco	Médio risco
43	2	5	3,2	Médio risco	Médio risco
43	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
43	2	30	1,5	Médio risco	Médio risco
43	2	30	2,6	Médio risco	Médio risco
43	2	30	3,2	Médio risco	Médio risco
43	2	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
43	2	50	1,5	Médio risco	Médio risco
43	2	50	2,6	Médio risco	Médio risco
43	2	50	3,2	Alto risco	Alto risco
43	2	90	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
43	2	90	1,5	Médio risco	Médio risco
43	2	90	2,6	Médio risco	Médio risco
43	2	90	3,2	Alto risco	Alto risco
43	2	120	0,2	Médio risco	Médio risco
43	2	120	1,5	Médio risco	Médio risco
43	2	120	2,6	Médio risco	Médio risco
43	2	120	3,2	Alto risco	Alto risco
43	15	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
43	15	5	1,5	Médio risco	Médio risco
43	15	5	2,6	Médio risco	Médio risco
43	15	5	3,2	Médio risco	Médio risco
43	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
43	15	30	1,5	Médio risco	Médio risco
43	15	30	2,6	Médio risco	Médio risco
43	15	30	3,2	Médio risco	Médio risco
43	15	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
43	15	50	1,5	Médio risco	Médio risco
43	15	50	2,6	Médio risco	Médio risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
43	15	50	3,2	Alto risco	Alto risco
43	15	90	0,2	Médio risco	Médio risco
43	15	90	1,5	Médio risco	Médio risco
43	15	90	2,6	Médio risco	Médio risco
43	15	90	3,2	Alto risco	Alto risco
43	15	120	0,2	Médio risco	Médio risco
43	15	120	1,5	Médio risco	Médio risco
43	15	120	2,6	Médio risco	Médio risco
43	15	120	3,2	Alto risco	Alto risco
43	22	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
43	22	5	1,5	Médio risco	Médio risco
43	22	5	2,6	Médio risco	Médio risco
43	22	5	3,2	Alto risco	Alto risco
43	22	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
43	22	30	1,5	Médio risco	Médio risco
43	22	30	2,6	Médio risco	Médio risco
43	22	30	3,2	Alto risco	Alto risco
43	22	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
43	22	50	1,5	Médio risco	Médio risco
43	22	50	2,6	Médio risco	Médio risco
43	22	50	3,2	Alto risco	Alto risco
43	22	90	0,2	Médio risco	Médio risco
43	22	90	1,5	Médio risco	Médio risco
43	22	90	2,6	Médio risco	Médio risco
43	22	90	3,2	Alto risco	Alto risco
43	22	120	0,2	Médio risco	Médio risco
43	22	120	1,5	Alto risco	Alto risco
43	22	120	2,6	Alto risco	Alto risco
43	22	120	3,2	Alto risco	Alto risco
52	2	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
52	2	5	1,5	Médio risco	Médio risco
52	2	5	2,6	Médio risco	Médio risco
52	2	5	3,2	Médio risco	Médio risco
52	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
52	2	30	1,5	Médio risco	Médio risco
52	2	30	2,6	Médio risco	Médio risco
52	2	30	3,2	Médio risco	Médio risco
52	2	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
52	2	50	1,5	Médio risco	Médio risco
52	2	50	2,6	Médio risco	Médio risco
52	2	50	3,2	Alto risco	Alto risco
52	2	90	0,2	Médio risco	Médio risco
52	2	90	1,5	Médio risco	Médio risco
