



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS  
MESTRADO PROFISSIONAL

## **SEGURANÇA NO TRABALHO: ESPECIFICAÇÃO DE UM MODELO DE INFERÊNCIA FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO AGENTE CALOR**

**Alex Sander Záu Vieira**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Manoel Henrique Reis Nascimento

Belém

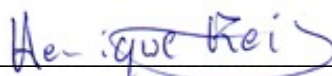
Agosto de 2021

**SEGURANÇA NO TRABALHO: ESPECIFICAÇÃO DE UM MODELO DE  
INFERÊNCIA FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO AGENTE CALOR**

Alex Sander Záu Vieira

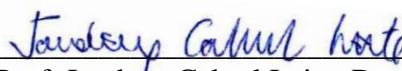
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



---

Prof. Manoel Henrique Reis Nascimento, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



---

Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



---

Prof. David Barbosa de Alencar, Dr.  
(UNIP-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

AGOSTO DE 2021

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da UFPA**

---

Vieira, Alex Sander Záu, 1967-  
Segurança no trabalho: Especificação de um modelo de inferência fuzzy para avaliação do agente calor / Alex Sander Záu Vieira - 2021.

Orientador: Manuel Henrique Reis Nascimento

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2021.

1. Fuzzy 2. Taxa metabólica 3. Legislação 4. Salubre 5. Insalubre I. Título

CDD 670.42

---

*Dedico este trabalho a todos aqueles que  
contribuíram para sua realização.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por todo o suporte e auxílio necessários nesse Projeto.

À minha família, em especial à minha esposa Aliete Maria Ribeiro Vieira e minha Filha Thaís Ribeiro Vieira.

Ao meu orientador, Professor Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento por além de todo o trabalho na orientação, desde o início ter me incentivado e auxiliado na pesquisa, desenvolvimento e elaboração do modelo proposto.

A todos os Professores e funcionários do PPGEF da Universidade Federal do Pará.

À toda equipe do Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia – ITEGAM e em particular ao Professor Dr Jandecy Cabral Leite pelo espírito empreendedor, incentivo e apoio.

Ao meu amigo pesquisador e Mestrando da Universidade Federal de Santa Catarina, Daniel Sousa da Silva, pelo auxílio desde o início do projeto.

Durante o Mestrado conheci uma colega que depois passou a ser uma grande amiga e auxiliadora, a Professora Mestra Eliana Veras, a qual nos momentos mais difíceis da caminhada comigo esteve e manteve-se até o final dessa árdua caminhada para a finalização do Curso. Agradeço, portanto, a Ela todo o auxílio fornecido.

*“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz...”*

(Bill Gates)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

## **SEGURANÇA NO TRABALHO: ESPECIFICAÇÃO DE UM MODELO DE INFERÊNCIA FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO AGENTE CALOR**

**Alex Sander Záu Vieira**

Agosto/2021

Orientador: Manoel Henrique Reis Nascimento

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Esta pesquisa apresenta um estudo que consiste na especificação de um modelo de inferência *fuzzy* para avaliação do agente de risco calor. Como estrutura do modelo *fuzzy* foram utilizadas as entradas de temperatura medida e taxa metabólica, enquanto a saída foi uma condição do ambiente de trabalho que pode ser salubre ou insalubre. Por meio de regras de inferência estabelecidas bem como pela legislação brasileira sobre medição de calor, Norma de Higiene Ocupacional 06, o modelo proposto pode determinar as condições do ambiente de trabalho quanto ao calor. O processo de validação foi feito em três indústrias do Pólo Industrial de Manaus, tendo sido descrito todo o processo necessário para a preparação da utilização do modelo proposto para obtenção de todas as variáveis necessárias em campo. Com isso, este modelo obteve a correta classificação das condições do ambiente de trabalho com resultados pertinentes de acordo com a legislação vigente e conhecimentos técnicos.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**SAFETY AT WORK: SPECIFICATION OF THE FUZZY INFERENCE  
MODEL FOR ASSESSMENT OF THE HEAT AGENT**

**Alex Sander Záu Vieira**

August/2021

Advisor: Manoel Henrique Reis Nascimento

Research Area: Process Engineering

This article presents a study that consists of a fuzzy inference model specification for the evaluation of heat agents. The structure of model fuzzy used were inputs measured temperature and metabolic rate, while the output was work environment condition that could be salubrious or insalubrious. Through, the inference rules established and according to Brazil legislation about heat, Occupational Hygiene Standard 06, the proposed model can determine the worker conditions about the heat. The validation process is done in three industries from the Industrial Pole of Manaus, therefor all the process necessary for preparations to use the proposed model was described to obtain all the variables necessary in the field. As a result, the proposed model got the correct classification of work environment conditions with pertinent results according to current legislation and technical expertise.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	2
<b>1.2.1 - Objetivo geral.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 - Objetivos específicos.....</b>	<b>2</b>
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	2
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 - SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NO BRASIL.....	4
<b>2.1.1 - Histórico.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 - Fundamentos.....</b>	<b>5</b>
2.2 - ANÁLISE DE RISCOS.....	7
2.3 - CALOR.....	10
<b>2.3.1 - Conforto térmico.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 - Trocas térmicas.....</b>	<b>15</b>
2.3.2.1 - Condução.....	15
2.3.2.2 - Convecção.....	16
2.3.2.3 - Radiação.....	16
2.3.2.4 - Evaporação.....	16
<b>2.3.3 - Fatores de influência nas trocas térmicas.....</b>	<b>17</b>
2.4 - HIGIENE DO TRABALHO.....	19
2.5 - NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL 06.....	20
<b>2.5.1 - Índice bulbo úmido termômetro de globo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.2 - Taxas metabólicas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.3 - Limites de exposição ocupacional.....</b>	<b>22</b>
2.6 - NORMA REGULAMENTADORA 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES.....	22
2.7 - INSALUBRIDADE.....	23
2.8 - FUNDAMENTOS DA LÓGICA FUZZY.....	24
2.9 - CONJUNTOS FUZZY.....	24
2.10 - FUNÇÃO PERTINÊNCIA.....	26

2.11 - OPERAÇÕES COM SUBCONJUNTOS FUZZY.....	27
2.12 - MECANISMOS DE INFERÊNCIA FUZZY.....	28
2.13 - DEFUZZYFICAÇÃO.....	28
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>31</b>
3.1 - MÉTODO.....	31
3.2 - MATERIAIS.....	33
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
4.1 - ESPECIFICAÇÃO E VISÃO GERAL DO MODELO.....	35
4.2 - SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO.....	42
<b>4.2.1 - Nível metodológico 1.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2 - Nível metodológico 2.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.3 - Nível metodológico 3.....</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>58</b>
5.1 - CONCLUSÕES.....	58
5.2 - SUGESTÕES.....	59
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO I - TABELAS DA NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL 06.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO II - TABELAS DE ELEMENTOS DE FUZZIFICAÇÃO.....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Exaustores eólicos.....	14
Figura 2.2	Lanternim.....	15
Figura 2.3	Resfriamento de telhado com água.....	15
Figura 2.4	Definição de níveis de risco.....	20
Figura 2.5	Conjunto clássico e <i>fuzzy</i> .....	25
Figura 2.6	Gráficos funções pertinência.....	26
Figura 2.7	Sistema lógica <i>fuzzy</i> .....	29
Figura 3.1	Fluxograma dos passos da metodologia.....	33
Figura 3.2	Termômetros.....	34
Figura 4.1	Modelo <i>fuzzy</i> (entradas e saídas).....	37
Figura 4.2	Regras de inferência.....	38
Figura 4.3	Funções de pertinência triangulares da variável temperatura.....	39
Figura 4.4	Funções de pertinência trapezoidais da variável taxa metabólica..	40
Figura 4.5	Funções de pertinência Gaussiana.....	40
Figura 4.6	Representação tridimensional.....	42
Figura 4.7	Caso 1 - Nível metodológico.....	44
Figura 4.8	Caso 2 - Nível metodológico.....	45
Figura 4.9	Caso 3 - Nível metodológico 1.....	46
Figura 4.10	Caso 1 - Nível metodológico 2.....	48
Figura 4.11	Caso 2 - Nível metodológico 2.....	49
Figura 4.12	Caso 3 - Nível metodológico 2.....	50
Figura 4.13	Fotos empresa 1.....	51
Figura 4.14	Caso 1 - Nível metodológico 3.....	52
Figura 4.15	Fotos empresa 2.....	53
Figura 4.16	Caso 2 - Nível metodológico 3.....	54
Figura 4.17	Fotos empresa 3.....	55
Figura 4.18	Caso 3 - Nível metodológico 3.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Dados climatológicos de Manaus.....	12
Tabela 2.2	Equações funções pertinência.....	27
Tabela 4.1	Principais regras de inferência.....	41
Tabela 4.2	Casos hipotéticos.....	47
Tabela 4.3	Nível metodológico 3.....	50

## NOMENCLATURA

ABHO	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENE OCUPACIONAL
ABMT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MEDICINA DO TRABALHO
ABPA	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÃO DE ACIDENTES
CIPA	COMISSÃO INTERNA DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES
CLT	CONSOLIDAÇÃO DAS LEIS DO TRABALHO
IBUTG	ÍNDICE DE BULBO ÚMIDO TERMÔMETRO DE GLOBO
NHO	NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL
NR	NORMA REGULAMENTADORA
OIT	ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO
PCMSO	PROGRAMA DE CONTROLE MÉDICO SAÚDE OCUPACIONAL
PPRA	PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS
SESMT	SERVIÇO DE ENGENHARIA, SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO
SOBES	SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA
TST	TRIBUNAL SUPERIOR DO TRABALHO

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - MOTIVAÇÃO

O trabalho seguro cada vez mais constitui um desafio no Brasil. Conforme o Anuário Estatístico sobre Segurança e Saúde Ocupacional, entre 2016 e 2018, foram registrados 1.409.293 acidentes de trabalho. Além destes muitos casos ocorreram sem registro (TST, 2020).

Trabalhadores se acidentam, adoecem e dentre os cinco tipos de riscos, a saber, físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes, os físicos são passíveis de gerar insalubridade no trabalho. Tal fator, levando em conta que o homem passa mais de 1/3 do seu dia, no local de trabalho, a salubridade desse ambiente é fundamental para o bom desenvolvimento de sua atividade bem como influencia na produtividade (TST, 2020). Dentre os diversos agentes de risco físico, o calor é sem dúvida um dos mais desafiadores por diversos motivos dentre eles a dificuldade em reduzi-lo, também nos ambientes de trabalho. Altos investimentos são necessários, muitas vezes, para reduzir-se poucos graus centígrados.

Considerando que estamos na região Norte, quente e muito úmida, o agente calor é causador de ambientes insalubres e, portanto, sabotador diário da saúde dos trabalhadores que nessas condições labutam (ZHENG *et al.*, 2012). Para tal no presente estudo optou-se por desenvolver modelo de inferência, usando a lógica *fuzzy*, na análise da salubridade pertinente a esse agente, já que por meio desta é possível obter-se indicadores para tal avaliação (NICHIOKA, 2019). Tal técnica permite não apenas definir, separar o que é salubre do insalubre, mas também tão importante quanto, a demonstração da proximidade com a insalubridade e as consequentes ações do empresário com o intuito de evita-la, visto que as concepções da lógica difusa como incorporar padrões e julgamentos subjetivos proporcionam a classificação do tipo de atividade do trabalho (GÜRCANLI e MÜNGEN, 2009).

Desta forma, adiciona-se maior confiabilidade na análise do agente calor com o intuito de diminuição de custo e tempo associado a este processo de determinação de salubridade do ambiente de trabalho de forma que se tenha por meio do sistema *fuzzy* um resultado fundamentado coerente com as normas vigentes.

Portanto, por meio dessa pesquisa será especificado um modelo de inferência *fuzzy* para análise de salubridade pertinente ao agente físico calor para automatizar o processo de avaliação desse agente.

## 1.2 - OBJETIVOS

### 1.2.1 - Objetivo geral

Especificar um modelo de inferência *fuzzy* para análise de salubridade pertinente ao agente físico calor.

### 1.2.2 - Objetivos específicos

- Identificar as possíveis variáveis de inferência para o modelo *fuzzy*;
- Definir as variáveis de inferência mais significativas para o modelo *fuzzy*;
- Desenvolver o modelo de inferência *fuzzy* para análise da salubridade pertinente ao agente de risco físico calor;
- Simular o modelo de inferência *fuzzy*;
- Validar os resultados.

## 1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Verificação de possibilidade de estabelecimento de hipótese de aplicação de técnicas computacionais na área de engenharia de segurança do trabalho, contribuindo em âmbito acadêmico de forma que o emprego dessas técnicas teóricas em ambiente profissional e industrial é de grande valia. Visto que apesar do grande número de estudos de acidente de trabalho, avaliação de riscos e práticas de segurança, poucos abordam os princípios da lógica *fuzzy* na área da higiene e segurança do trabalho (GÜRCANLI e MÜNGEN, 2009).

Esse trabalho permitirá o desenvolvimento de Ferramenta Sistêmica no estudo da salubridade pertinente ao agente de risco físico calor, tão comum na região Norte. Além da definição da salubridade, ele também demonstrará os valores que irão constituir a zona de ação, ou seja, valores de temperatura ocupacional, que apesar de ainda não

caracterizarem o ambiente como insalubre, mas ações já devem ser tomadas para que este não se torne insalubre.

#### 1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre a lógica *fuzzy* bem como as funções pertinências, regras de inferência, fuzzificação e defuzzificação de modelos para o uso na determinação de condição de saúde ocupacional englobando temas como Legislação, Metodologia para Avaliação, Normas Regulamentadoras - NR. Com isto, busca-se investigar também as principais características relacionadas ao agente calor, seus efeitos e consequências.

O capítulo 3 descreve a Metodologia do trabalho que é dividida nos seguintes passos: estudo de modelos *fuzzy*, estudo das NRs, estudo da metodologia de avaliação do processo, Norma de Higiene Ocupacional 06 – NHO 06 - Avaliação da exposição ocupacional ao calor, especificação e validação do Modelo.

O capítulo 4 apresenta os resultados do modelo *fuzzy* proposto desenvolvido ao longo do trabalho a partir dos estudos de simulações elaboradas das regras de inferência pertinentes à lógica *fuzzy*. Além disso, trata-se de discussão acerca dos resultados obtidos como forma de validação do modelo proposto.

O capítulo 5 apresenta as conclusões e sugestões, com base nos resultados apresentados no capítulo 4. E por fim, as referências bibliográficas, lidas e utilizadas na dissertação e que deram embasamento à pesquisa.



## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 - SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NO BRASIL

##### 2.1.1 - Histórico

A partir da segunda guerra mundial, o Brasil iniciou de fato o processo de desenvolvimento industrial, surgindo através da Consolidação das Leis do Trabalho – CLT, advinda pelo Decreto-Lei N.5.452/1943, as primeiras leis de proteção ao trabalhador, no governo de Getúlio Vargas. Esta, no Capítulo V trata da segurança e da medicina do trabalho, depois alterado pela Lei 6.514/1977.

No entanto o modelo de desenvolvimento adotado, sem controle e com pouca regulamentação do Estado se estendeu até o final da década de 80. Nesse período não ocorreram grandes avanços para a melhoria das condições de segurança e saúde no trabalho.

Somente em 1972, diante do grande número de acidentes do trabalho, é que o Brasil regulamentou a obrigatoriedade dos Serviços de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT), através da Portaria 3.237/1972 com base na recomendação Organização Internacional do Trabalho (OIT) 112. Porém somente com o advento da Portaria 3.214/1978, que publicou as primeiras 28 Normas Regulamentadoras - NRs, é que a regulamentação preventiva ganhou força. A NR 15 – Insalubridade, em seu anexo 3 é a usada para, com o auxílio da Norma de Higiene Ocupacional 06 – NHO, responsável pela metodologia de medição do calor, definir os limites de tolerância para exposição ao calor.

No setor privado, os primeiros passos foram dados em 1941, com a fundação da Associação Brasileira para Prevenção de Acidentes (ABPA), sob a forma de sociedade civil sem fins lucrativos, considerada de utilidade pública pelo Decreto 1.328/63. A partir daí, foram criadas várias entidades visando promover o intercâmbio e a divulgação de produção científica no campo da prevenção de acidentes, além de ser um fórum de discussão para a melhoria da legislação. Dentre as diversas entidades existentes, destacam-se além da ABPA, a Sociedade Brasileira de Engenharia de Segurança

(SOBES), a Associação Brasileira de Higiene Ocupacional (ABHO) e a Associação Brasileira de Medicina do Trabalho (ABMT).

Segundo MORAES (2009) no Brasil a OIT, tem mantido representação desde 1950, com programas e atividades visando a divulgação das políticas e programas de emprego e formação profissional e de proteção social. A partir daí constata-se a preocupação das universidades e dos pesquisadores brasileiros pela saúde do trabalhador, que passam a produzir inúmeras pesquisas e teses sobre doenças ocupacionais. A publicação da Recomendação OIT 112 sobre melhoria das condições de trabalho e a criação em 1996 da Fundação Jorge Duprat (FUNDACENTRO), incentivou o pensamento preventivo, tornando-se o marco inicial para a criação das NRs.

### **2.1.2 - Fundamentos**

Para entendimento das questões referentes a segurança e saúde ocupacional, é mister estabelecer fundamentos com o intuito de conceituar aspectos necessários da segurança e saúde ocupacional. Entre eles, o trabalho, a segurança e a saúde ocupacionais.

O significado da palavra trabalho, do ponto de vista etimológico, tem origem na palavra latina *tripaliare*, ou martirizar com o *tripalium*, instrumento usado para tortura. Daí, a associação histórica do trabalho com o sofrimento físico e psíquico que deu origem aos termos insalubre, penoso, perigoso, dentre outros (MORAES, 2009).

Nos dias de hoje, o trabalho possui um significado mais nobre, envolve a aplicação das forças e faculdades humanas, física e/ou intelectual, para a produção de bens e serviços em troca de remuneração. Os valores, usos e costumes das sociedades no século XXI não toleram o lucro a qualquer preço, sem considerar a manutenção das condições dignas de segurança, saúde ocupacional, sustentabilidade ambiental e responsabilidade social.

Para MORAES (2009), filósofa e pensadora política, o trabalho não está necessariamente contido no repetitivo ciclo vital da espécie. É através do trabalho que o homem transforma os recursos extraídos da natureza, convertendo o mundo num espaço de objetos compartilhados por todos.

Segundo MORAES (2009), trabalho é o conjunto de ações que o homem, com uma finalidade prática, com a ajuda do cérebro, das mãos, de instrumentos ou de

máquinas, exerce sobre a matéria, ações que por sua vez, reagindo sobre o homem, modificam-no.

Tradicionalmente, as questões relacionadas com a Higiene, Segurança e Saúde do Trabalho têm vindo a ser, de regra geral, exclusivamente tratadas com base em regulamentos e procedimentos minuciosamente prescritos por especialistas na matéria e cujo cumprimento é necessário garantir e controlar. (VASCONCELOS e LACOMBLEZ (2004).

Acidentes de trabalho estão entre os principais fenômenos causadores de prejuízos à saúde dos trabalhadores (VILELA *et al.*, 2012). Cuidados com a saúde dos trabalhadores são de extrema importância, permitindo o enfrentamento das adversidades da ocupação com intenção do desenvolvimento individual e coletivo (RAMMINGER, 2013).

O bem-estar significa a saúde no sentido mais amplo de maneira mais ativa. A nova noção torna-se partilhada, é promovida internacionalmente, acolhida pela legislação de diferentes países no mundo inteiro. (MAGGI, 2006).

Segundo BRITO (2004), tem-se aí a configuração de outra noção de saúde, que difere da anterior concepção de causalidade, seja de um agente específico ou de fatores. A saúde passa a ser vinculada ao processo de trabalho, vista como conquista permanente.

Nesse sentido, o combate aos danos à saúde se dá principalmente por mudanças no processo de trabalho e nas relações sociais que o envolvem. Isso implica a necessidade de conhecer o trabalho, como ele é realizado e sob quais relações sociais, para que os danos à saúde sejam interpretados e combatidos, mediante mudanças no processo de trabalho e nas relações sociais que o envolvem. (BRITO, 2004).

De acordo com a perspectiva de CANGUILHEM (1990), antes de se constituir como conceito científico, a saúde deve ser entendida como assunto que diz respeito a todos, a cada um que a experimenta. Não se trata, portanto, da expressão de um valor universal, algo definido por especialistas e a eles restrito, mas antes relacionado a experiências singulares. Essa ideia é fundamental para o que se está abordando e remete a uma premissa de humildade epistemológica que delimita o lugar do especialista, evitando totalizações, com a respectiva e necessária relativização dos conhecimentos.

O trabalho prescrito inclui, portanto, dois componentes básicos: as condições determinadas de uma situação de trabalho (as características do dispositivo técnico, o ambiente físico, a matéria-prima utilizada, as condições socioeconômicas etc.) e as

prescrições (normas, ordens, procedimentos, resultados a serem obtidos etc. (TELLES e ALVAREZ, 2004).

## 2.2 - ANÁLISE DE RISCOS

A realização do trabalho, no sentido de atividade humana, supõe engajamento corporal, cognitivo e é atravessada pelo risco. A análise dos riscos acarreta a busca de meios para favorecer sua gestão, ou seja, pressupõe considerá-los positivamente. O risco abordado via experiência na análise de risco “implica dar espaço, nas estratégias de prevenção, a avaliações, julgamentos, tentativas de correção etc. efetuados em tempo real no curso da atividade” (NOUROUDINE, 2004).

Segundo a FUNDACENTRO, em 2011, mais de 41 mil pessoas morreram no Brasil por conta de doenças relacionadas ao trabalho, como cânceres e doenças circulatórias.

O Direito do Trabalho está se transmigrando do Direito do Dano para o Direito do Risco, o que significa dizer que deve atuar mais intensamente na esfera preventiva, pois a reparação do dano nem sempre poderá reconstituir a saúde do trabalhador.

BRILHANTE (2004), esclarece que eliminar todos os riscos é impossível, de tal sorte que o melhor a fazer, no primeiro momento, é a avaliação de risco, a fim de viabilizar a gestão do risco. A avaliação de risco é definida como a identificação do perigo, a localização de suas causas, a estimativa da extensão dos seus danos e a comparação destes com os benefícios.

A gestão do risco consiste no processo que inclui seleção e implementação das medidas preventivas e protetivas mais apropriadas, tomando por base os resultados do processo de avaliação de risco, do controle tecnológico disponível, da análise de custo e benefício e custo efetividade, do risco aceitável, e preocupações com possível geração de passivos trabalhistas.

Dentro da perspectiva dos riscos ao ambiente interno, assinala BRILHANTE (2004), que proteger o meio ambiente laboral deve ser objetivo comum e permanente de todos os setores da empresa, contemplado no quadro de ações prioritárias e traduzido em cuidados ambientais, de saúde e de segurança ao longo de todas as operações industriais, com reflexos nas matérias-primas selecionadas, produtos, processos, instalações e práticas de trabalho.

Para alcançar tal intento, é indispensável que haja percepção dos riscos e perigos decorrentes da atividade de cada trabalhador.

Salienta-se que a Constituição Federal, em seu artigo sétimo determina que são direitos dos trabalhadores urbanos e rurais, além de outros que visem à melhoria de sua condição social, a redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio de normas de saúde, higiene e segurança (BRASIL, 2018).

Por outro lado, a CLT, no seu artigo 155 conferiu ao Ministério do Trabalho competência para estabelecer normas complementares para aplicação dos preceitos legais, o que resultou, a partir da Portaria Ministério do trabalho nº 3.214, de 8 de junho de 1978, na aprovação das NRs, que foram redigidas principalmente com base nas diretrizes sobre saúde e segurança no trabalho emanadas pelas convenções da OIT.

Ainda nesse contexto, a NR-9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho.

Ainda no tocante à NR-9, esta dispõe que as ações do PPRA devem ser desenvolvidas no âmbito de cada estabelecimento da empresa, sob a responsabilidade do empregador, com a participação dos trabalhadores, sendo sua abrangência e profundidade dependentes das características dos riscos e das necessidades de controle. O PPRA é parte integrante do conjunto mais amplo de iniciativas da empresa para preservação da saúde e da integridade física dos trabalhadores, devendo estar articulado com o disposto nas demais NRs, em especial com a NR-4, que trata do Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT), com a NR-5, que dispõe sobre a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) e com a NR-7, que institui o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), mecanismos estes voltados à promoção da saúde e proteção da integridade física dos trabalhadores (BRISTOT, 2019).

Segundo CÉSPEDES (2020), a gestão dos riscos se divide nas seguintes etapas:

- **Antecipação aos riscos:** nessa primeira fase, é fundamental realizar a avaliação de riscos potenciais e tomar medidas preventivas antes que quaisquer processos industriais sejam implementados ou modificados.

- **Reconhecimento dos riscos:** aqui deve-se dar início à avaliação qualitativa em relação à identificação dos agentes físicos, químicos e biológicos presentes no ambiente de trabalho que possam causar danos à saúde e integridade dos trabalhadores. Um estudo deve ser realizado sobre as matérias primas, produtos e serviços, métodos e procedimentos de rotina, processos, instalações e equipamentos.
- **Avaliação dos riscos:** a avaliação quantitativa dos riscos começa nesta etapa, levando em conta os limites de tolerância previamente estabelecidos pela NR 15 do Ministério do Trabalho. Entende-se por “Limite de tolerância”, a concentração ou intensidade, máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador durante sua vida laboral.
- **Controle dos riscos:** por fim, a última fase está ligada à eliminação ou mitigação dos riscos ocupacionais que foram antecipados, reconhecidos e avaliados no ambiente.

Os agentes de riscos ocupacionais podem ser divididos em cinco categorias: agentes físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes presentes no ambiente de trabalho. São agentes que podem provocar danos à saúde e à integridade do trabalhador de acordo com a sua natureza, concentração, intensidade e tempo de exposição.

- **Agentes de Riscos físicos:** são os criados por máquinas ou condições físicas do ambiente ocupacional. Exemplos: ruídos, vibrações, radiações ionizantes e não ionizantes, frio, calor, pressões, umidade. (SALIBA, 2011).
- **Agentes de Riscos químicos:** são riscos derivados de substâncias químicas em estado líquido, sólido ou gasoso e, caso absorvidos pelo organismo, podem gerar reações tóxicas aos trabalhadores. Exemplos: poeiras, gases, neblinas, fumos. Névoas, vapores, substâncias ou produtos químicos em geral.
- **Agentes de Riscos biológicos:** os agentes de riscos biológicos podem causar doenças devido à contaminação e pela natureza da atividade. Exemplos: vírus, bactérias, protozoários, parasitas, fungos e bacilos.
- **Agentes de Riscos ergonômicos:** aqueles que podem gerar distúrbios psicológicos e fisiológicos, provocando alterações no organismo, distúrbios ou lesões musculoesqueléticas e alteração emocional. Exemplos: esforço físico

intenso, levantamento de peso, postura inadequada. Situações de estresse, longas jornadas de trabalho e em período noturno, controle rígido de produtividade. Monotonia e repetitividade, rotinas intensas, etc.

- **Agentes de Riscos mecânicos ou de acidentes:** por último, esses acontecem em função de condições físicas do ambiente de trabalho que podem colocar a saúde e integridade do trabalhador em risco. Exemplos: máquinas e equipamentos sem proteção ou com defeito, ferramentas inadequadas ou defeituosas, iluminação com problemas, eletricidade, trabalho em altura, etc.

### 2.3 - CALOR

Calor é a forma de energia que se transfere de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura entre os mesmos (CATAI, 2013).

O calor enquadra-se como um risco ambiental do tipo físico, sendo muito comum em indústrias siderúrgicas, alimentícias, de vidro, dentre outras (CAMISASSA, 2015).

Esta forma de energia pode ser transmitida de um corpo para outro através de várias formas que serão descritas posteriormente, porém cabe salientar que a quantidade desta energia que é entregue ou recebida é determinada pela variação da temperatura do corpo que cedeu ou recebeu calor, bem como da natureza e da quantidade de matéria presente. Adaptado de (MARTINS, 2005).

A avaliação do calor a que um indivíduo está exposto é importante, envolvendo uma grande quantidade de fatores a serem considerados; a temperatura do corpo e as condições ambientais devem ser levantadas, pois influenciam nas trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente. (SOUZA *et al.*, 2003).

Face a importância de avaliação da exposição ocupacional dos trabalhadores ao calor e dada à inexistência de um método direto de medição, adequado à avaliação da temperatura interna do corpo humano para esse fim, torna-se necessária a medição de fatores ambientais que se encontram diretamente ligados à temperatura do corpo, bem como a outras reações fisiológicas ao calor, como a taxa metabólica, de forma a permitir uma avaliação indireta desse parâmetro (SALIBA, 2016).

As temperaturas extremas têm influência sobre a quantidade e qualidade do trabalho que o homem pode realizar, como também sobre a forma em que possa fazê-lo. O problema industrial frequentemente origina-se pela exposição ao calor excessivo. O corpo humano produz calor através de seus processos metabólicos. Para que o

organismo atue eficientemente, é necessário que o calor produzido se dissipe tão rapidamente como se produz. O organismo possui um conjunto de mecanismos termostáticos de atuação rápida e sensível, que têm como missão controlar o ritmo dos processos reguladores de temperatura. (SOUZA *et al.*, 2003).

Em função da área da pesquisa estar na região Norte, com um clima equatorial úmido marcado por elevadas temperaturas durante todo o ano, conforme é demonstrado na Tabela 2.1, e tropical continental que resulta em duas estações bem definidas, chuvosa e seca e que mesmo no período das chuvas, a temperatura é muito elevada (SANTOS, 2021).

Este fato, causa grande impacto para o conforto ambiental nos ambientes de trabalho e que para qualquer melhora na temperatura, é necessário investimento de valor relevante, além de que com o passar dos anos as temperaturas vêm de pouco a pouco, aumentando, o agente de risco físico calor, constitui desafio para a saúde do trabalhador.

A Tabela 2.1 nos apresenta uma temperatura máxima média no ano de 31,9°C, com um índice de precipitação pluviométrica anual de 2.301,20mm com uma umidade relativa compensada anual de 82,8%.



Tabela 2.1 - Dados climatológicos de Manaus.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima média (°C)	30,9	30,8	30,9	31	31,1	31,4	32,1	33,1	33,5	33,4	32,6	31,7	31,9
<u>Precipitação</u> (mm)	287	295,1	300	319	246,9	118,3	75,4	64,7	76,3	104,1	169,2	245,6	2 30,2
<u>Umidade relativa</u> compensada (%)	86,4	86	86,9	86,8	85,6	83,1	80,2	78,4	77,2	78,1	80,7	84,2	82,8
Horas de sol	112,7	93,4	95,8	107,3	144,2	186,8	218,5	215,7	183,8	158,1	140	118,5	1 774,8

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Normal climatológica de 1981-2010; recordes de temperatura: 1925-presente)[1][2].

### 2.3.1 - Conforto térmico

Conforto térmico é a condição psicológica de um indivíduo que expressa satisfação com relação as condições térmicas do ambiente em que este se encontra. Adaptado de (FROTA e SCHIFFER 2001).

O homem é um animal homeotérmico. Seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante. Essa temperatura é da ordem de 37°C, com limites muito estreitos — entre 36,1 e 37,2°C —, sendo 32°C o limite inferior e 42°C o limite superior para sobrevivência, em estado de enfermidade (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A primeira condição para se obter conforto térmico, é que o corpo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente (RUAS, 1999).

O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A manutenção da temperatura interna do organismo humano relativamente constante, em ambientes cujas condições termo higrométricas são as mais variadas e variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução dos ganhos ou o aumento das perdas de calor através de alguns 19 mecanismos de controle.

A termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Segundo a NR 9 – PPRA, no item 9.3.5 - das medidas de controle, subitem 9.3.5.1, deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15. No subitem 9.3.5.2, o estudo, desenvolvimento e implantação de medidas de proteção coletiva deverá obedecer à seguinte hierarquia:

- Medidas que eliminam ou reduzam a utilização ou a formação de agentes prejudiciais à saúde;

- Medidas que previnam a liberação ou disseminação desses agentes no ambiente de trabalho;
- Medidas que reduzam os níveis ou a concentração desses agentes no ambiente de trabalho.

Para obter-se o conforto térmico, o ideal é a extinção do agente de risco físico calor. Salienta-se que segundo a NR 9, como citada anteriormente, há diversas etapas no trabalho de extinção do risco físico pelo agente calor como inicialmente o estudo e implantação de medidas de engenharia que podem envolver projetos de construção ou reforma com instalações de exaustores eólicos no telhado mostrado na Figura 2.1, telhados com aberturas no centro (lanternim) mostrado na Figura 2.2, e resfriamento do telhado mostrado na Figura 2.3, troca de material de forro por exemplo alterando de placas de poliestireno expandido para telas pois como o ar quente se desloca para cima, no uso de telas no forro, este calor chega facilmente ao telhado e aos exaustores.

Após estas medidas há ainda as administrativas, como estabelecimento de reposição hidrolítica, estabelecimento de pausas, treinamentos de ergonomia, construção de área com temperatura mais amena, para descanso dos trabalhadores, dentre outros.

Em seguida ainda é possível, caso seja necessário, partir para o uso de equipamentos de proteção individual, no caso roupas que facilitem o trabalho com temperaturas elevadas, como o uso de vestimentas tradicionais, compostas por calça e camisa de manga longa ou macacão de tecido simples, que permitam a circulação de ar junto à superfície do corpo e viabilizem a troca de calor com o ambiente pelos mecanismos da convecção e evaporação do suor (NHO 06).



Figura 2.1 - Exaustores eólicos.  
Fonte: SOLUÇÕES INDUSTRIAIS (2021).

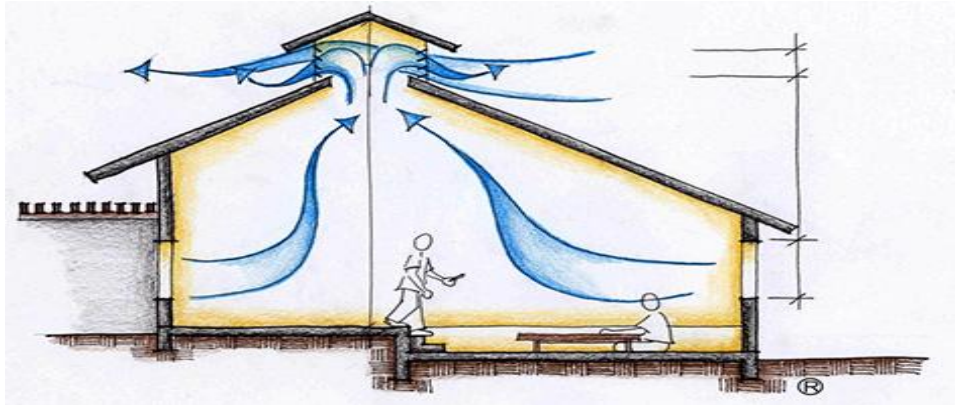


Figura 2.2 - Lanternim.  
Fonte: PROJETEEE (2021).



Figura 2.3 - Resfriamento de telhado com água.  
Fonte: SOLUÇÕES INDUSTRIAIS (2021).

### 2.3.2 - Trocas térmicas

A energia chamada, neste caso, de energia térmica pode passar de um corpo para o outro fundamentalmente de quatro maneiras diferentes: condução, convecção, radiação e evaporação, descritas abaixo. Na maioria das vezes elas ocorrem de forma combinada. (FONSECA, 2014).

#### 2.3.2.1 - Condução

A condução é o processo pelo qual o calor se transmite ao longo de um meio material, como efeito da transmissão de vibração entre as moléculas. As moléculas mais energéticas (maior temperatura) transmitem energia para as menos energéticas (menor temperatura) (CARVALHO, 2002).

#### 2.3.2.2 - Convecção

A convecção é a troca térmica realizada geralmente entre dois fluidos por diferença de densidade provocada pelo aumento da temperatura. O processo de remoção de calor por convecção ocorre quando o ar apresenta temperatura inferior à do corpo e este transfere calor pelo contato com o ar frio circundante em movimento. O aquecimento do ar provoca seu movimento ascensional. À medida que o ar quente sobe, o ar frio ocupa seu lugar, completando-se, assim, o ciclo de convecção (MARTINS, 2005).

Se a temperatura do ar for exatamente igual a temperatura da superfície do corpo, não haverá troca térmica por esse processo. Se a temperatura do ar for mais elevada do que a da superfície do corpo, o ar cederá calor para o corpo, invertendo-se o mecanismo (MARTINS, 2005).

#### 2.3.2.3 - Radiação

Quando há transferência de calor sem suporte material, o processo é denominado de radiação. É o processo pelo qual a energia radiante é transmitida da superfície quente para a fria por meio de ondas eletromagnéticas que, ao atingirem a superfície fria, transformam-se em calor. O nosso corpo troca continuamente calor com o meio ambiente por radiação, recebendo calor dos corpos mais quentes (como o sol) e enviando para os mais frios (CATAI, 2013).

A radiação térmica não depende do ar ou de qualquer outro meio para se propagar, e a quantidade de energia radiante emitida por um corpo depende de sua temperatura superficial (MARTINS, 2005). Se o calor radiante for muito intenso, o corpo recebe uma sobrecarga térmica. Para eliminá-la, é necessário um esforço adicional do coração. Se o ganho for maior que a capacidade de eliminação, haverá uma redução da capacidade de trabalho devido ao desequilíbrio térmico (CATAI, 2013).

#### 2.3.2.4 - Evaporação

Quando as condições ambientais fazem com que as perdas de calor do corpo humano por convecção e radiação não sejam suficientes para regular a sua temperatura interna, o organismo intensifica a atividade das glândulas sudoríparas e perde calor pela

evaporação da umidade (suor) que se forma na pele. A explicação é simples: simultaneamente a transpiração ocorre a evaporação do suor, esse é um fenômeno endotérmico, isto é, para ocorrer precisa de calor cedido pelo corpo. De forma simplificada, pode-se dizer que um líquido evaporando sobre uma superfície quente extrai calor desta, resfriando-a (MARTINS, 2005).

O mecanismo da evaporação é o único meio de perda de calor para o ambiente quando a temperatura do ambiente está mais alta que a temperatura do corpo, pois nesse caso, o corpo ganharia calor por condução, convecção e por radiação (FONSECA, 2014).

### **2.3.3 - Fatores de influência nas trocas térmicas**

Influenciam no conforto térmico variáveis de natureza ambiental, relativas às variações do ambiente, e as de natureza pessoal, relativas ao comportamento humano ou fisiológico dos envolvidos. No entanto, o efeito combinado de todas essas variáveis é o que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico. Adaptado de (RUAS, 1999).

De natureza ambiental, a umidade relativa do ar influi na troca térmica entre o organismo e o ambiente pelo mecanismo de evaporação e varia com a temperatura do ar. Ela possui grande influência na remoção de calor por evaporação, na medida em que a baixa umidade relativa permite ao ar relativamente seco absorver a umidade da pele rapidamente, e, com isso, promover também de forma rápida a remoção de calor do corpo. Adaptado de (RUAS, 1999).

Quanto à evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da umidade relativa e da velocidade do ar, assim criando condições que possibilitem ou favoreçam este mecanismo de troca de energia. Adaptado de (RUAS, 1999).

A velocidade do ar no ambiente pode alterar as trocas térmicas, tanto na condução/convecção como na evaporação. O calor será removido do corpo por convecção, quando uma corrente de ar é passada sobre ele, a menos que a temperatura do ar seja maior do que a temperatura da pele. Quando houver um aumento da velocidade do ar no ambiente, haverá aceleração da troca de camadas de ar mais próximas ao corpo, aumentando o fluxo de calor, entre o corpo e o ar (SPILLERE e FURTADO 2007).

Se a velocidade do ar for maior, haverá uma substituição mais rápida das camadas de ar mais saturadas com água por outras menos saturadas, favorecendo a evaporação. Se a temperatura do ar for menor que a do corpo, o aumento da velocidade do ar favorecerá o aumento da perda de calor do corpo para o meio. Caso a temperatura do ar seja maior que a do corpo, este ganhará mais calor com o aumento da velocidade do ar (SPILLERE e FURTADO, 2007).