52	2	90	2,6	Médio risco	Médio risco
52	2	90	3,2	Alto risco	Alto risco
52	2	120	0,2	Médio risco	Médio risco
52	2	120	1,5	Risco Alto-Médio	Médio risco
52	2	120	2,6	Risco Alto-Médio	Médio risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
52	2	120	3,2	Alto risco	Alto risco
52	15	5	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	15	5	1,5	Médio risco	Médio risco
52	15	5	2,6	Médio risco	Médio risco
52	15	5	3,2	Médio risco	Médio risco
52	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
52	15	30	1,5	Médio risco	Médio risco
52	15	30	2,6	Médio risco	Médio risco
52	15	30	3,2	Médio risco	Médio risco
52	15	50	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	15	50	1,5	Médio risco	Médio risco
52	15	50	2,6	Médio risco	Médio risco
52	15	50	3,2	Alto risco	Alto risco
52	15	90	0,2	Médio risco	Médio risco
52	15	90	1,5	Médio risco	Médio risco
52	15	90	2,6	Médio risco	Médio risco
52	15	90	3,2	Alto risco	Alto risco
52	15	120	0,2	Médio risco	Médio risco
52	15	120	1,5	Médio risco	Médio risco
52	15	120	2,6	Médio risco	Médio risco
52	15	120	3,2	Alto risco	Alto risco
52	22	5	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	22	5	1,5	Médio risco	Médio risco
52	22	5	2,6	Médio risco	Médio risco
52	22	5	3,2	Alto risco	Alto risco
52	22	30	0,2	Médio risco	Baixo risco
52	22	30	1,5	Médio risco	Médio risco
52	22	30	2,6	Médio risco	Médio risco
52	22	30	3,2	Alto risco	Alto risco
52	22	50	0,2	Médio risco	Médio risco
52	22	50	1,5	Médio risco	Médio risco
52	22	50	2,6	Médio risco	Médio risco
52	22	50	3,2	Alto risco	Alto risco
52	22	90	0,2	Médio risco	Médio risco
52	22	90	1,5	Médio risco	Médio risco
52	22	90	2,6	Médio risco	Médio risco
52	22	90	3,2	Alto risco	Alto risco
52	22	120	0,2	Médio risco	Médio risco
52	22	120	1,5	Alto risco	Alto risco
52	22	120	2,6	Alto risco	Alto risco
52	22	120	3,2	Alto risco	Alto risco
57	2	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
57	2	5	1,5	Médio risco	Médio risco
57	2	5	2,6	Médio risco	Médio risco
57	2	5	3,2	Médio risco	Médio risco
57	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
57	2	30	1,5	Médio risco	Médio risco
57	2	30	2,6	Médio risco	Médio risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
57	2	30	3,2	Médio risco	Médio risco
57	2	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
57	2	50	1,5	Médio risco	Médio risco
57	2	50	2,6	Médio risco	Médio risco
57	2	50	3,2	Alto risco	Alto risco
57	2	90	0,2	Médio risco	Médio risco
57	2	90	1,5	Médio risco	Médio risco
57	2	90	2,6	Médio risco	Médio risco
57	2	90	3,2	Alto risco	Alto risco
57	2	120	0,2	Médio risco	Médio risco
57	2	120	1,5	Alto risco	Alto risco
57	2	120	2,6	Alto risco	Alto risco
57	2	120	3,2	Alto risco	Alto risco
57	15	5	0,2	Médio risco	Baixo risco
57	15	5	1,5	Médio risco	Médio risco
57	15	5	2,6	Médio risco	Médio risco
57	15	5	3,2	Médio risco	Médio risco
57	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
57	15	30	1,5	Médio risco	Médio risco