Quando um indivíduo se encontra em presença de fontes apreciáveis de calor radiante, o organismo absorve calor pelo mecanismo de radiação. Caso haja fontes de calor radiante com baixa temperatura, o organismo humano poderá perder calor pelo mesmo mecanismo (SPILLERE e FURTADO, 2007).

Ainda segundo SPILLERE e FURTADO, (2007), quanto mais intensa for a atividade física exercida pelo indivíduo, maior será o calor produzido pelo metabolismo, constituindo, portanto, parte do calor total ganho pelo organismo. Tanto o calor produzido como o dissipado dependem da atividade que o indivíduo desenvolve.

Dentre as atividades de natureza pessoal, pode-se citar o isolamento pessoal ou vestimenta e a taxa metabólica. O isolamento pessoal tende a ser autorregulação em que as pessoas adicionam ou removem a roupa de acordo com seus próprios sentimentos de conforto.

A vestimenta representa uma barreira para as trocas de calor, pois promove um determinado isolamento térmico, porque acrescenta resistência à transferência de calor entre o corpo e o ambiente. Adaptado de (RUAS, 1999).

A vestimenta adequada será função da temperatura média ambiente, do movimento do ar, do calor produzido pelo organismo e, em alguns casos, da umidade do ar e da atividade a ser desenvolvida pelo indivíduo (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A energia do corpo humano é proveniente da alimentação. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular) e o restante é liberado na forma de calor. A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico executado (RUAS, 1999).

O organismo, através do metabolismo, adquire energia. Cerca de 20% dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho. Então, termodinamicamente falando, a “máquina humana” tem um rendimento muito baixo. A parcela restante, cerca

de 80%, se transforma em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Um homem adulto gasta 1800 kcal/dia com o seu metabolismo basal, ou seja, apenas para se manter vivo, em estado de repouso. Assim, um homem adulto que consumir menos de 2000 kcal/dia constantemente na alimentação, é incapaz de realizar qualquer tipo de trabalho. Portanto, só a energia que exceder a essa cota mínima pode ser utilizada no trabalho (CATAI, 2013).

A aclimatização, adaptação fisiológica decorrente de exposições sucessivas e graduais ao calor que visa reduzir a sobrecarga fisiológica causada pelo estresse térmico, deve ser específica para o nível de sobrecarga térmica a que o trabalhador será submetido e, conseqüentemente, para a qual deverá estar adaptado, e requer a realização de atividades físicas e exposições sucessivas e graduais ao calor, dentro de um plano, que deve ser estruturado e implementado sob supervisão médica, para que, de forma progressiva, o trabalhador atinja as condições de sobrecarga térmica similares às aquelas previstas para a sua rotina normal de trabalho (NHO 06).

#### 2.4 - HIGIENE DO TRABALHO

A Higiene do Trabalho é uma ciência que tem como objetivo reconhecer, avaliar e controlar os riscos ocupacionais nos ambientes de trabalho (GERMANO, 2010).

Conforme GERMANO (2010), estas 3 etapas fundamentais são:

- A identificação dos fatores de risco susceptíveis de causar efeitos adversos para a saúde;
- A avaliação dos fatores de risco, o processo que permite quantificar a exposição e retirar conclusões sobre o nível de risco da ocorrência de efeitos adversos para a saúde;
- A prevenção e o controle dos riscos que se baseia no desenvolvimento de estratégia para eliminar ou reduzir para “níveis aceitáveis” a probabilidade da ocorrência daqueles efeitos adversos (UVA, 2006).

O diagnóstico das situações de risco é um procedimento estruturado e sistematizado que pressupõe uma correta identificação do fator de risco e a estimativa do risco com o objetivo de incrementar medidas de prevenção (antecipação) desses mesmos riscos, tendo o seu controle ou mesmo a sua eliminação. Trata-se assim de estabelecer níveis de risco conforme a Figura 2.4.





Figura 2.4 - Definição de níveis de risco.  
 Fonte: UVA (2006).

Nesta figura demonstra-se os possíveis resultados em tipos de risco após uma avaliação. Ela também serve para identificar as fases tanto do controle quanto da intervenção obrigatória. Na higiene do trabalho três fatores são importantes nas Avaliações: a intensidade, a duração bem como a frequência da exposição aos riscos a que o trabalhador está submetido.

## 2.5 - NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL 06

Com o intuito de realizar a Avaliação Ambiental Quantitativa do agente calor, faz-se necessária a submissão a uma metodologia de medição, indicada na NHO 06, indispensável para a validação inclusive jurídica e que tem como objetivo o estabelecimento de critérios e procedimentos para avaliação da exposição ocupacional ao calor que implique sobrecarga térmica ao trabalhador, resultando em risco potencial de dano à sua saúde e se aplica à exposição ocupacional ao calor em ambientes internos ou externos, com ou sem carga solar direta, em quaisquer situações de trabalho que possam trazer danos à saúde dos trabalhadores.

Neste trabalho todas as avaliações ambientais realizadas foram para trabalhadores aclimatizados muito embora a ferramenta desenvolvida aqui usando a lógica *fuzzy* serve também para avaliação de trabalhadores não aclimatizados.

Da NHO 06 usou-se o Tabela A.1 - Taxa metabólica por tipo de atividade e a Tabela A.2 - Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados, ambos presentes no Anexo A.

### 2.5.1 - Índice bulbo úmido termômetro de globo

No Brasil, por força do Anexo nº 3 da Norma Regulamentadora nº 15 (NR15 – Atividades e Operações Insalubres), adota-se o método de avaliação indireta, associando-se o IBUTG a valores tabelados de taxa metabólica para diferentes tipos de atividades. (BARBOSA FILHO, 2016).

O IBUTG é um indicador de temperatura ocupacional que envolve as medições dos parâmetros que influenciam a sobrecarga térmica e consideram-se neste processo a temperatura, umidade, velocidade do ar, calor radiante e o calor metabólico produzido pelo organismo (ARAUJO, 2002). O IBUTG é dado conforme a Eq. (2.1), para ambientes internos ou externos sem carga solar.

$$\text{IBUTG} = 0,7\text{tbn} + 0,3\text{tg} \quad (2.1)$$

Sendo:

tbn = temperatura de bulbo úmido natural;

tg = temperatura de globo.

O IBUTG também é calculado para ambientes externos com carga solar, conforme Eq. (2.2).

$$\text{IBUTG} = 0,7\text{tbn} + 0,1\text{tbs} + 0,2\text{tg} \quad (2.2)$$

Sendo:

tbn = temperatura de bulbo úmido natural;

tg = temperatura de globo;

tbs = temperatura de bulbo seco.

Há ainda o IBUTG médio que é a média ponderada no tempo dos diversos valores de IBUTG obtidos em um intervalo de 60 minutos corridos (NHO 06).

### 2.5.2 - Taxas metabólicas

Representa o calor metabólico produzido pelo organismo. É de fundamental importância para a determinação da salubridade relacionada ao agente físico calor pois

segundo a NHO 06 trata-se da quantidade de energia por unidade de tempo produzida no interior do corpo humano que leva em consideração a atividade física exercida. (FUNDACENTRO).

A Taxa metabólica média (M) representa a média ponderada no tempo das taxas metabólicas obtidas em um intervalo de 60 minutos corridos. (NHO 06).

### **2.5.3 - Limites de exposição ocupacional**

Segundo a NHO 06, os limites de exposição a temperatura são definidos para trabalhadores com bom estado de saúde. Para a compensação em função da perda metabólica usa-se reposição de água e sais perdidos durante sua atividade, mediante orientação e controle médico e também com a adoção de vestimentas tradicionais, compostas por calça e camisa de manga longa ou macacão de tecido simples, que permitam a circulação de ar junto à superfície do corpo e viabilizem a troca de calor com o ambiente pelos mecanismos da convecção e evaporação do suor. (FUNDACENTRO).

O limite de exposição ocupacional ao calor é estabelecido com base no IBUTG médio ponderado (IBUTG) e na taxa metabólica média ponderada (M). Este é um limite horário.

- De posse da taxa metabólica dispendida pelo labor bem como da temperatura ocupacional, que relaciona essas duas variáveis, observa-se na NHO 06, Tabela 2 – Limites de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados e Tabela A.1 - Taxa metabólica por tipo de atividade, apresentados no Anexo A deste trabalho, a associação delas para determinação da salubridade ou não em função desse agente de risco.

## **2.6 - NORMA REGULAMENTADORA 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**

Norma responsável por definição acerca da insalubridade no trabalho, em seu Anexo 3, objetiva estabelecer critério para caracterizar as atividades ou operações insalubres decorrentes da exposição ocupacional ao calor em ambientes fechados ou ambientes com fonte artificial de calor.

A avaliação quantitativa do calor deverá ser realizada com base na metodologia e procedimentos descritos na NHO 06 nos seguintes aspectos (FUNDACENTRO):

- Determinação de sobrecarga térmica por meio do índice IBUTG;
- Equipamentos de medição e formas de montagem, posicionamento e procedimentos de uso dos mesmos nos locais avaliados;
- Procedimentos quanto à conduta do avaliador;
- Medições e cálculos.

A taxa metabólica deve ser estimada com base na comparação da atividade realizada pelo trabalhador com as opções apresentadas na NHO 06, Tabela A.1 - Taxa metabólica por tipo de atividade, apresentado no Anexo A deste trabalho.

São caracterizadas como insalubres, as atividades ou operações realizadas em ambientes fechados ou ambientes com fonte artificial de calor sempre que o IBUTG médio medido ultrapassar os limites de exposição ocupacional estabelecidos com base no IBUTG apresentado na NHO 06, Tabela A.2 - Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores climatizados, apresentada no Anexo A desse trabalho.

O IBUTG e a Taxa Metabólica Média, a serem considerados na avaliação da exposição ao calor, devem ser aqueles que, obtidos no período de 60 (sessenta) minutos corridos, resultem na condição mais crítica de exposição.

A avaliação quantitativa deve ser representativa da exposição, devendo ser desconsideradas as situações de exposições eventuais ou não rotineiras nas quais os trabalhadores não estejam expostos diariamente.

As situações de exposição ocupacional ao calor, caracterizadas como insalubres, serão classificadas em grau médio.

## 2.7 - INSALUBRIDADE

Segundo o artigo 189 da CLT, serão considerados atividades ou operações insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos (BRASIL, 2018).

Se não houver proteções adequadas, o trabalhador fica imerso em um ambiente repleto de agentes insalubres. Se sua imersão nesse cenário for prolongada, os agentes deletérios podem interferir na integridade da saúde do sujeito (METIN *et al.*, 2015).

## 2.8 - FUNDAMENTOS DA LÓGICA FUZZY

A lógica *Fuzzy* tem muita empregabilidade para a elaboração de modelos computacionais, pois a partir da percepção humana com informações subjetivas torna-se possível adequar variáveis subjetivas num modelo computacional. Esta interligação, é feita através de modelos e regras matemáticas e assim pode-se ao invés de usar modelos matemáticos complexos, optar por outros mais intuitivos com a utilização da lógica *fuzzy*. Observa-se que ela aborda variáveis subjetivas, por exemplo, quente, frio, muito alto, pouco sol, muita roupa e etc. (RIGNEL *et al.*, 2011).

A fundamentação da lógica *fuzzy* consiste na pertinência de eventos que não são prováveis a partir de uma séria de inferências representadas por vários graus de certeza em relação ao acontecimento deste evento de origem determinística (SILVA, 2013). Assim, mapeia – se estes eventos em conjuntos *fuzzy* para que seja possível obter a pertinência da variável no evento esperado.

Dentre os principais conceitos que envolvem a lógica *fuzzy*, estão a multivalência, os conjuntos *fuzzy* e as propriedades, as operações de complemento, de união e de intersecção (CAMPOS FILHO, 2004).

Segundo ABEDINI *et al.* (2019), a Lógica *Fuzzy* é usada para avaliar parâmetros que avaliam a incerteza na resposta, traduzindo informações imprecisas em termos matemáticos. Tal informação é expressa por um conjunto de regras linguísticas, onde a *fuzzy*ificação se refere à variável determinística da saída que, se calculada corretamente, pode ser utilizada como ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Atualmente é grande o número de pesquisas que utilizam sistemas especialistas para auxiliar na tomada de decisões. A Lógica *Fuzzy* é uma das mais utilizadas, pois apresenta fácil manuseio e interpretação dos resultados. (HILLET OFTH *et al.*, 2017).

## 2.9 - CONJUNTOS FUZZY

Um conjunto *fuzzy* é um subconjunto de algo, sempre limitado por uma faixa de um valor inicial e outro final. Porém, diferencia-se aos conjuntos clássicos por não

estabelecer uma lógica binária, pois associa um determinado intervalo com seu respectivo grau de pertinência ao conjunto *fuzzy*.

Define-se algebricamente um conjunto *fuzzy* conforme a Eq. (2.3). (SILVA, 2013).

$$\mu: U \rightarrow [0,1] \tag{2.3}$$

Sendo:

$\mu$ = Função pertinência;

U= Universo do conjunto *Fuzzy*.

Onde esta função denominada função pertinência representado por  $\mu$ , sendo conjunto *fuzzy* F de um universo de U que associa  $x \in U$  um número  $\mu_F(x)$  no intervalo [0,1]. Esta definição informa que os conjuntos *fuzzy* são um caso específico ou uma extensão aos conjuntos clássicos (BARBOSA, 2009).

Para elucidar esta questão de forma didática, tem-se a Figura 2.5, que representa a distinção entre um subconjunto clássico e um subconjunto *fuzzy*.

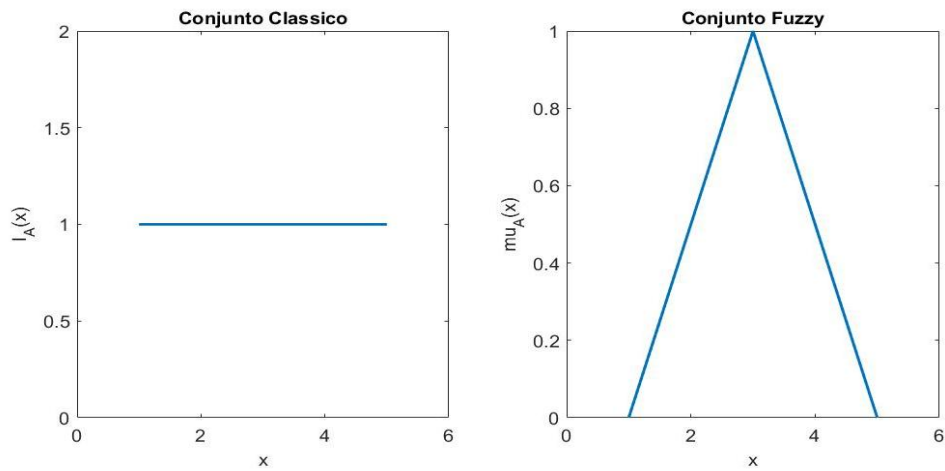


Figura 2.5 - Conjunto clássico e *fuzzy*.

O subconjunto clássico é dado por uma função de saída, denominada de função característica  $I_A(x)$ , assim tem-se que para o exemplo da Figura 2.5, a função característica assumirá valor de 1, se X estiver no intervalo de 1 a 5 e 0 caso contrário, logo, tem-se uma transição “abrupta” e há uma “caracterização” por parte da função. Enquanto, o subconjunto *fuzzy* é formado linearmente pelos valores de 0 a 1, assim apresenta-se na função característica  $\mu_A(x)$  como uma transição “suave” ou gradativa

dos valores, porém devido a isto, há um grau de pertinência para um determinado valor  $x$ . Desta forma, a função de saída, num subconjunto *fuzzy*, ao invés denomina-la função característica, deve-se denomina-la de função pertinência já que a função de saída em cada subconjunto tem propriedades distintas.

## 2.10 - FUNÇÃO PERTINÊNCIA

Definida a função pertinência pela Eq. 2.2, tem-se o grau de pertinência do evento em relação ao conjunto do universo de discurso que se atribui, com valores reais do intervalo 0 a 1 (SILVA, 2013).

A generalização da ideia da função de pertinência consiste na manipulação de dados com erros limitados. A partir de um intervalo pré-definido tem-se grau de pertinência máximo de 1 no qual os valores fora do intervalo terão grau de pertinência nulo (BARBOSA e SALVADOR DE SOUZA, 2009).

As funções pertinência podem assumir diferentes funções matemáticas conforme a necessidade do projeto *fuzzy*. As principais funções na literatura são dadas pela Figura 2.6 que consiste nas suas representações no plano cartesiano.

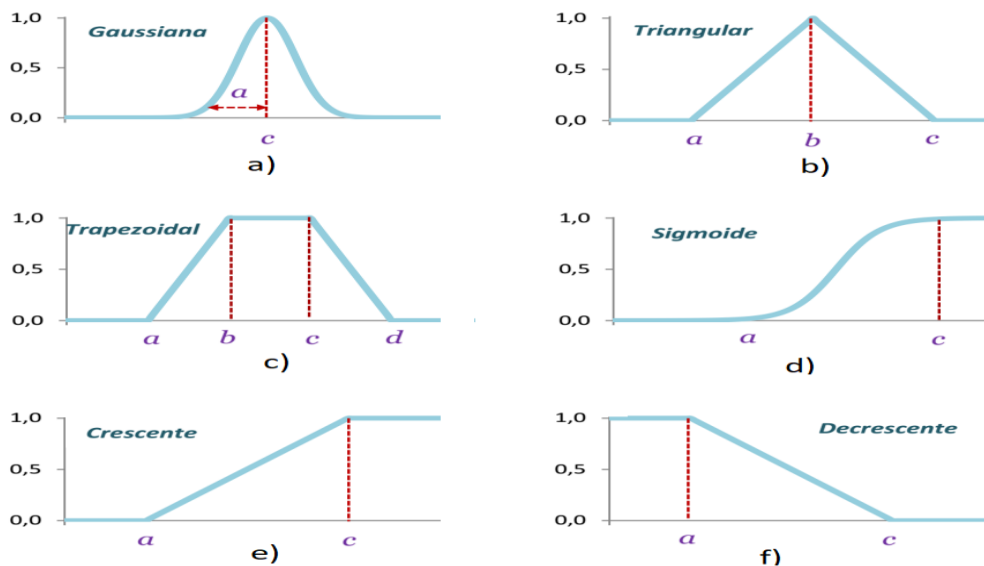


Figura 2.6 - Gráficos funções pertinência.  
Fonte: SOUSA (2016).

A partir da Figura 2.6, observa-se que as funções pertinências correspondem às representações geométricas de forma a mapear um conjunto de dados proposto pela lógica fuzzy. De forma empírica, tem-se que as funções crescente (Figura 2.6e.),

decrecente (Figura 2.6f.) e sigmoide (Figura 2.6d.) usam-se para conjuntos iniciais e finais na representação dos dados, enquanto as funções gaussianas (Figura 2.6a.), triangular (Figura 2.6b.) e trapezoidal (Figura 2.6c.) são geralmente para conjuntos de transições.

O equacionamento é representado conforme a Tabela 2.2. A utilização das funções  $\max( )$  e  $\min( )$  facilitam a implementação computacional destas equações no conjunto *fuzzy* em linguagem *script*, como o MATLAB, OCTAVE E SCILAB (SOUSA, 2016).

A Tabela 2.2 aonde demonstrada as equações por função de pertinência.

Tabela 2.2 - Equações funções pertinência.

Função Pertinência	Equação	Onde
Triangular	$f_{mtr}(x, a, b, c) = \min(\max(0, \frac{x-a}{b-a}), \max(0, \frac{c-x}{c-b}))$	-
Triangular Crescente	$f_{mc}(x, a, c) = \min(1, \max(0, \frac{x-a}{c-a}))$	-
Triangular Decrescente	$f_{md}(x, a, c) = \min(1, \max(0, \frac{c-x}{c-a}))$	-
Trapezoidal	$f_{mtra}(x, a, b, c, d) = \min(\text{tra1}, \text{tra2})$	Tr1a= $\min(0, \max(0, \frac{x-a}{b-a}))$ e Tra2 = $\min(0, \max(0, \frac{d-x}{d-c}))$
Sigmoide	$f_{sig} = \frac{1}{1+e^{-\alpha(x-\beta)}}$	$\alpha = \frac{2}{a-c} \ln\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)$ e $\beta = \frac{a+c}{2}$
Gaussiana	$f_{mgau}(x, c, a) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{a}\right)$	-

Fonte: SOUSA (2016).

## 2.11 - OPERAÇÕES COM SUBCOJUNTOS FUZZY

Pelos subconjuntos *Fuzzy*, realiza-se operações como no caso dos conjuntos clássicos, entre as mais usadas: união, interseção e complemento.

Na operação de união conforme a Eq. (2.4), entre dois subconjuntos *fuzzy* A e B, a função pertinência corresponde ao máximo de um deles (SILVA, 2013).

$$\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall x \in U \quad (2.4)$$



Sendo:

$\mu_A$  = função pertinência do subconjunto A;

$\mu_B$  = função pertinência do subconjunto B;

B = Subconjunto fuzzy B;

A operação de interseção conforme a Eq. (2.5) seria o mínimo destes dois subconjuntos (SILVA, 2013).

$$\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall x \in U \quad (2.5)$$

A operação de interseção conforme a Eq. 2.6 seria o mínimo destes dois subconjuntos (SILVA, 2013).

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in U \quad (2.6)$$

## 2.12 - MECANISMOS DE INFERÊNCIA FUZZY

A inferência *fuzzy* formula o mapeamento de um dado de entrada em sequência para um dado de saída através da lógica *fuzzy*. Isto, é feito por uma base de regras definidas matematicamente no modelo pela relação *fuzzy* R para subconjuntos *fuzzy*. A função pertinência passa a ser dada conforme a Eq. 2. 7. (OLIMPIO, 2017).

$$\mu_R(x, y) = \max_{1 \leq i \leq r} (\mu_{Ri}(x, u)) \quad \forall x \in U \quad (2.7)$$

R<sub>i</sub> é a relação *fuzzy* da regra i, sendo a função de pertinência obtida pelos valores x (critérios de entrada) e u(critérios de saída). Este método de inferência é o Mamdani, mais usado na literatura.

## 2.13 - DEFUZZIFICAÇÃO

A saída do processo de inferência *fuzzy* necessita de uma conversão para um indicador lógico que seja possível uma interpretação da entrada em relação ao conjunto de agregação de regras, logo é preciso fazer o processo de defuzzificação.

A Figura 2.7 representa estes processos. Tem-se por meio da fuzzificação e defuzzificação, respectivamente, dados iniciais com variáveis linguísticas e dados finais com resultados linguísticos.

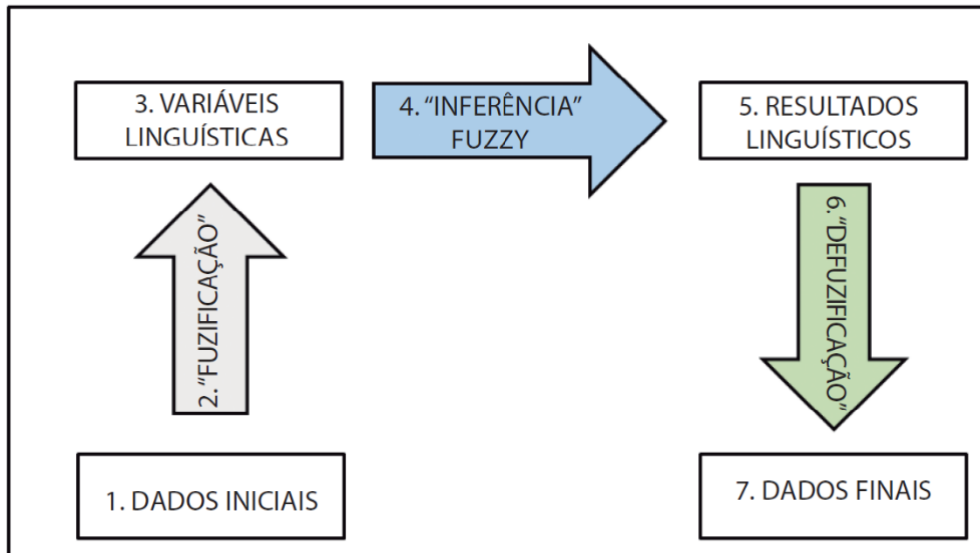


Figura 2.7 - Sistema lógica *fuzzy*.  
Fonte: ARAUJO *et al.* (2019).

A fuzzificação é feita junto as funções pertinências nos mapeamentos dos conjuntos para obter-se as variáveis linguísticas e na defuzzificação, usa-se outros métodos baseados nas médias aritméticas e ponderadas desses dados como forma de representar os resultados linguísticos.

Na literatura tem-se os seguintes métodos (OLIMPIO, 2017):

O método centroide, ou centro de gravidade, o mais abordado na literatura, consiste no cálculo do centro geométrico da área composta conforme a Eq. 2.8.

$$w^0 = \frac{\sum_i \mu_c(w_i) \cdot w_i}{\sum_i \mu_c(w_i)} \quad (2.8)$$

Sendo:

$w^0$ : É a estimativa do elemento;

$\mu_c$ : Função pertinência;

$w_i$ :  $i$ -ésimo elemento de entrada.

O método da média dos máximos é a média de todos os elementos que apresentam os valores máximos das funções pertinência, exemplificado conforme a Eq. 2.9.

$$w^0 = \frac{a + b}{2} \quad (2.9)$$

Sendo:

a: É um dos máximos da função pertinência;

b: É o outro máximo da função pertinência.

O método do centro dos máximos, ou método do critério máximo é calculado como uma média dos máximos que os pesos são os resultados da inferência onde há múltiplas regras. Assim, produz um valor numérico igual ao máximo valor ativado.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODO

Os estudos de segurança e saúde ocupacional possibilitam propor modelos de inferência *fuzzy* para a classificação das condições de trabalho. Desta forma, a proposta da metodologia partiu da elaboração de um modelo *fuzzy* para a determinação da salubridade em função do agente de risco físico calor por meio de software MATLAB via *toolbox fuzzy logic*.

#### 3.1 - MÉTODO

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado o estudo de implicação do modelo Fuzzy bem como da Legislação pertinente, a especificação das variáveis de entradas e saídas do modelo proposto assim como dos níveis de inferência, a aplicação do modelo através de simulações e a análise dos resultados seguida da validação.

A partir do estudo de implicação do modelo fuzzy, definiu-se as funções de pertinência necessárias para o escopo da pesquisa em função das variáveis de entrada e saída. E com o método de inferência Mamdani, bastante utilizado na literatura pela simplicidade teórica e fácil abrangência a diversas problemáticas de modelagem, foi possível compor a base de regra para inferir um indicador das condições do ambiente de trabalho.

Os estudos das Legislações pertinentes e NRs foram necessários para entendimento do universo da pesquisa, bem como para a definição do escopo da modelagem do modelo proposto.

Especificou-se os valores do universo de discurso das variáveis de entrada e saída. Para tal, foi considerado o tipo de atividade juntamente com o seu gasto calórico estimado e a temperatura medida do ambiente de trabalho como as entradas, e a saída correspondendo às condições do ambiente de trabalho que pode ser salubre ou insalubre. Dividiu-se os intervalos dessas variáveis de modo a satisfazer os limites normativos delas.

Através de análises dos resultados ofertados pelo modelo proposto e comparação com os dados da NR e respectiva NHO, definiu-se empiricamente um valor limiar para classificação das condições do ambiente de trabalho, salubre ou insalubre.

Também foi definida uma função pertinência com o objetivo de especificar as condições ambientais de trabalho.

Estabelecidos todos os conjuntos necessários para as tomadas de decisão acerca dos ambientes de trabalho, fez-se a inferência desses conjuntos para consolidação do modelo proposto. A partir das regras estabelecidas fez-se a análise combinatória de todas elas de modo a poder contemplar todos os conjuntos estabelecidos da taxa metabólica e temperatura medida de acordo com a NHO 06.

Na etapa de validação da pesquisa validou-se o modelo de inferência *fuzzy* proposto para a avaliação da salubridade referente ao agente calor. Para isto foram realizados três níveis de validação a saber, inicialmente para o nível 1 foram considerados os valores limiares da NR 15 aonde o modelo proposto tem que estar de acordo para que atenda as condições regulamentares normativas do ambiente de trabalho.

No nível 2 foram tomadas 5 situações hipotéticas que foram representativas e relacionadas a situações cotidianas da área escolhida pelo Especialista em Engenharia. Desses casos selecionados, buscou-se escolher dois extremos aonde nestes a definição foi mais acessível para a classificação pelo modelo, enquanto os outros três restantes pertencem a um universo de incerteza estando em valores limiares de detecção da classificação da salubridade.

O nível 3 consistiu na aplicação do modelo em três empresas do polo industrial de Manaus que possuem esse agente de risco físico em seus ambientes de trabalho. Por meio deste nível de validação obteve-se a possibilidade de consolidar a ferramenta objeto deste trabalho, bem como o alcance em casos reais para melhor aplicação do modelo de cunho teórico, na prática.

Conforme SOUSA (2016), baseou-se nas seguintes etapas para o projeto do sistema fuzzy do modelo proposto:

- Seleção das variáveis de entrada e saída – temperatura medida e gasto calórico, como entradas e condições do ambiente de trabalho (salubre ou insalubre), como saídas;
- Quantização do universo de discurso das variáveis de entrada e saída (definida em níveis) – intervalos das variáveis de acordo com a NHO 06;
- Composição das regras de inferência – análise combinatória das variáveis temperatura medida e gasto calórico;

- Definição das funções de pertinência – triangular, trapezoidal e gaussiana;
- Discretização do universo de entrada e saída – definidos conforme os testes realizados para a classificação, valor limiar de 0,1 para divisão entre o salubre e o insalubre;
- Implementação do motor de inferência nebulosa.

A metodologia proposta está representada de acordo com a Figura 3.1 que demonstra os passos da pesquisa por meio de diagrama de blocos.

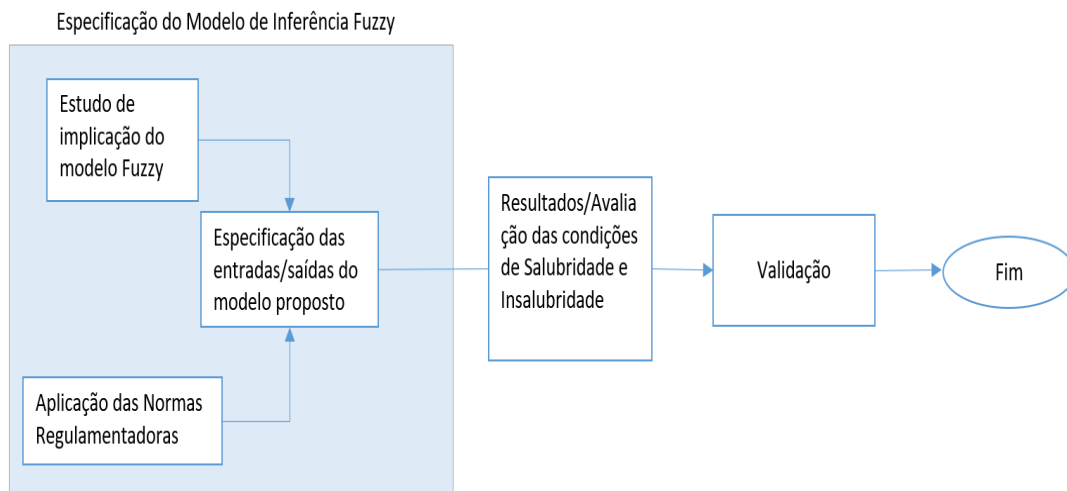


Figura 3.1 - Fluxograma passos da metodologia.

### 3.2 - MATERIAIS

Devido ao nível metodológico 3, faz-se necessário a utilização de equipamento certificado para medição da temperatura no caso um conjunto de termômetros de mercúrio específico para avaliação ambiental ocupacional a seguir descritos.

Dispositivo para medição da temperatura de globo sendo esta correspondente à temperatura obtida por meio de um dispositivo constituído de uma esfera oca de cobre de aproximadamente 1 mm de espessura e com diâmetro de 152,4 mm, pintada externamente de preto fosco, com emissividade mínima de 0,95 e um sensor de temperatura posicionado no centro da esfera de cobre, com fixação que garanta a hermeticidade do sistema, impedindo a existência de fluxo de ar do interior do globo para o ambiente e vice-versa (NHO 06).

Dispositivo para medição da temperatura de bulbo úmido natural sendo esta correspondente à temperatura obtida por meio de um dispositivo constituído de sensor

de temperatura revestido com um pavio tubular branco, confeccionado em tecido com alto poder de absorção de água, como, por exemplo, algodão, mantido úmido com água destilada, por capilaridade, reservatório de água com volume de água destilada suficiente para manter o pavio úmido por capilaridade durante todo o período de medição.

Dispositivo para medição da temperatura de bulbo seco sendo esta correspondente à temperatura do ar obtida por meio de um dispositivo constituído de sensor de temperatura com amplitude mínima de medição de +10,0 °C a +100,0 °C, exatidão igual ou melhor que  $\pm 0,5$  °C e permitir leituras a intervalos de, no mínimo, 0,1°C e sensor de temperatura do ar protegido da radiação solar direta ou daquelas provenientes de fontes artificiais por meio de dispositivos que barrem a incidência da radiação e permitam a livre circulação de ar ao seu redor (NHO 06).

A Figura 3.2 apresenta fotos do conjunto de termômetros.



Figura 3.2 - Termômetros.

As especificações abordadas e validação do modelo fuzzy foram feitas por meio do *software* MATLAB via *toolbox fuzzy logic* e estabelecidas as funções pertinência junto com as entradas e saídas do modelo proposto.

Foi utilizado também um computador da marca LENOVO, tipo *notebook*, com processador CORE i5, oitava geração.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo desse capítulo, apresentam-se os resultados dessa pesquisa no caso em referência ao modelo proposto para determinação das condições ambientais do trabalhador aclimatizado, por conta do agente calor, conforme a NR 15 e NHO 06.

É descrito uma visão geral do modelo para apresentar como encontra-se a interface de simulação utilizada e salientar o modelo de inferência *fuzzy* proposto. Posteriormente são vistos os casos demonstrados conforme os seus níveis de avaliação metodológica de fundamental importância para avaliação do modelo.

No nível de validação 1, tem-se casos teóricos, que constituem valores próprios da norma. Neste, as entradas não foram obtidas de medições feitas em campo, mas, no entanto, representam situações reais bem como os limites necessários para verificação da pertinência do modelo.

No nível de validação 2, tem-se outros valores, não necessariamente limiares como os do nível 1, pois neste busca-se observar o comportamento do modelo para casos não extremos, por exemplo, uma baixa temperatura com uma baixa taxa metabólica (118W e 26°C), sendo possível dessa forma retratar uma determinada quantidade de casos distintos, ressaltando que também não correspondem a casos medidos, apenas hipotéticos.

No nível de validação 3, diferentemente dos anteriores, tem-se valores obtidos de medição em campo constituindo, portanto, situação real sujeita a uma avaliação pericial. Para uma correta utilização do modelo proposto, faz-se necessário que os dados de entrada sejam resultados de medições realizadas por equipamentos certificados como os utilizados nessa pesquisa.

Brevemente é explicado como foram feitas as medições bem como o equipamento utilizado para posteriormente aplicar tais valores no modelo de inferência *fuzzy*.

#### 4.1 - ESPECIFICAÇÃO E VISÃO GERAL DO MODELO

Considerando o objetivo de especificar um modelo de inferência *fuzzy* para análise de salubridade pertinente ao agente físico calor, elaborou-se sobre as diversas



possibilidades de implicação dos modelos *fuzzy* por meio da função de pertinência, assim como o método de inferência.

Por conta justamente do algoritmo, utilizou-se as seguintes funções pertinência para associar aos conjuntos de entrada e saída para o escopo necessário da pesquisa, logo tem-se as funções pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana.

A função triangular, utilizada para representar a temperatura medida, possibilita analisar um conjunto de pontos de forma variável tanto com intervalo pequeno quanto grande, assim essa função de pertinência consegue obter um espaçamento regulável para uma variável (entrada/saída). Já a função pertinência trapezoidal, utilizada para representar a taxa metabólica, pode ser interpretada diferentemente da função anterior pela sua característica trigonométrica retangular que oferece um platô proporcionando um conjunto de graus de pertinência fixos, desta forma esta função oferece um patamar limiar para a classificação desejada. Por fim, a função gaussiana, utilizada para representar o ambiente salubre ou insalubre, tornou-se apropriada devido esta ser uma função não linear que integra uma grande quantidade de pontos na sua curva.

Como método de inferência, utilizou-se o Mamdani, pois justamente este fará a análise necessária no caso dado pelas variáveis determinadas de acordo com a NR 15 sendo a temperatura medida e a taxa metabólica.

Os resultados alcançados foram obtidos por meio da interface conforme as Figuras 4.1 e 4.2. Por meio da *toolbox fuzzy* do *software* MATLAB definiu-se os modelos e as regras para o modelo *fuzzy*.

Desta forma partindo das características das estações de trabalho bem como do especificado na NR 15 para definição de situação insalubre ou salubre, tomou-se as variáveis “taxa metabólica por tipo de atividade” e “temperatura medida”, como de entrada e como variáveis de saída tem-se dois possíveis resultados, salubridade e insalubridade.

Com base nos estudos das NRs, e mais profundamente a 15 - Insalubridade, foi definido o escopo da modelagem proposta, o agente calor, necessário para obter-se as entradas e as saídas junto com seus respectivos intervalos dos seus universos de discursos.

Assim, obteve-se como variáveis de entrada a temperatura medida do ambiente de trabalho e a taxa metabólica do trabalhador, enquanto a saída correspondeu à salubridade ou insalubridade.

A temperatura medida correspondeu a definição fundamental, para que fossem decididas as relações do agente calor em relação à salubridade, pois a mesma advém de condições externas ao trabalhador, referentes por exemplo como a climatização do próprio local de trabalho. Em contrapartida, para que fosse possível a modelagem do ambiente de trabalho em função dos efeitos do agente calor, foi necessária a escolha da taxa metabólica do trabalhador como a outra entrada, já que o trabalhador é obrigado a realizar suas atividades e, portanto, desta maneira, dispende a energia causadora do gasto calórico. Todas essas variáveis são parte do processo de higiene do trabalho, avaliação de calor estabelecidos pela NHO 06 – Avaliação da exposição ocupacional ao calor, e fazem parte da atividade de Engenharia de Segurança do Trabalho.

Quanto às saídas salubridade e insalubridade, constituíram resultados esperados no estabelecimento de validação de saúde ocupacional tendo em vista que com essa saída da modelagem proposta, salubridade, será evidenciado a identificação das boas condições do ambiente de trabalho e o consequente não ensejamento do direito ao adicional de insalubridade. Isto é definido pela NR 15.

A Figura 4.1 representa as duas variáveis de entrada, temperatura medida e a taxa metabólica (caixas amarelas). Já o modelo de inferência escolhido foi o Mamdani (caixa em branco-*Fuzzy\_NR15VFinal*) e a saída denominada de ambiente em referência à salubridade/insalubridade do ambiente (caixa em azul).