57	15	30	2,6	Médio risco	Médio risco
57	15	30	3,2	Médio risco	Médio risco
57	15	50	0,2	Médio risco	Médio risco
57	15	50	1,5	Médio risco	Médio risco
57	15	50	2,6	Médio risco	Médio risco
57	15	50	3,2	Alto risco	Alto risco
57	15	90	0,2	Médio risco	Médio risco
57	15	90	1,5	Médio risco	Médio risco
57	15	90	2,6	Médio risco	Médio risco
57	15	90	3,2	Alto risco	Alto risco
57	15	120	0,2	Médio risco	Médio risco
57	15	120	1,5	Alto risco	Alto risco
57	15	120	2,6	Alto risco	Alto risco
57	15	120	3,2	Alto risco	Alto risco
57	22	5	0,2	Médio risco	Médio risco
57	22	5	1,5	Médio risco	Médio risco
57	22	5	2,6	Médio risco	Médio risco
57	22	5	3,2	Alto risco	Alto risco
57	22	30	0,2	Médio risco	Médio risco
57	22	30	1,5	Médio risco	Médio risco
57	22	30	2,6	Médio risco	Médio risco
57	22	30	3,2	Alto risco	Alto risco
57	22	50	0,2	Médio risco	Médio risco
57	22	50	1,5	Alto risco	Alto risco
57	22	50	2,6	Alto risco	Alto risco
57	22	50	3,2	Alto risco	Alto risco
57	22	90	0,2	Médio risco	Médio risco
57	22	90	1,5	Alto risco	Alto risco
57	22	90	2,6	Alto risco	Alto risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
57	22	90	3,2	Alto risco	Alto risco
57	22	120	0,2	Médio risco	Médio risco
57	22	120	1,5	Alto risco	Alto risco
57	22	120	2,6	Alto risco	Alto risco
57	22	120	3,2	Alto risco	Alto risco
65	2	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
65	2	5	1,5	Médio risco	Médio risco
65	2	5	2,6	Médio risco	Médio risco
65	2	5	3,2	Alto risco	Alto risco
65	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
65	2	30	1,5	Médio risco	Médio risco
65	2	30	2,6	Médio risco	Médio risco
65	2	30	3,2	Alto risco	Alto risco
65	2	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
65	2	50	1,5	Médio risco	Médio risco
65	2	50	2,6	Médio risco	Médio risco
65	2	50	3,2	Alto risco	Alto risco
65	2	90	0,2	Médio risco	Médio risco
65	2	90	1,5	Médio risco	Médio risco
65	2	90	2,6	Médio risco	Médio risco
65	2	90	3,2	Alto risco	Alto risco
65	2	120	0,2	Médio risco	Médio risco
65	2	120	1,5	Alto risco	Alto risco
65	2	120	2,6	Alto risco	Alto risco
65	2	120	3,2	Alto risco	Alto risco
65	15	5	0,2	Médio risco	Médio risco
65	15	5	1,5	Médio risco	Médio risco
65	15	5	2,6	Médio risco	Médio risco
65	15	5	3,2	Alto risco	Alto risco
65	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
65	15	30	1,5	Médio risco	Médio risco
65	15	30	2,6	Médio risco	Médio risco
65	15	30	3,2	Alto risco	Alto risco
65	15	50	0,2	Médio risco	Médio risco
65	15	50	1,5	Médio risco	Médio risco
65	15	50	2,6	Médio risco	Médio risco
65	15	50	3,2	Alto risco	Alto risco
65	15	90	0,2	Médio risco	Médio risco
65	15	90	1,5	Médio risco	Médio risco
65	15	90	2,6	Médio risco	Médio risco
65	15	90	3,2	Alto risco	Alto risco
65	15	120	0,2	Médio risco	Médio risco
65	15	120	1,5	Alto risco	Alto risco
65	15	120	2,6	Alto risco	Alto risco
65	15	120	3,2	Alto risco	Alto risco
65	22	5	0,2	Médio risco	Médio risco
65	22	5	1,5	Alto risco	Alto risco