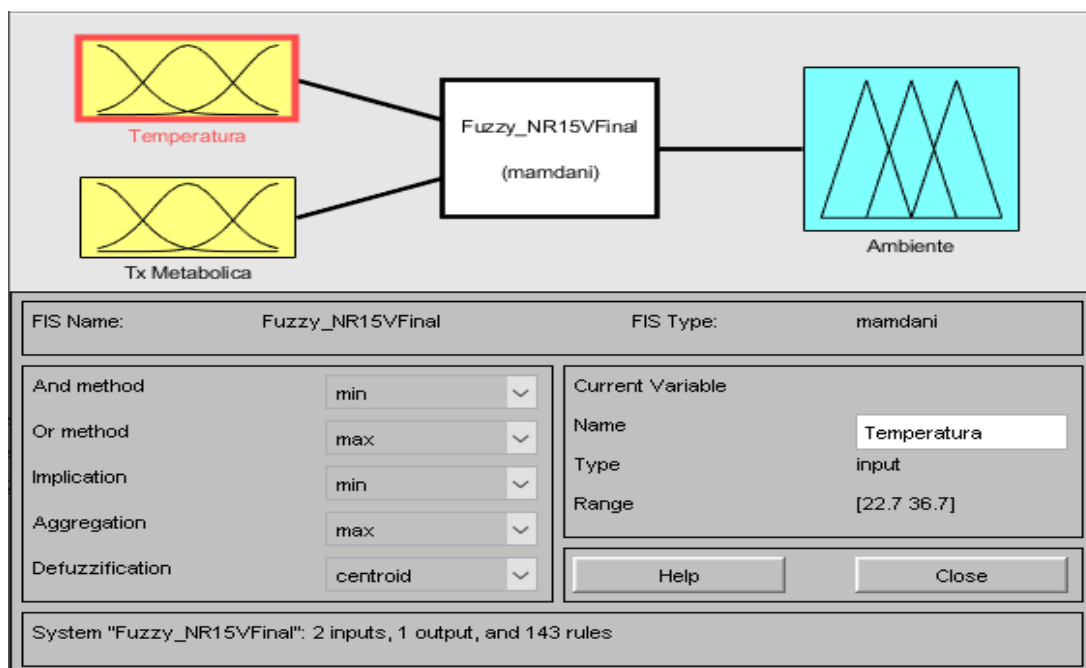


Figura 4.1 - Modelo *fuzzy* (entradas e saídas).

Foram estabelecidas as regras de inferência do modelo conforme a Figura 4.2.

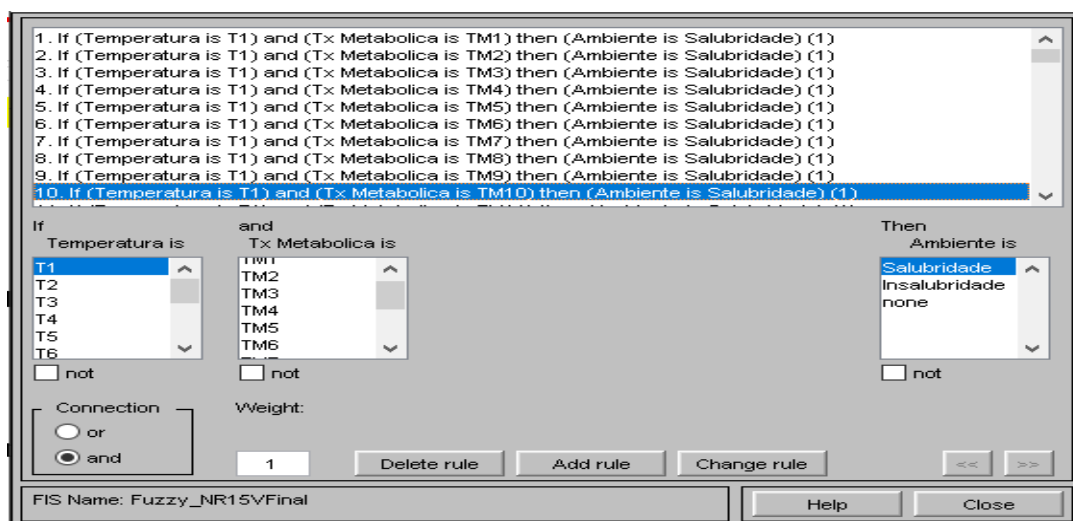


Figura 4.2 - Regras de inferência.

Assim teve-se tanto para a taxa metabólica como para a temperatura medida, um universo de discurso possível em 143 níveis de inferência, e como possíveis resultados as respostas salubre ou insalubre.

Especificou-se os valores do universo de discurso das variáveis de entrada e saída da modelagem proposta. Para tal especificação do modelo foi considerado o tipo de atividade juntamente com o seu gasto calórico estimado e a temperatura medida do ambiente de trabalho.

No universo de discurso da temperatura medida, tem-se que o intervalo definido pela NR 15 é dado de 24,7°C até 33,7°C. Pela concepção de projetos dos modelos *fuzzy* abordada neste universo de discurso, propõe-se a divisão desse intervalo de forma a satisfazer os limites da temperatura para contemplar todos os possíveis valores da taxa metabólica conforme a NR 15. Com isso, usou-se funções triangulares equiláteras com variações de dois graus centígrados para representar a função e nomeá-las. O nome do conjunto de cada função dessa consiste no mapeamento de três valores, sendo que cada conjunto desse tem a variável linguística “T” referente a temperatura e indicada junto a um índice conforme os conjuntos. Obteve-se o total de 13 funções pertinência para representar a variável temperatura medida conforme o Quadro 1 - Variáveis linguísticas da temperatura medida, apresentado no Anexo B desse trabalho. Observa-se que o valor 36,7°C foi utilizado para contemplar um valor de entrada não estipulado na Norma (máximo 33,7°C – NR15) que pode ser encontrado no campo de trabalho, tal como para

o valor mínimo da NR15 que é 24,7°C, estabeleceu-se no modelo o valor de 22,7°C. A representação das funções pertinências da variável temperatura pode ser vista na Figura 4.3.

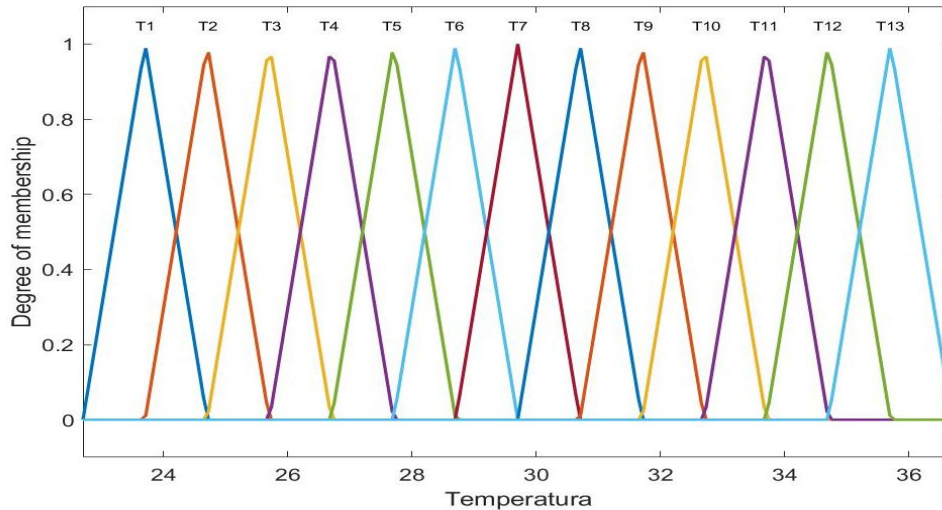


Figura 4.3 - Funções de pertinência triangulares da variável temperatura.

Analogamente, o universo de discurso da taxa metabólica que está no intervalo de 100W a 606W conforme a NR 15, Anexo 3 - Limites de exposição ocupacional ao calor, abrange todos os valores de temperatura. Neste, foram definidas funções trapezoidais para as respectivas temperaturas limiares representadas por suas funções triangulares. Igualmente como ocorreu com a temperatura, propôs-se a divisão desse intervalo de forma a satisfazer os limites da taxa metabólica para contemplar todos os possíveis valores de temperatura conforme a NR 15. O nome do conjunto de cada função dessa consiste no mapeamento de dois valores, sendo que cada conjunto desse tem a variável linguística “TM” referente a taxa metabólica e indicada junto a um índice conforme os conjuntos. Obteve-se o total de 11 funções pertinência para representar a variável taxa metabólica conforme o Quadro 2 - Variáveis linguísticas da taxa metabólica, apresentado no Anexo B desse trabalho. A representação das funções pertinências da variável taxa metabólica pode ser vista na Figura 4.4, estes intervalos foram obtidos justamente com o objetivo de ter-se a quantidade de opções de classificação e são pertinentes a observação de um especialista em engenharia de segurança do trabalho.

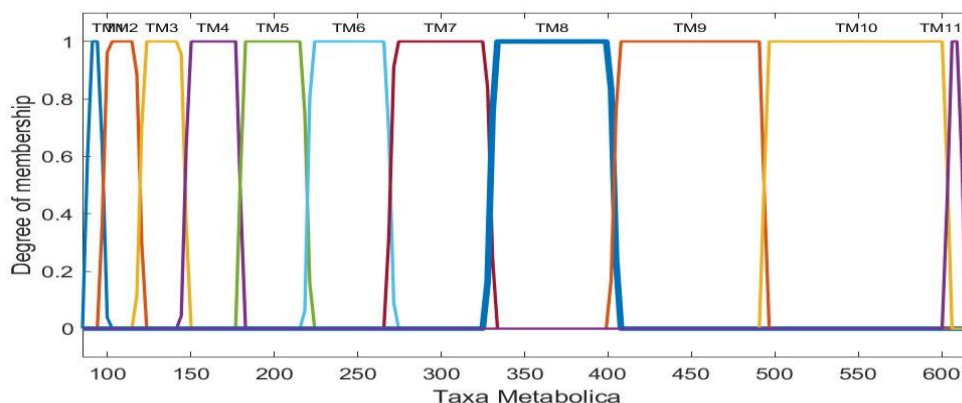


Figura 4.4 - Funções de pertinência trapezoidais da variável taxa metabólica.

Quanto a avaliação das condições de salubridade e insalubridade, estas foram definidas a partir do intervalo de zero a um. Conforme a Figura 4.5, será utilizado o extremo deste intervalo para estas variáveis. No caso da salubridade, será definida uma função pertinência gaussiana decrescente próxima de zero e da insalubridade, uma função gaussiana crescente próxima de um, isto com o objetivo de especificar as condições ambientais de trabalho.

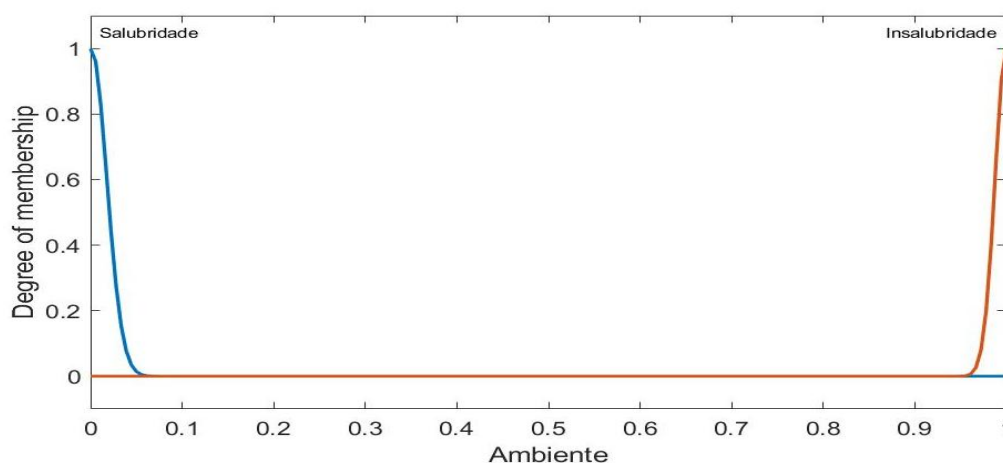


Figura 4.5 - Funções de pertinência Gaussiana.

Assim, a partir de algumas observações empíricas estabeleceu-se o valor de 0,1 como limiar de classificação dos resultados, salubre ou insalubre, ou seja, caso o valor de saída seja menor que esse valor limiar o resultado é salubre e sendo maior o resultado é insalubre.

Estabelecidos todos os conjuntos necessários para as tomadas de decisão acerca dos ambientes de trabalho, quais são, as variáveis temperatura medida, taxa metabólica e ambiente, foi necessário a inferência desses conjuntos para consolidação do modelo

proposto. O modelo de inferência é realizado usando-se as variáveis de temperatura e taxa metabólica como sendo as entradas e o ambiente, a saída. Assim foram obtidas 143 regras de inferência conforme o Tabela B.4 - Regras de inferência apresentada no Anexo B. No entanto, devido a grande quantidade de regras, representou-se na Tabela 4.1 apenas as principais regras que demonstram a transição das taxas metabólicas salubres e insalubres com a sua respectiva temperatura.

Tabela 4.1 - Principais regras de inferência.

NºRegra	Temperatura medida	Condição lógica	Taxa metabólica	Ambiente de trabalho
21	T2	And	TM10	Salubre
22	T2	And	TM11	Insalubre
31	T3	And	TM9	Salubre
32	T3	And	TM10	Insalubre
41	T4	And	TM8	Salubre
42	T4	And	TM9	Insalubre
51	T5	And	TM7	Salubre
52	T5	And	TM8	Insalubre
61	T6	And	TM6	Salubre
62	T6	And	TM7	Insalubre
71	T7	And	TM5	Salubre
72	T7	And	TM6	Insalubre
81	T8	And	TM4	Salubre
82	T8	And	TM5	Insalubre
91	T9	And	TM3	Salubre
92	T9	And	TM4	Insalubre
101	T10	And	TM2	Salubre
102	T10	And	TM3	Insalubre
111	T11	And	TM1	Salubre
112	T11	And	TM2	Insalubre

A partir das regras de inferências estabelecidas, tem-se a seguir a sua representação tridimensional, como pode ser visto na Figura 4.6, abaixo. Observa-se que conforme esperado, em torno de 50% dos casos corresponde a casos insalubres e os outros restantes a casos salubres. Isto deve-se a didática do problema adotado, pois cada temperatura corresponde a um conjunto de taxa metabólica salubre e insalubre, apenas dessa forma foi possível respeitar as condições normativas da NR 15 e ter o modelo que a represente tanto em condições específicas da perícia quanto regulamentares.

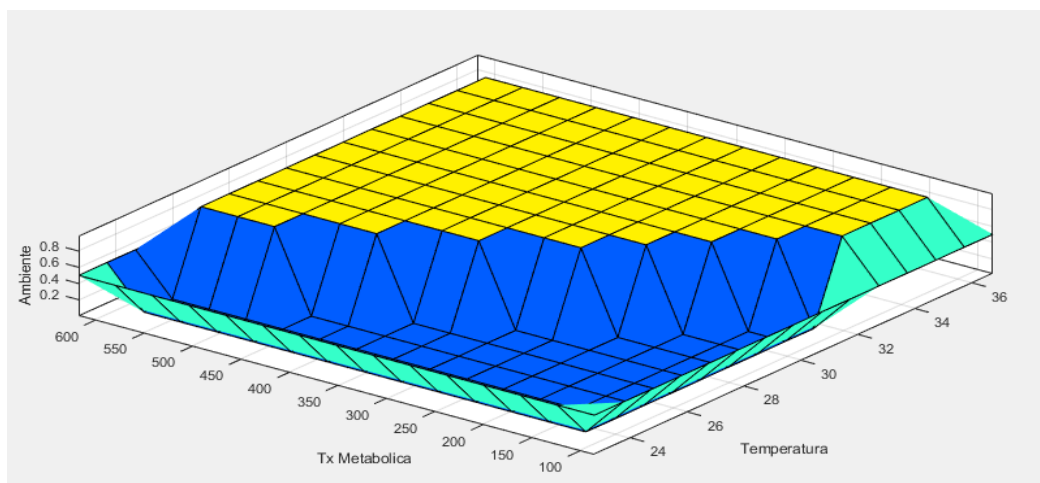


Figura 4.6 - Representação tridimensional.

A taxa metabólica deve ser estimada com base na comparação da atividade realizada pelo trabalhador com as opções apresentadas na NHO 06, Tabela A.1 - Taxa metabólica por tipo de atividade, apresentado no Anexo A deste trabalho.

São caracterizadas como insalubres as atividades ou operações realizadas em ambientes fechados ou ambientes com fonte artificial de calor sempre que o IBUTG (médio) medido ultrapassar os limites de exposição ocupacional estabelecidos com base no IBUTG apresentado na NHO 06, Tabela A.2 - Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados, apresentada no Anexo A desse trabalho.

O IBUTG e a Taxa Metabólica Média, a serem considerados na avaliação da exposição ao calor, devem ser aqueles que, obtidos no período de 60 (sessenta) minutos corridos, resultem na condição mais crítica de exposição.

A avaliação quantitativa deve ser representativa da exposição, devendo ser desconsideradas as situações de exposições eventuais ou não rotineiras nas quais os trabalhadores não estejam expostos diariamente.

#### 4.2 - SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Para a simulação do modelo, utilizou-se os três níveis metodológicos a seguir apresentados. Com isso, buscou-se usar o modelo construído testando-o de todas as formas. Inicialmente com os valores limites já estabelecidos pela Norma, seguido de valores hipotéticos e terminando com casos reais.

Dessa forma observou-se o comportamento do modelo em todas as dimensões possíveis que era justamente, o objetivo de todas essas simulações. Esperava-se com

isso, dependendo do nível de acerto das respostas, a validação do modelo construído de forma a compreender e interpretar todos os resultados obtidos para estabelecer parâmetros dentro de um contexto de perícia em engenharia de segurança do trabalho.

#### **4.2.1 - Nível metodológico 1**

Nesse nível foram simulados todos os valores constantes na Tabela A.2 - Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados com resultados do modelo proposto e conclusão da perícia técnica (Anexo B).

Dentre estes, escolheu-se três casos para realizar estudo detalhado sendo dois nos extremos de temperatura e taxa metabólica e um mediano.

Como pode ser visto pela Figura 4.7, o resultado obtido para o primeiro caso estudado deste nível, aonde a temperatura medida foi de 33,7°C e a taxa metabólica de 100W, foi de 0,993, maior que o valor limiar estabelecido de 0,1 que após análise dentro de um contexto de perícia, constatou-se ser insalubre em decorrência da variação tanto de temperatura quanto de gasto calórico, ou seja, o trabalhador na prática é submetido a temperaturas um pouco maiores do que a medida bem como pode apresentar um gasto calórico maior do que o utilizado como entrada.

Além disso, observa-se que as regras utilizadas estão dentro daquelas estabelecidas pela Tabela A.2 - Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados, da NHO 06, apresentada no Anexo A desse trabalho. No caso, considerando o conjunto de temperatura T11, juntamente com o conjunto de taxa metabólica “TM2”, foi utilizada a regra 112, conforme a Figura 4.7.



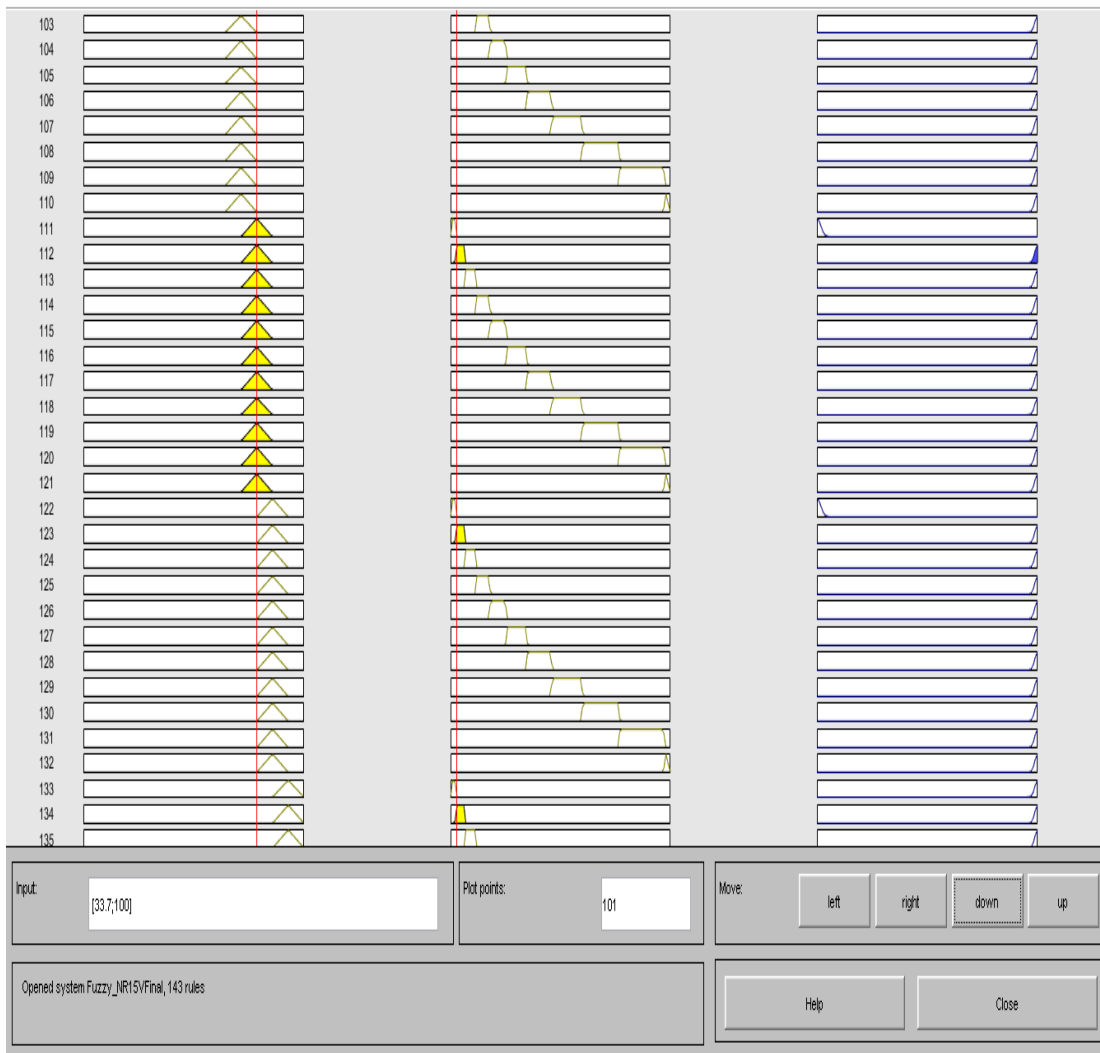


Figura 4.7 - Caso 1 - Nível metodológico.  
 Fonte: MATLAB (2021).

TAXAMET=100 W; TEMP. 33,7°C; RESULTADO: 0,993.

Neste segundo caso, obteve-se o resultado de 0,22, para a temperatura medida de 29,9°C e a taxa metabólica de 214W. Considerando o conjunto de temperatura T7, juntamente com o conjunto de taxa metabólica “TM5”, foi utilizada a regra 71, conforme a Figura 4.8.



Figura 4.8 - Caso 2 - Nível metodológico.  
 Fonte: MATLAB (2021).

TAXAMET=214W; TEMP. 29,9°C; RESULTADO: 0,22.

No terceiro caso estudado, analogamente o diagnóstico é insalubre, obteve-se o resultado de 0,799 para a temperatura medida de 25,6°C e a taxa metabólica de 506W. Tal resultado é demonstrado na Figura 4.9.

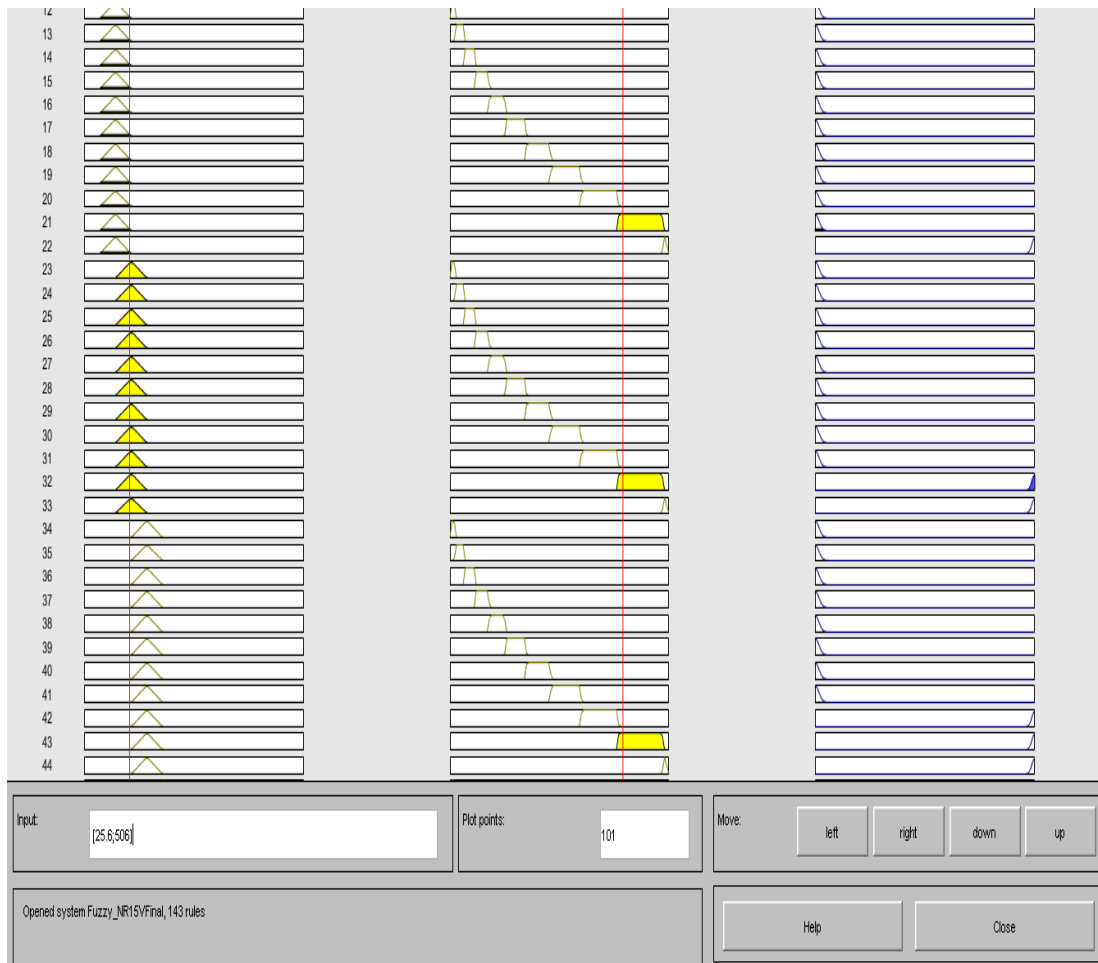


Figura 4.9 - Caso 3 - Nível metodológico 1.

Fonte: MATLAB (2021).

TAXAMET=506 W; TEMP. 25,6°C; RESULTADO: 0,799.

Como já mencionado anteriormente, apesar desses valores representarem limites para salubridade, considerando a variação tanto na temperatura ambiental do trabalho como no gasto calórico, um Perito em Segurança e Saúde Ocupacional atribuiu como insalubre validando desta forma, o software de acordo com a NR 15.

#### 4.2.2 - Nível metodológico 2

Neste nível, buscou-se casos que apesar de hipotéticos, demonstram situações encontradas na prática. Foram avaliados valores médios e extremos, demonstrando desta forma que o software também é coerente em situações não extremas. A Tabela 4.2 representa estes casos.

Tabela 4.2 - Casos hipotéticos.

<b>M[W]</b>	<b>IBUTG [°C]</b>	<b>RESULTADO FUZZY</b>	
105	31,0	0,0124	Salubre
163	28,0	0,0124	Salubre
215	26,0	0,0124	Salubre
380	27,0	0,3	Insalubre
118	26,0	0,0124	Salubre
350	24,7	0,0109	Salubre
280	26,0	0,0124	Salubre

Foram representados a seguir três casos desta tabela com resultados de salubridade e insalubridade, pois a partir disto foi possível observar o modelo proposto atuando em casos mais próximos de 0, condições de ambientes de trabalho salubres.

Nestes casos constatou-se o adequado funcionamento do modelo proposto com valores de entrada distintos aos valores limiares da Norma.

Conforme a Figura 4.10, o resultado obtido para este caso estudado, qual a temperatura medida foi de 31,0°C e a taxa metabólica de 105W, é 0,0124 que representa o ambiente salubre. Desta forma constatou-se que o modelo proposto também alcança resultado satisfatório para um caso salubre, conforme o esperado pela especificação. A regra de inferência usada foi a de número 79 que tem o conjunto TM2 e T8.

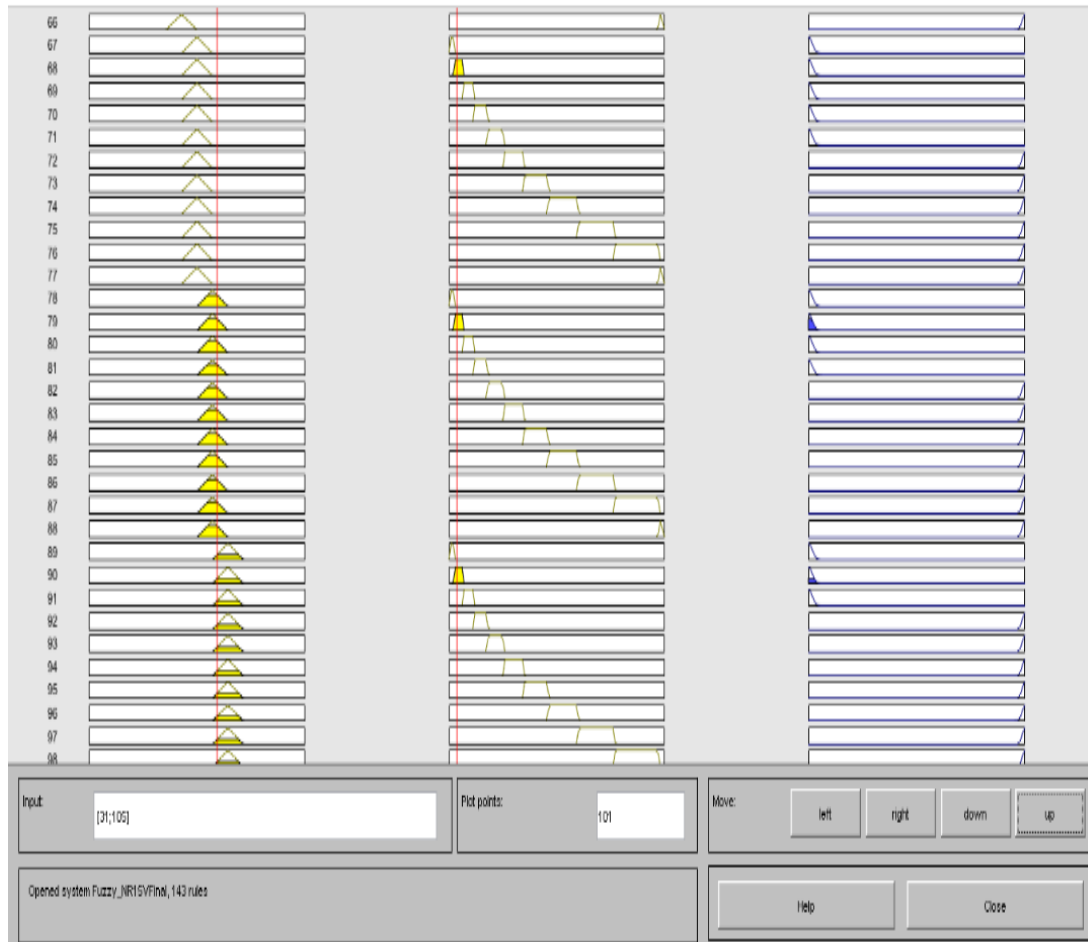


Figura 4.10 - Caso 1 - Nível metodológico 2.  
 Fonte: MATLAB (2021).

TAXAMET=105 W; TEMP. 31,0°C; RESULTADO: 0,0124.

De forma análoga, a Figura 4.11 mostra o resultado obtido para o segundo caso estudado, aonde a temperatura medida foi de 28,0°C e a taxa metabólica de 163W.

Como resultado obteve-se através do modelo proposto o valor de 0,0124 que representa o ambiente salubre. Neste caso, em função dos valores das variáveis de entrada e das regras de inferência definidas, usou-se a regra de número 48.

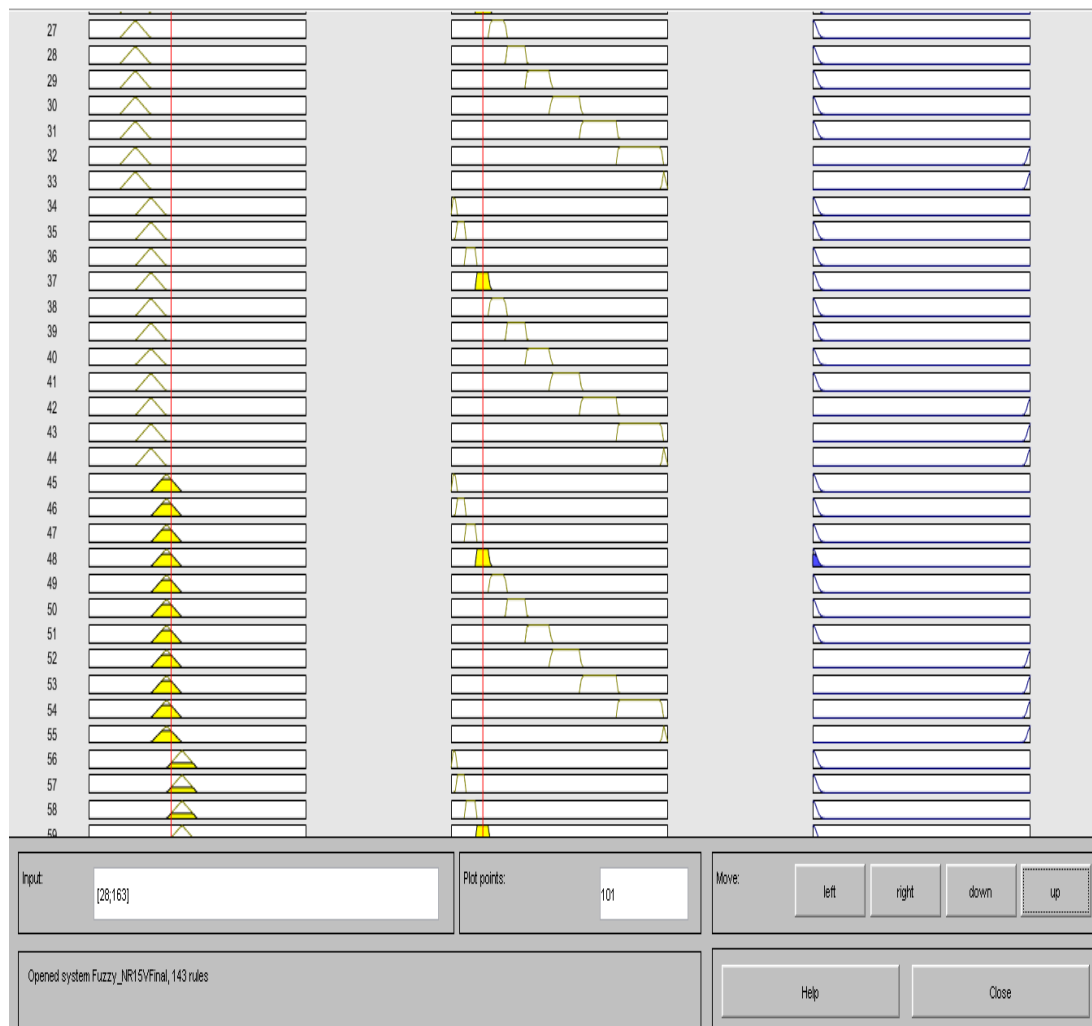


Figura 4.11 - Caso 2 - Nível metodológico 2.  
 Fonte: MATLAB (2021).

TAXAMET= 163 W; TEMP. 28,0°C; RESULTADO: 0,0124.

Por fim, conforme a Figura 4.12 mostra, no terceiro caso cuja temperatura medida foi de 27,0°C e a taxa metabólica de 380W obteve-se como resultado 0,3 que representa o ambiente insalubre, resultado por sinal, esperado.

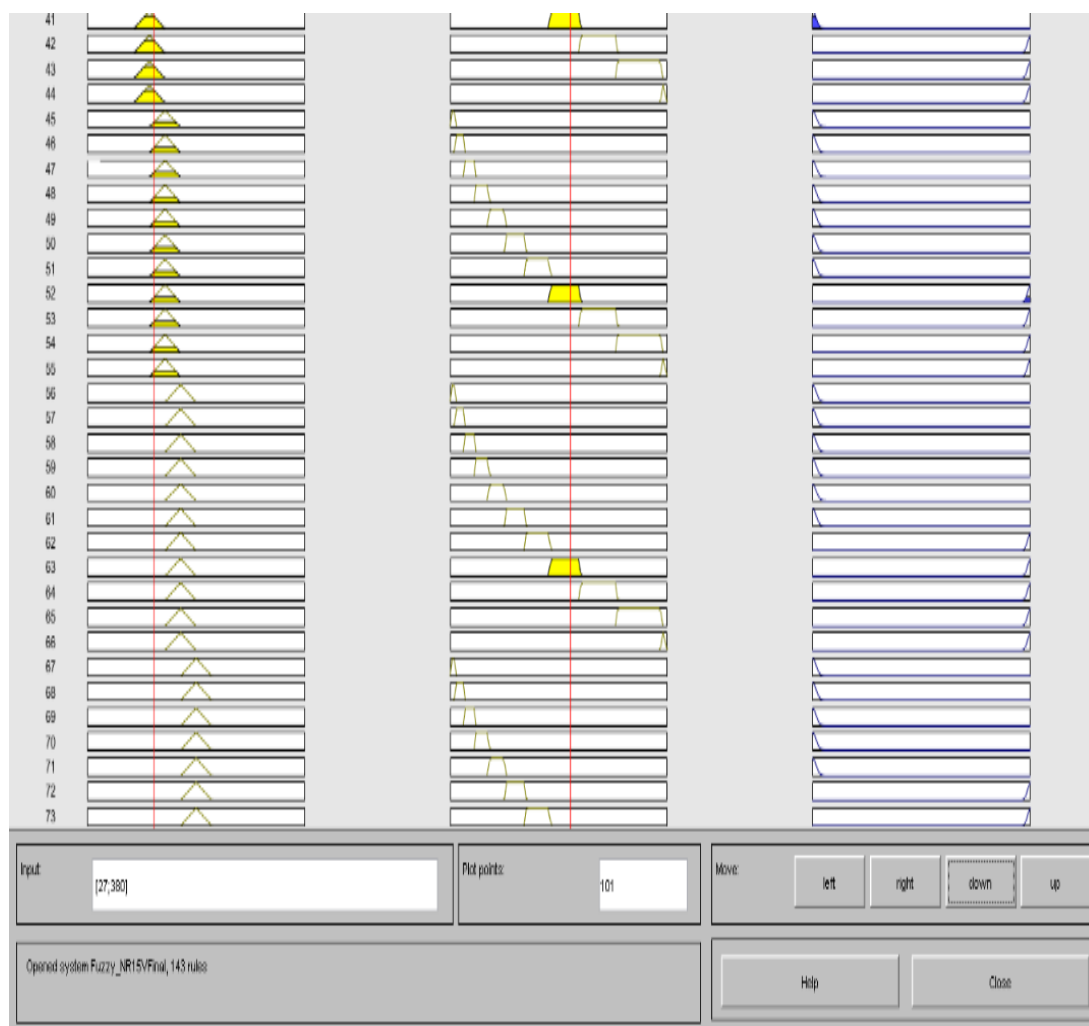


Figura 4.12 - Caso 3 - Nível metodológico 2.  
 Fonte: MATLAB (2021).

TAXAMET=380 W; TEMP. 27,0°C; RESULTADO: 0,3.

### 4.2.3 - Nível metodológico 3

Neste nível, optou-se por usar como variáveis de entrada, valores encontrados nos estudos de caso, ou seja, em situações de campo aonde seguindo a orientação da NHO 06, obteve-se os valores demonstrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Nível metodológico 3.

EMPRESA	M[W]	IBUTG [°C]	RESULTADO FUZZY
1	441	30,4	0,992 Insalubre
2	300	33,6	0,993 Insalubre
3	300	31,8	0,993 Insalubre

Antes de avaliar os casos torna-se fundamental conhecer os cuidados e recomendações utilizadas nesses processos de medição necessários para obter a variável de temperatura medida do modelo proposto. Situações como a de que o termômetro tem que ficar instalado o mais próximo possível ao trabalhador, em sua estação de trabalho e este ocupa um certo volume, e geralmente o espaço é limitado, podem diminuir a produtividade do trabalhador. Também há de observar-se a época do ano pois no período de chuvas de dezembro a maio as temperaturas são bem mais baixas que entre julho e outubro, período de sol, assim como sobre os horários das medições pois considerando que a maioria das operações fabris ocorrem em três turnos, matutino, vespertino e noturno, há entre estes, diferença de temperaturas ambientes. No caso mede-se no período mais quente observando orientação da norma.