65	22	5	2,6	Alto risco	Alto risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
65	22	5	3,2	Alto risco	Alto risco
65	22	30	0,2	Médio risco	Médio risco
65	22	30	1,5	Alto risco	Alto risco
65	22	30	2,6	Alto risco	Alto risco
65	22	30	3,2	Alto risco	Alto risco
65	22	50	0,2	Médio risco	Médio risco
65	22	50	1,5	Alto risco	Alto risco
65	22	50	2,6	Alto risco	Alto risco
65	22	50	3,2	Alto risco	Alto risco
65	22	90	0,2	Médio risco	Médio risco
65	22	90	1,5	Alto risco	Alto risco
65	22	90	2,6	Alto risco	Alto risco
65	22	90	3,2	Alto risco	Alto risco
65	22	120	0,2	Médio risco	Médio risco
65	22	120	1,5	Alto risco	Alto risco
65	22	120	2,6	Alto risco	Alto risco
65	22	120	3,2	Alto risco	Alto risco
75	2	5	0,2	Baixo risco	Baixo risco
75	2	5	1,5	Médio risco	Médio risco
75	2	5	2,6	Médio risco	Médio risco
75	2	5	3,2	Alto risco	Alto risco
75	2	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Baixo risco
75	2	30	1,5	Médio risco	Médio risco
75	2	30	2,6	Médio risco	Médio risco
75	2	30	3,2	Alto risco	Alto risco
75	2	50	0,2	Baixo risco	Baixo risco
75	2	50	1,5	Médio risco	Médio risco
75	2	50	2,6	Médio risco	Médio risco
75	2	50	3,2	Alto risco	Alto risco
75	2	90	0,2	Médio risco	Médio risco
75	2	90	1,5	Médio risco	Médio risco
75	2	90	2,6	Médio risco	Médio risco
75	2	90	3,2	Alto risco	Alto risco
75	2	120	0,2	Médio risco	Médio risco
75	2	120	1,5	Alto risco	Alto risco
75	2	120	2,6	Alto risco	Alto risco
75	2	120	3,2	Alto risco	Alto risco
75	15	5	0,2	Médio risco	Médio risco
75	15	5	1,5	Médio risco	Médio risco
75	15	5	2,6	Médio risco	Médio risco
75	15	5	3,2	Alto risco	Alto risco
75	15	30	0,2	Risco Médio-Baixo	Médio risco
75	15	30	1,5	Médio risco	Médio risco
75	15	30	2,6	Médio risco	Médio risco
75	15	30	3,2	Alto risco	Alto risco
75	15	50	0,2	Médio risco	Médio risco
75	15	50	1,5	Médio risco	Médio risco
75	15	50	2,6	Médio risco	Médio risco

Idade	Cigarro	Álcool	Barrett	Mamdani	Sugeno
75	15	50	3,2	Alto risco	Alto risco
75	15	90	0,2	Médio risco	Médio risco
75	15	90	1,5	Médio risco	Médio risco
75	15	90	2,6	Médio risco	Médio risco
75	15	90	3,2	Alto risco	Alto risco
75	15	120	0,2	Médio risco	Médio risco
75	15	120	1,5	Alto risco	Alto risco
75	15	120	2,6	Alto risco	Alto risco
75	15	120	3,2	Alto risco	Alto risco
75	22	5	0,2	Médio risco	Médio risco
75	22	5	1,5	Alto risco	Alto risco
75	22	5	2,6	Alto risco	Alto risco
75	22	5	3,2	Alto risco	Alto risco
75	22	30	0,2	Médio risco	Médio risco
75	22	30	1,5	Alto risco	Alto risco
75	22	30	2,6	Alto risco	Alto risco
75	22	30	3,2	Alto risco	Alto risco
75	22	50	0,2	Médio risco	Médio risco
75	22	50	1,5	Alto risco	Alto risco
75	22	50	2,6	Alto risco	Alto risco
75	22	50	3,2	Alto risco	Alto risco
75	22	90	0,2	Médio risco	Médio risco
75	22	90	1,5	Alto risco	Alto risco
75	22	90	2,6	Alto risco	Alto risco
75	22	90	3,2	Alto risco	Alto risco
75	22	120	0,2	Médio risco	Médio risco
75	22	120	1,5	Alto risco	Alto risco
75	22	120	2,6	Alto risco	Alto risco
75	22	120	3,2	Alto risco	Alto risco