O termômetro deve estar calibrado, em perfeito estado de funcionamento e com nível alto de energia em sua bateria. Faz-se necessário deixá-lo por um período de 20 minutos estabilizando e daí tomar-se as três medidas, do termômetro de globo, de bulbo seco e de bulbo úmido. Em função disso requer-se planejamento na medição pois deve-se priorizar as áreas da operação com temperaturas inicialmente mais brandas seguindo para as áreas cujas temperaturas são mais altas. Desta forma evita-se a saturação do equipamento e garante-se resultados corretos e coerentes.

Empresa 1, de médio porte, na área de produção de polietileno expandido – isopor, onde ambientes não climatizados como pré-expansão, produção e logística foram objetos de estudo. No geral o ambiente de trabalho apresenta nível elevado de calor e nas atividades desenvolvidas pelos operadores da produção há um alto gasto calórico, apresentadas na Figura 4.13.



Figura 4.13 - Fotos empresa 1.

Após realizadas as medições e a partir da temperatura medida obtida e a taxa metabólica estimada para a atividade do colaborador usaram essas variáveis no modelo



proposto. Pelo que se verificou em campo devido ao processo do trabalhador que realiza atividade de operação de máquina injetora recebendo os produtos injetados, transportando-os até a embalagem em condições de altas temperaturas, causando desconforto térmico, espera-se pela avaliação qualitativa, aquela feita com os sentidos, que o ambiente de trabalho em função do agente de risco calor, seja insalubre.

Em sequência na análise quantitativa e após o cálculo do IBUTG que resultou em 30,4°C com a taxa metabólica estimada de 441W obteve-se como resposta do modelo proposto o valor de 0,992 que representa condições de ambiente de trabalho insalubre (Figura 4.14). Desta forma tem-se que a avaliação quantitativa coincidiu com a qualitativa pois nesta já se observava a presença relevante do agente calor, no trabalho, caracterizando insalubridade.

Conforme a Figura 4.14 a regra de inferência usada nesse caso foi a de número 86, com o conjunto de temperatura T8 e de taxa metabólica TM9.

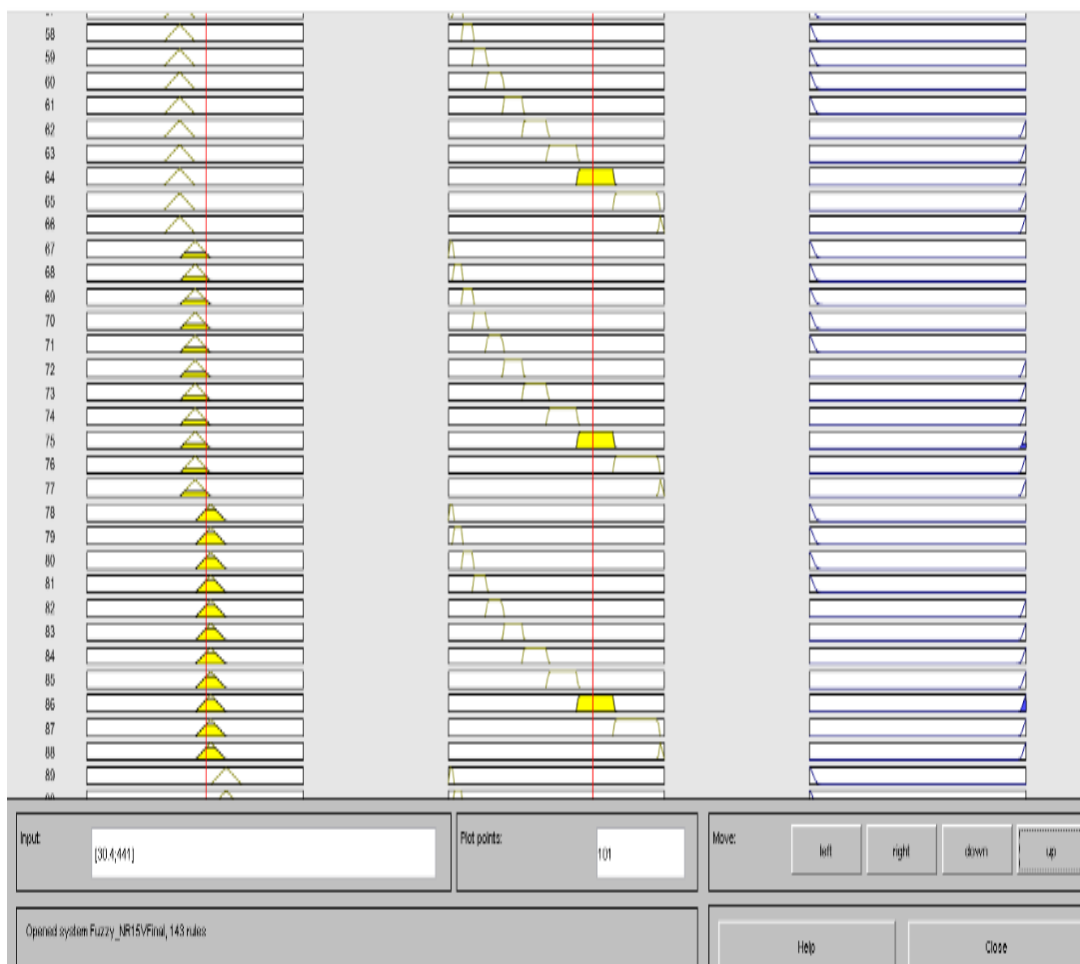


Figura 4.14 - Caso 1 - Nível metodológico 3.  
FONTE: MATLAB (2021).

EMPRESA 1: TAXAMET= 441 W; TEMP. 30,4°C; RESULTADO: 0,992.

Empresa 2, de grande porte, na área de produção de bicicletas, onde ambientes não climatizados como produção e área de solda e corte foram objetos de estudo. No geral o ambiente de trabalho apresenta nível elevado de calor e nas atividades desenvolvidas pelos operadores da produção há um alto gasto calórico, apresentadas na Figura 4.15.



Figura 4.15 - Fotos empresa 2.

Abaixo, a Figura 4.16 mostra o resultado obtido para o segundo caso estudado, aonde a temperatura medida foi de  $33,6^{\circ}\text{C}$  e a taxa metabólica de  $300\text{W}$ . Como resultado obteve-se através do modelo proposto o valor de  $0,993$  que representa o ambiente insalubre. Desta forma, igualmente como o primeiro caso desse nível metodológico tem-se que a avaliação quantitativa coincidiu com a qualitativa pois nesta já se observava a presença importante do agente calor, no trabalho, caracterizando insalubridade.

Neste caso a regra de inferência usada foi a de número 117.



Figura 4.16 - Caso 2 - Nível metodológico 3.  
 FONTE: MATLAB (2021).

TAXAMET= 300 W; TEMP. 33,6°C; RESULTADO: 0,993.

Empresa 3, de médio porte, na área de alimentos, onde ambiente não climatizado como área de assamento foi objeto de estudo. Esse ambiente de trabalho apresenta nível elevado de calor e nas atividades desenvolvidas pelos operadores da produção há um alto gasto calórico, apresentadas na Figura 4.17.



Figura 4.17 - Fotos empresa 3.

Neste terceiro e último caso, na análise quantitativa e após o cálculo do IBUTG que resultou em  $31,8^{\circ}\text{C}$  com a taxa metabólica estimada de 300W obteve-se como resposta do modelo proposto o valor de 0,993 que representa condições de ambiente de trabalho insalubre (Figura 4.18). Desta forma tem-se que a avaliação quantitativa coincidiu com a qualitativa pois nesta já se observava a presença relevante do agente calor, no trabalho, caracterizando insalubridade.

Conforme a figura 4.18 a regra de inferência que contribuiu no cálculo do resultado foi a de número 95.

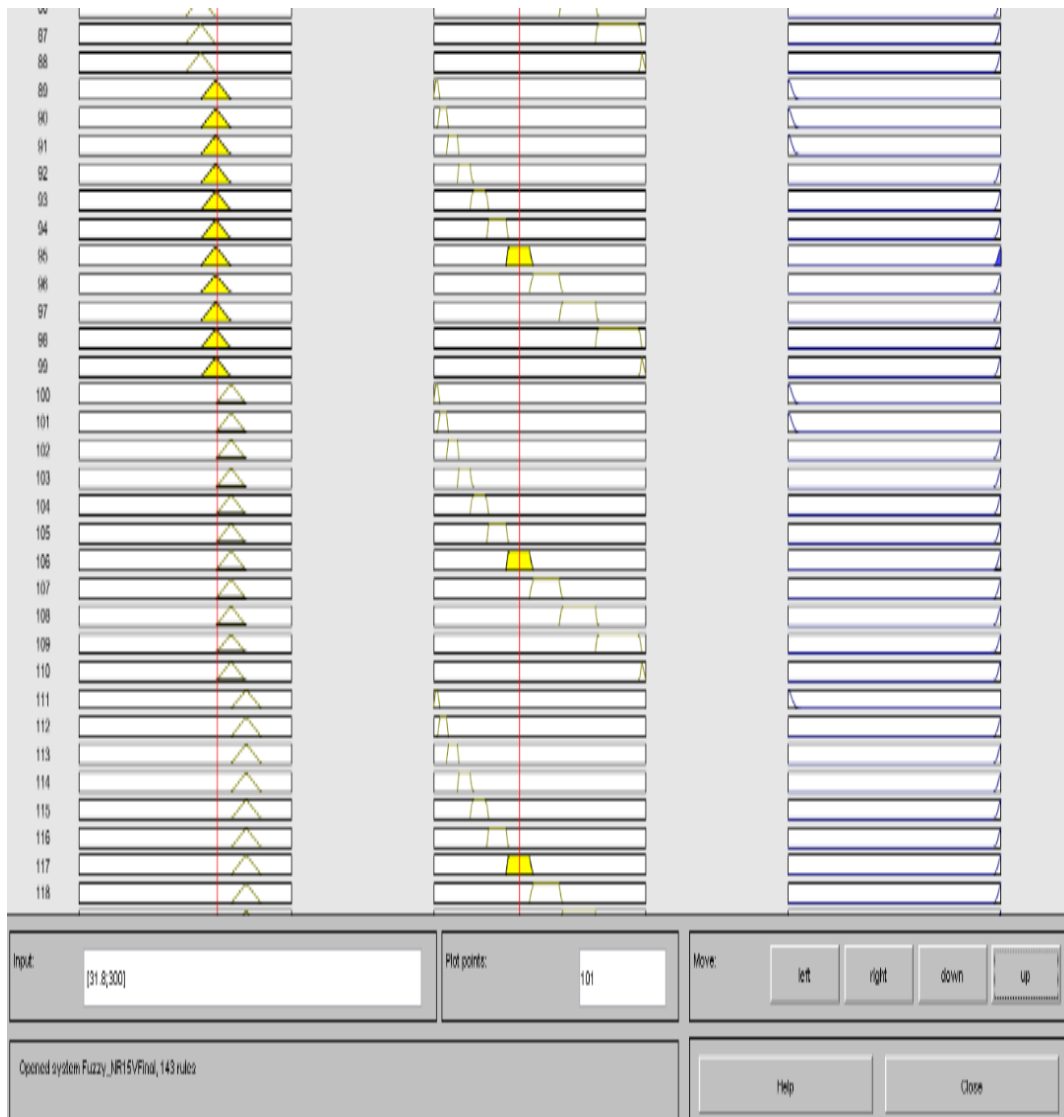


Figura 4.18 - Caso 3 - Nível metodológico 3.  
 Fonte: MATLAB (2021).

EMPRESA 3: TAXAMET. = 300 W; TEMP. 31,8°C; RESULTADO: 0,993.

Em todos os resultados avaliados e validados principalmente nos níveis metodológico 2 e 3, verificou-se que o modelo proposto teve boa sensibilidade em relação às entradas e saídas conforme as necessidades dos casos, sendo tais resultados esperados.

De forma geral todas as perspectivas abordadas nessa pesquisa foram feitas nos campos de monitoramento e medição do agente calor. Porém já no campo da atuação do controle desse agente a climatização poderia se apresentar como uma solução. No entanto requer investimento inicial elevado além de que usa a energia elétrica para o funcionamento das máquinas, sendo este insumo um dos mais caros, no processo fabril

além de que muitos processos não permitem, em função da manutenção da qualidade na produção, a implementação dessa solução.

Por estratégia de desenvolvimento regional, há 54 anos a SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus, analisa e aprova projetos fabris bem como de serviços tanto para a capital quanto para o interior do estado do Amazonas. Em praticamente todos os projetos em que os ambientes fabris não são climatizados, o desenvolvimento das atividades dentro do que regulamenta a NR 15, constitui desafio importante.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

#### 5.1 - CONCLUSÕES

Considerando todos os desafios que o agente de risco físico calor apresenta para as operações de trabalho podendo inclusive ser fator de inviabilidade do negócio pelo fato de a legislação determinar valores teto de temperatura ocupacional, os quais acima destes, é proibido o desenvolvimento de atividades, a pesquisa contribuiu no sentido de desenvolver uma solução para o auxílio da avaliação ambiental quantitativa ocupacional pertinente a esse agente de risco.

A questão da determinação da salubridade constitui princípio fundamental para a saúde e segurança de todos os trabalhadores principalmente em uma região quente e úmida como a da pesquisa. Na seara jurídica se apresenta como desafio ao cumprimento da Lei maior na proteção ao trabalhador.

Com a análise do cenário avaliado bem como o estudo de implicação do modelo *fuzzy* aliado a aplicação da NR 15, Anexo 3, especificou-se a temperatura medida e a taxa metabólica como as variáveis de entrada e a salubridade ou insalubridade como variáveis de saída, do modelo proposto e elaborou-se as regras de inferência. Em seguida passou-se a testar todos as combinações existentes na NR 15 para obtenção dos resultados da avaliação das condições de salubridade e insalubridade do ambiente de trabalho.

Com a definição de três níveis metodológicos pode-se validar os resultados encontrados.

Com isso, obteve-se a especificação de um modelo de inferência *fuzzy* para análise de salubridade pertinente ao agente físico calor que permitiu automatizar o processo de avaliação de salubridade.

Os resultados obtidos foram satisfatórios bem como condizentes com o método planejado e através do uso de uma lógica *fuzzy* permitiram o atingimento do objetivo geral do trabalho.

O Programa apresentou uma boa taxa de sensibilidade em todos os tipos de casos e auxilia na tomada de decisão, mas não isenta nem substitui a boa prática de medição assim como a avaliação de um Perito em Engenharia de Segurança no Trabalho.

Os três níveis metodológicos escolhidos para a simulação e validação do modelo proposto ofereceram oportunidades de teste em todos os casos possíveis iniciando com os valores de entrada regulamentares, seguindo para os hipotéticos, mas que representaram valores distintos aos regulamentares e terminando pelos casos reais em três empresas da região.

A submissão tanto à NR 15 que trata de insalubridade quanto à metodologia de medição do calor indicada na NHO 06 garantiu a certeza dos valores de temperatura ocupacional obtidos permitindo desta forma, após a comparação com os valores respondidos pelo modelo proposto, a garantia da confiabilidade do sistema.

Portanto com o objetivo geral cumprido, se especificou o modelo de inferência fuzzy para caracterizar a tomada de decisão com relação ao agente calor, definindo o ambiente como salubre ou insalubre.

## 5.2 - SUGESTÕES

É possível adicionar outros conceitos no modelo proposto, como o nível de ação a partir do qual, apesar de ainda não ser insalubre o empregador já deve tomar medidas para impedir que o ambiente de trabalho se torne insalubre, observa-se nesse contexto a possibilidade da continuação dos estudos abordando esses níveis de ação e colaborando bastante com a prevenção na segurança e saúde no trabalho. Desta forma, a evolução do modelo proposto para um sistema especialista de forma a obter um software expert para a efetiva tomada de decisão para regulação do calor, o qual corresponderia a base desse sistema. Além disso, a utilização de outras técnicas computacionais como redes neurais para classificação das condições de trabalho afetadas pelo agente calor, logo sendo possível comparar com os resultados propostos nessas pesquisas de forma a investigar o impacto da técnica utilizada.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDINI, M. *et al.* A novel Fuzzy PI controller for improving autonomous network by considering uncertainty. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, **Piscataway**, v. 18, p.1-11, 2019.

ARAÚJO, G. M. de. **Perícia e Avaliação de Ruído e Calor - Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: GVC, 2002.

BARBOSA F. A. N. **Segurança do trabalho & gestão ambiental**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2016.

BARBOSA, S. DE S. **Abordagem Baseada em Lógica Fuzzy para Alocação de Indicadores de Faltas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 2009. Universidade de São Paulo, [S. l.], 2009.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Anais eletrônicos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao)>. Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Consolidação das Leis do Trabalho**. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Anais eletrônicos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del5452.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm)>. Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Decreto-lei nº 5.452, de 1 de maio de 1943. Aprova a consolidação das leis do trabalho**. Lex: coletânea de legislação: edição federal, São Paulo, v. 7, 1943.

BRASIL. **Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo a segurança e medicina do trabalho e dá outras providências**. Anais eletrônicos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/16514.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16514.htm)>. Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Portaria nº 3.237, de 27 de julho de 1972. Institui os Serviços Especializados em Segurança e Medicina do Trabalho no Brasil**. DOU 2/08/1972 - Pg. 13 - Seção 1 Diário Oficial da União. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br>>. Acesso em: 01 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978**. Anais eletrônicos. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Norma Regulamentadora 9 – Programa de prevenção de riscos ambientais – PPRA. 9/12/2019.** Anais eletrônicos. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

BRASIL. **Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Norma Regulamentadora 15 – Insalubridade. 9/12/2019.** Anais eletrônicos. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

BRILHANTE, O. M. *et al.* **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental.** Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. 155p. ISBN 85-85676-56-6 Available from SciELO Books.

BRITO, J.*et al.* (Org.) **Saúde do trabalhador: reflexões a partir da abordagem ergológica.** In: Labirintos do trabalho: interrogações e olhares sobre o trabalho vivo. Rio de Janeiro: DP&A, 2004, p.161-187.

BRISTOT, V. M. **Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho.** Criciúma: Ediunesc, 2019.

CAMISASSA, M. Q. **Segurança e saúde no trabalho: NRs 1 a 36 comentadas e descomplicadas.** Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2015.

CAMPOS, F. P. **Método para apoio à decisão na verificação da Sustentabilidade de uma unidade de Conservação, usando lógica fuzzy.** 2004. 211f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CANGUILHEM, G. **O normal e o patológico.** 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1990.

CARVALHO, P. R. F. **Física aplicada, termometria, calometria e transmissão de calor.** Curitiba, 2002.

CATAI, I. **Ergonomia: Projeto e Produção.** São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

CÉSPEDES, L. *et al.* **Segurança e Medicina do Trabalho.** 24.ed. - São Paulo: Saraiva Educação, 2020.

FROTA, A. B. *et al.* **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FONSECA, J. B. DA. **Análise dos níveis de calor nos postos de trabalho de uma lavanderia industrial**. 2014. 34f. TCC (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, 31 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br>>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional 06, NHO. Avaliação da exposição ocupacional ao calor**. Procedimento técnico. Ministério do Trabalho. São Paulo. 2017.

GERMANO, A. R. P. G. R. **Avaliação de riscos ambientais e ocupacionais**. 2010. Universidade do Porto, [S. l.], 2010. Anais eletrônicos. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/59193>>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

GÜRCANLI, G. *et al.* An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 371–387, 2009. DOI: 10.1016/j.ergon.2008.10.006.

HILLETOFTH, P. *et al.* A. Three novel fuzzy logic concepts applied to reshoring decision-making. *Expert Systems with Applications*, **Elmsford**, v. 126, p. 133-143, 2019.

MAGGI, B. **Bem-estar**. *Laboreal*, Porto, v. 2, n. 1, p. 62-63, 2006. Anais eletrônicos. Disponível em: <[http://laboreal.up.pt/media/artigos/54/maggi\\_v2n1\\_pt\\_1.pdf](http://laboreal.up.pt/media/artigos/54/maggi_v2n1_pt_1.pdf)> Acesso em: 7 de outubro de 2020.

MARTINS, A. **Análise da exposição ao calor (tensão térmica) e conforto térmico em ambientes de trabalho**. 2005. TCC (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2005.

METIN, E. A. Proposal on occupational accident risk analysis: a case study of a Marble Factory. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, v. 21, n. 8, p. 33-65, Mar. 2015.

NICHIOKA, J. **Avaliação de segurança em empresas da construção civil: Uma aplicação da lógica Fuzzy**. [S. l.], p. 33–56, 2019.

NOUROUDINE, A. *et al.* (Org.) Risco e atividades humanas: acerca da possível positividade aí presente. In: Labirintos do trabalho: interrogações e olhares sobre o trabalho vivo. Rio de Janeiro: DP&A, 2004. p. 37-62.

OLIMPIO, L. C. M. **Modelo fuzzy para análise de riscos em projetos de edificações**. 2017. Universidade Federal do Ceará, [S. l.], 2017.

RAMMINGER, T. Ampliando o diálogo entre trabalhadores e profissionais de pesquisa: alguns métodos de pesquisa-intervenção para o campo da Saúde do Trabalhador. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3191-3202, nov. 2013.

RIGNEL, D. G. S. *et al.* Uma introdução a lógica fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 17-28, 2011.

RUAS, A. C. **Conforto térmico no ambiente de trabalho**. Fundacentro, 1999.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle de calor: PPRA**. 7. Ed. São Paulo: LTr, 2016.

SALIBA, T. M. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. 4. ed. São Paulo: LTr, 2011.

SANTOS, T. Clima da Região Norte. Educa Mais Brasil, São Paulo, v. 1, p. 1, 2021. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/geografia/clima-da-regiao-norte>>. Acesso em: 27 de novembro de 2020.

SILVA, L. M. da. **Modelagem Fuzzy Como subsídios para a espacialização da vulnerabilidade costeira à erosão**. 2013. Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], 2013.

SPILLERE, J. I.; FURTADO, T. S. **Estresse ocupacional causado pelo calor**. 2007. 65f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.

SOUSA, C. P. DE. **Fuzzy no Excel**. 1º ed. [s.l.]: Universidade Federal do Ceará, 2016.

TELES, A. L.; ALVAREZ, D. *et al.* (Org.) Interfaces ergonomia-ergologia: uma discussão sobre trabalho prescrito e normas antecedentes. In: **Labirintos do trabalho: interrogações e olhares sobre o trabalho vivo**. Rio de Janeiro: DP&A, 2004, p.63-90.

TST. Jornada de Trabalho: **conheça as particularidades**. 2020. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.oitbrasil.org.br/sites/default/files/topic/>>. Acesso em: 03 de março de 2021.

UVA, A. DE S. Avaliação e gestão do risco em Saúde Ocupacional: algumas vulnerabilidades. **Saúde Ocupacional**, [S. l.], v. 6, 2006.

VASCONCELOS, R. *et al.* (Org.). Entre a auto-análise do trabalho e o trabalho de auto-análise: desenvolvimento para a psicologia do trabalho a partir da promoção da segurança e saúde no trabalho. In: **Labirintos do trabalho: interrogações e olhares sobre o trabalho vivo**. Rio de Janeiro: DP&A, 2004, p. 161-187.

VILELA, R. A. G. *et al.* Da vigilância para prevenção de acidentes de trabalho: contribuição da ergonomia da atividade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 10, p. 2817-2830, out. 2012.

ZHENG, G. *et al.* Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. **Safety Science**, [S. l.], v. 50, n. 2, p. 228–239, 2012. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.08.042. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.042>. Acesso em 04/03/2021.

## ANEXO I

Tabela I.1 - TABELAS DA NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL 06.

Tabela I.1- Taxa metabólica por tipo de atividade.

<b>Atividade</b>	<b>Taxa metabólica (W)</b>
<b>Sentado</b>	
Em repouso	100
Trabalho leve com as mãos	126
Trabalho moderado com as mãos	153
Trabalho pesado com as mãos	171
Trabalho leve com um braço	162
Trabalho moderado com um braço	198
Trabalho pesado com um braço	234
Trabalho leve com dois braços	216
Trabalho moderado com dois braços	252
Trabalho pesado com dois braços	288
Trabalho leve com braços e pernas	324
Trabalho pesado com braços e pernas	603
<b>Em pé, agachado ou ajoelhado</b>	
Em repouso	126
Trabalho leve com as mãos	153
Trabalho moderado com as mãos	180
Trabalho pesado com as mãos	198
Trabalho leve com um braço	189
Trabalho moderado com um braço	225
Trabalho pesado com um braço	261
Trabalho leve com dois braços	243
Trabalho moderado com dois braços	279
Trabalho pesado com dois braços	315
Trabalho leve com o corpo	351
Trabalho moderado com o corpo	468
Trabalho pesado com o corpo	630
<b>Em pé, em movimento</b>	

---

Andando no plano	
1. Sem carga	
• 2 km/h	198
• 3 km/h	252
• 4 km/h	297
• 5 km/h	360
<b>Atividade</b>	<b>Taxa metabólica (W)</b>
<b>Em pé, agachado ou ajoelhado</b>	
Em repouso	126
Trabalho leve com as mãos	153
Trabalho moderado com as mãos	180
Trabalho pesado com as mãos	198
Trabalho leve com um braço	189
Trabalho moderado com um braço	225
Trabalho pesado com um braço	261
Trabalho leve com dois braços	243
Trabalho moderado com dois braços	279
Trabalho pesado com dois braços	315
Trabalho leve com o corpo	351
Trabalho moderado com o corpo	468
Trabalho pesado com o corpo	630
<b>Em pé, em movimento</b>	
Andando no plano	
1. Sem carga	
• 2 km/h	198
• 3 km/h	252
• 4 km/h	297
• 5 km/h	360
• Com carga (20 kg)	400
Trabalho moderado de braços (ex.: varrer, trabalho em almoxarifado)	320
Trabalho moderado de levantar ou empurrar	349

---

Trabalho de empurrar carrinhos de mão, no mesmo plano, com carga	391
Trabalho de carregar pesos ou com movimentos vigorosos com os braços (ex.: trabalho com foice)	495
Trabalho pesado de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá, abertura de valas)	524

Tabela I.2 - Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados.

<b>M[W]</b>	<b>IBUTG [°C]</b>	<b>M[W]</b>	<b>IBUTG[°C]</b>	<b>M[W]</b>	<b>IBUTG[°C]</b>
100	33,7	186	30,6	346	27,5
102	33,6	189	30,5	353	27,4
104	33,5	193	30,4	360	27,3
106	33,4	197	30,3	367	27,2
108	33,3	201	30,2	374	27,1
110	33,2	205	30,1	382	27,0
112	33,1	209	30,0	390	26,9
115	33,0	214	29,9	398	26,8
117	32,9	218	29,8	406	26,7
119	32,8	222	29,7	414	26,6
122	32,7	227	29,6	422	26,5
124	32,6	231	29,5	431	26,4
127	32,5	236	29,4	440	26,3
129	32,4	241	29,3	448	26,2
132	32,3	246	29,2	458	26,1
135	32,2	251	29,1	467	26,0
137	32,1	256	29,0	476	25,9
140	32,0	261	28,9	486	25,8
143	31,9	266	28,8	496	25,7
146	31,8	272	28,7	506	25,6
149	31,7	277	28,6	516	25,5
152	31,6	283	28,5	526	25,4



---

155	31,5	289	28,4	537	25,3
158	31,4	294	28,3	548	25,2
161	31,3	300	28,2	559	25,1
165	31,2	306	28,1	570	25,0
168	31,1	313	28,0	582	24,9
171	31,0	319	27,9	594	24,8
175	30,9	325	27,8	606	24,7
178	30,8	332	27,7		
182	30,7	339	27,6		

---

## ANEXO II

### TABELAS DE ELEMENTOS DA FUZZIFICAÇÃO

Tabela II.1 - Variáveis linguísticas da temperatura medida.

VALOR LINGUÍSTICO	INTERVALO NUMÉRICO
T1 [22,7 23,7 24,7]	[22,7 36,7]
T2 [23,7 24,7 25,7]	
T3 [24,7 25,7 26,7]	
T4 [25,7 26,7 27,7]	
T5 [26,7 27,7 28,7]	
T6 [27,7 28,7 29,7]	
T7 [28,7 29,7 30,7]	
T8 [29,7 30,7 31,7]	
T9 [30,7 31,7 32,7]	
T10 [31,7 32,7 33,7]	
T11 [32,7 33,7 34,7]	
T12 [33,7 34,7 35,7]	
T13 [34,7 35,7 36,7]	

Tabela II.2 - Variáveis linguísticas da taxa metabólica.

VALOR LINGUÍSTICO	INTERVALO NUMÉRICO
TM1 [85 90 95 100]	[85 615]
TM2 [95 100 117 122]	
TM3 [117 122 144 149]	
TM4 [144 149 177 182]	
TM5 [177 182 217 222]	
TM6 [217 222 267 272]	
TM7 [267 272 327 332]	
TM8 [327 332 401 406]	
TM9 [401 406 491 496]	
TM10 [491 496 601 606]	
TM11 [601 606 610 615]	

RESULTADOS FUZZY E PERÍCIA RELACIONADOS AO NÍVEL  
METODOLÓGICO 1.

Tabela II.3 - Limites de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados com resultados do modelo proposto e conclusão da perícia técnica.

$\bar{M} = [W]$	$\overline{IBUTG} \text{ MÁX } [^{\circ}C]$	<b>Resultado FUZZY</b>	<b>Resultado NR15</b>	<b>Perícia</b>
100	33,7	0,993	insalubre	Insalubre
102	33,6	0,799	insalubre	Insalubre
104	33,5	0,677	insalubre	Insalubre
106	33,4	0,591	insalubre	Insalubre
108	33,3	0,507	insalubre	Insalubre
110	33,2	0,428	insalubre	Insalubre
112	33,1	0,363	insalubre	Insalubre
115	33	0,3	insalubre	Insalubre
117	32,9	0,22	insalubre	Insalubre
119	32,8	0,363	insalubre	Insalubre
122	32,7	0,993	insalubre	Insalubre
124	32,6	0,799	insalubre	Insalubre
127	32,5	0,677	insalubre	Insalubre
129	32,4	0,591	insalubre	Insalubre
132	32,3	0,507	insalubre	Insalubre
135	32,2	0,428	insalubre	Insalubre
137	32,1	0,363	insalubre	Insalubre
140	32	0,3	insalubre	Insalubre
143	31,9	0,22	insalubre	Insalubre
146	31,8	0,363	insalubre	Insalubre
149	31,7	0,993	insalubre	Insalubre
152	31,6	0,799	insalubre	Insalubre
155	31,5	0,677	insalubre	Insalubre
158	31,4	0,591	insalubre	Insalubre
161	31,3	0,507	insalubre	Insalubre
165	31,2	0,428	insalubre	Insalubre
168	31,1	0,363	insalubre	Insalubre
171	31	0,3	insalubre	Insalubre
175	30,9	0,22	insalubre	Insalubre
178	30,8	0,22	insalubre	Insalubre
182	30,7	0,993	insalubre	Insalubre

$\bar{M} = [W]$	$\overline{IBUTG} \text{ MÁX } [^{\circ}C]$	<b>Resultado FUZZY</b>	<b>Resultado NR15</b>	<b>Perícia</b>
186	30,6	0,799	insalubre	Insalubre
189	30,5	0,677	insalubre	Insalubre
193	30,4	0,591	insalubre	Insalubre
197	30,3	0,507	insalubre	Insalubre

201	30,2	0,428	insalubre	Insalubre	Insalubre
205	30,1	0,363	insalubre	Insalubre	Insalubre
209	30	0,3	insalubre	Insalubre	Insalubre
214	29,9	0,22	insalubre	Insalubre	Insalubre
218	29,8	0,137	insalubre	Insalubre	Insalubre
222	29,7	0,993	insalubre	Insalubre	Insalubre
227	29,6	0,799	insalubre	Insalubre	Insalubre
231	29,5	0,677	insalubre	Insalubre	Insalubre
236	29,4	0,591	insalubre	Insalubre	Insalubre
241	29,3	0,507	insalubre	Insalubre	Insalubre
246	29,2	0,428	insalubre	Insalubre	Insalubre
251	29,1	0,363	insalubre	Insalubre	Insalubre
256	29	0,3	insalubre	Insalubre	Insalubre
261	28,9	0,22	insalubre	Insalubre	Insalubre
266	28,8	0,13	insalubre	Insalubre	Insalubre
272	28,7	0,993	insalubre	Insalubre	Insalubre
277	28,6	0,799	insalubre	Insalubre	Insalubre
283	28,5	0,677	insalubre	Insalubre	Insalubre
289	28,4	0,591	insalubre	Insalubre	Insalubre
294	28,3	0,507	insalubre	Insalubre	Insalubre
300	28,2	0,428	insalubre	Insalubre	Insalubre
306	28,1	0,363	insalubre	Insalubre	Insalubre
313	28	0,3	insalubre	Insalubre	Insalubre
319	27,9	0,22	insalubre	Insalubre	Insalubre
325	27,8	0,13	insalubre	Insalubre	Insalubre
332	27,7	0,993	insalubre	Insalubre	Insalubre
339	27,6	0,799	insalubre	Insalubre	Insalubre

$\bar{M} = [W]$	$\bar{IBUTG} \text{ MÁX } [^{\circ}C]$	<b>Resultado FUZZY</b>	<b>Resultado NR15</b>	<b>Perícia</b>
346	27,5	0,677	insalubre	Insalubre
353	27,4	0,591	insalubre	Insalubre
360	27,3	0,507	insalubre	Insalubre
367	27,2	0,428	insalubre	Insalubre
374	27,1	0,363	insalubre	Insalubre
382	27	0,3	insalubre	Insalubre
390	26,9	0,22	insalubre	Insalubre
398	26,8	0,13	insalubre	Insalubre
406	26,7	0,993	insalubre	Insalubre
414	26,6	0,799	insalubre	Insalubre
422	26,5	0,677	insalubre	Insalubre
431	26,4	0,591	insalubre	Insalubre
440	26,3	0,507	insalubre	Insalubre
448	26,2	0,428	insalubre	Insalubre
458	26,1	0,363	insalubre	Insalubre
467	26	0,3	insalubre	Insalubre

476	25,9	0,22	insalubre	Insalubre	Insalubre
486	25,8	0,13	insalubre	Insalubre	insalubre
496	25,7	0,993	insalubre	Insalubre	Insalubre
506	25,6	0,799	insalubre	Insalubre	Insalubre
516	25,5	0,677	insalubre	Insalubre	Insalubre
526	25,4	0,591	insalubre	Insalubre	Insalubre
537	25,3	0,507	insalubre	Insalubre	Insalubre
548	25,2	0,428	insalubre	Insalubre	Insalubre
559	25,1	0,363	insalubre	Insalubre	Insalubre
570	25	0,3	insalubre	Insalubre	Insalubre
582	24,9	0,22	insalubre	Insalubre	Insalubre
594	24,8	0,13	insalubre	Insalubre	Insalubre
606	24,7	0,993	insalubre	Insalubre	Insalubre

Tabela II.4 - Regras de inferência.

Nº	Temperatura	Taxa metabólica	Ambiente
01	T1	TM1	Salubre
02	T1	TM2	Salubre
03	T1	TM3	Salubre
04	T1	TM4	Salubre
05	T1	TM5	Salubre
06	T1	TM6	Salubre
07	T1	TM7	Salubre
08	T1	TM8	Salubre
09	T1	TM9	Salubre
10	T1	TM10	Salubre
11	T1	TM11	Salubre
12	T2	TM1	Salubre
13	T2	TM2	Salubre
14	T2	TM3	Salubre
15	T2	TM4	Salubre
16	T2	TM5	Salubre
17	T2	TM6	Salubre
18	T2	TM7	Salubre
19	T2	TM8	Salubre
20	T2	TM9	Salubre
21	T2	TM10	Salubre
22	T2	TM11	Insalubre
23	T3	TM1	Salubre
24	T3	TM2	Salubre
25	T3	TM3	Salubre
26	T3	TM4	Salubre
27	T3	TM5	Salubre
28	T3	TM6	Salubre
29	T3	TM7	Salubre
30	T3	TM8	Salubre
31	T3	TM9	Salubre

---

32	T3	TM10	Insalubre
33	T3	TM11	Insalubre
34	T4	TM1	Salubre
35	T4	TM2	Salubre
36	T4	TM3	Salubre
37	T4	TM4	Salubre
38	T4	TM5	Salubre
39	T4	TM6	Salubre
40	T4	TM7	Salubre
41	T4	TM8	Salubre
42	T4	TM9	Insalubre
43	T4	TM10	Insalubre
44	T4	TM11	Insalubre
45	T5	TM1	Salubre
46	T5	TM2	Salubre
47	T5	TM3	Salubre
48	T5	TM4	Salubre
49	T5	TM5	Salubre
50	T5	TM6	Salubre
51	T5	TM7	Salubre
52	T5	TM8	Insalubre
53	T5	TM9	Insalubre
54	T5	TM10	Insalubre
55	T5	TM11	Insalubre
56	T6	TM1	Salubre
57	T6	TM2	Salubre
58	T6	TM3	Salubre
59	T6	TM4	Salubre
60	T6	TM5	Salubre
61	T6	TM6	Salubre
62	T6	TM7	Salubre
63	T6	TM8	Insalubre
64	T6	TM9	Insalubre
65	T6	TM10	Insalubre
66	T6	TM11	Insalubre
67	T7	TM1	Salubre
68	T7	TM2	Salubre
69	T7	TM3	Salubre
70	T7	TM4	Salubre
71	T7	TM5	Salubre
72	T7	TM6	Insalubre
73	T7	TM7	Insalubre
74	T7	TM8	Insalubre
75	T7	TM9	Insalubre
76	T7	TM10	Insalubre
77	T7	TM11	Insalubre
78	T8	TM1	Salubre
79	T8	TM2	Salubre
80	T8	TM3	Salubre
81	T8	TM4	Salubre

---

---

82	T8	TM5	Insalubre
83	T8	TM6	Insalubre
84	T8	TM7	Insalubre
85	T8	TM8	Insalubre
86	T8	TM9	Insalubre
87	T8	TM10	Insalubre
88	T8	TM11	Insalubre
89	T9	TM1	Salubre
90	T9	TM2	Salubre
91	T9	TM3	Salubre
92	T9	TM4	Insalubre
93	T9	TM5	Insalubre
94	T9	TM6	Insalubre
95	T9	TM7	Insalubre
96	T9	TM8	Insalubre
97	T9	TM9	Insalubre
98	T9	TM10	Insalubre
99	T9	TM11	Insalubre
100	T10	TM1	Salubre
101	T10	TM2	Salubre
102	T10	TM3	Insalubre
103	T10	TM4	Insalubre
104	T10	TM5	Insalubre
105	T10	TM6	Insalubre
106	T10	TM7	Insalubre
107	T10	TM8	Insalubre
108	T10	TM9	Insalubre
109	T10	TM10	Insalubre
/110	T10	TM11	Insalubre
111	T11	TM1	Salubre
112	T11	TM2	Insalubre
113	T11	TM3	Insalubre
114	T11	TM4	Insalubre
115	T11	TM5	Insalubre
116	T11	TM6	Insalubre
117	T11	TM7	Insalubre
118	T11	TM8	Insalubre
119	T11	TM9	Insalubre
120	T11	TM10	Insalubre
121	T11	TM11	Insalubre
122	T12	TM1	Salubre
123	T12	TM2	Insalubre
124	T12	TM3	Insalubre
125	T12	TM4	Insalubre
126	T12	TM5	Insalubre
127	T12	TM6	Insalubre
128	T12	TM7	Insalubre
129	T12	TM8	Insalubre
130	T12	TM9	Insalubre
131	T12	TM10	Insalubre

---

---

132	T12	TM11	Insalubre
133	T13	TM1	Insalubre
134	T13	TM2	Insalubre
135	T13	TM3	Insalubre
136	T13	TM4	Insalubre
137	T13	TM5	Insalubre
138	T13	TM6	Insalubre
139	T13	TM7	Insalubre
140	T13	TM8	Insalubre
141	T13	TM9	Insalubre
142	T13	TM10	Insalubre
143	T13	TM11	Insalubre

---