

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES TERMOAMBIENTAIS E PESSOAIS
NA PRODUTIVIDADE EM UMA EMPRESA DE LOGÍSTICA DA PARAÍBA**

NATANNA GLENDA SOARES FERNANDES

JOÃO PESSOA

2019

NATANNA GLENDA SOARES FERNANDES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES TERMOAMBIENTAIS E PESSOAIS
NA PRODUTIVIDADE EM UMA EMPRESA DE LOGÍSTICA DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Moreira da Silva

JOÃO PESSOA

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F363a Fernandes, Natanna Glenda Soares.

Análise da influência das condições termoambientais e pessoais na produtividade em uma empresa de logística da Paraíba / Natanna Glenda Soares Fernandes. - João Pessoa, 2019.
143 f.

Orientação: Ricardo Moreira da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia de produção. 2. Produtividade. 3. Condições termoambientais. 4. Calor. 5. Conforto térmico. 6. Estresse térmico. I. Silva, Ricardo Moreira da. II. Título.

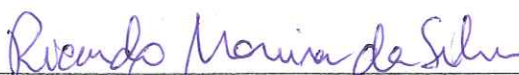
UFPB/BC

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES TERMOAMBIENTAIS E PESSOAIS
NA PRODUTIVIDADE EM UMA EMPRESA DE LOGÍSTICA DA PARAÍBA**

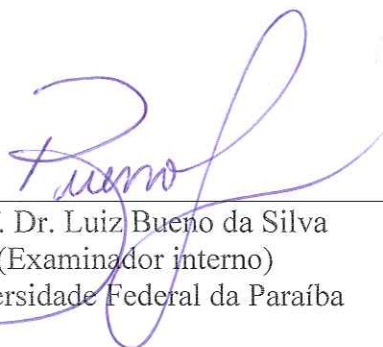
NATANNA GLENDIA SOARES FERNANDES

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

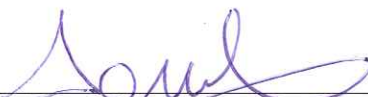
João Pessoa, 30 de Agosto de 2019.



Prof. Dr. Ricardo Moreira da Silva
(Orientador)
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva
(Examinador interno)
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dra. Solange Maria Leder
(Examinador externo)
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. Antonio Souto Coutinho
(Examinador externo)
Universidade Federal da Paraíba

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por esta conquista, que ao longo da minha vida me deu força e coragem para nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço aos meus pais, Francisca Vanda Soares Fernandes e Natanaildo Barbosa Fernandes, pelo amor incondicional, dedicação, compreensão e incentivo ao longo dessa jornada. Obrigado por sempre apoiarem os meus sonhos. Mãe e Pai amo vocês!

Ao meu marido, Geferson de Souza Queiroga, por todo o amor, apoio, paciência e compreensão. Por ter sempre uma palavra de incentivo nos momentos de desânimo, me dando força e coragem para seguir sempre. Eu te Amo!

A minha irmã, Nayanna Lana Soares Fernandes, por todo carinho e amor, sempre me incentivando a ir mais longe.

Ao meu orientador, Ricardo Moreira da Silva, por todo apoio e auxílio e ao Professor Antonio Souto Coutinho por toda ajuda, apoio, conselhos e ensinamentos.

Aos professores Luiz Bueno da Silva e Solange Leder, por terem aceitado participar da banca e pelas importantes contribuições para este trabalho.

A uma amiga que considero uma irmã, Patrícia Dias Guerreiro, por sempre me apoiar e está ao meu lado me incentivando sempre.

Ao amigo, Erivaldo Lopes, por toda ajuda e por estar sempre disposto em ajudar, suas contribuições foram muito importantes para este trabalho.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Produção pelos ensinamentos profissionais e pessoais.

Ao Laboratório de Análise do Trabalho (LAT) do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba pelo empréstimo dos equipamentos necessários ao desenvolvimento desse estudo.

A todos os funcionários do PPGE, em especial a secretária Ana Araújo por toda ajuda, conselhos e amizade.

A capes pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim a todos que diretamente ou indiretamente auxiliaram nessa conquista.

RESUMO

Os ambientes térmicos que os trabalhadores estão submetidos podem impactar diretamente na produtividade. Logo, é fundamental conhecer as condições termoambientais dos ambientes laborais para que se possa desenvolver ações para prevenir ou ainda solucionar possíveis exposições ao calor, contribuindo dessa forma, positivamente para um melhor desempenho. Uma vez que, o melhor desempenho dos trabalhadores está diretamente relacionado ao aumento da satisfação térmica, conforme verificado pela revisão da literatura. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar a influência das condições termoambientais e pessoais na produtividade de trabalhadores em uma empresa de logística em João Pessoa, Estado da Paraíba. Este estudo empregou uma abordagem quantitativa, onde foram selecionadas duas unidades dessa empresa, sendo uma climatizada e outra não climatizada, em seguida realizou-se a coleta das variáveis ambientais, pessoais e dos dados referentes à produtividade dos trabalhadores. Foram determinados o PMV e o PPD para a unidade climatizada, de acordo com a ISO 7730 (2005). Já para a unidade não climatizada foi estabelecida a taxa requerida de suor e a fração de pele molhada requerida, conforme a ISO 7933 (1989). Desenvolveu-se a correlação entre a produtividade, as variáveis ambientais, pessoais e os métodos para avaliação térmica de cada unidade. Construiu-se ainda, um modelo de regressão linear múltiplo a fim de identificar o impacto na produtividade das variáveis ambientais. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que para situações com condições termoambientais severas houve uma visível redução da produtividade para praticamente todos os trabalhadores. Assim, conclui-se a importância de fornecer ambientes laborais com adequadas condições termoambientais, para que os trabalhadores desenvolvam suas atividades com seu melhor desempenho.

Palavras-chave: Produtividade. Condições termoambientais. Calor.

ABSTRACT

The thermal environments that workers are subjected to can directly impact productivity. Therefore, it is essential to know the thermo-environmental conditions of the working environment so that actions can be developed to prevent or solve possible heat exposure, thus contributing positively to better performance. Since, the better performance of workers is directly related to the increase of thermal satisfaction, as verified by the literature review. In this context, this research aimed to analyze the influence of thermoenvironmental and personal conditions on worker productivity in a logistics company in João Pessoa, State of Paraíba. This study used a quantitative approach, where two units of this company were selected, one of which was air-conditioned and the other non-air-conditioned, followed by the collection of environmental, personal and worker productivity data. The PMV and PPD for the acclimatized unit were determined according to ISO 7730 (2005). For the non-air-conditioned unit, the required sweat rate and the required wet skin fraction were established according to ISO 7933 (1989). The correlation between productivity, environmental, personal variables and methods for thermal evaluation of each unit was developed. A multiple linear regression model was also built to identify the impact on the productivity of environmental variables. According to the results obtained, it was found that for situations with severe thermo-environmental conditions there was a visible reduction in productivity for practically all workers. Thus, it is concluded the importance of providing working environments with adequate thermo-environmental conditions, so that workers develop their activities with their best performance.

Keywords: Productivity. Thermo-environmental conditions. Heat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definição de calor.....	31
Figura 2 - Representação Sistema, Fronteira, Vizinhaça e Universo	32
Figura 3 – Índice PPD em função do PMV.....	64
Figura 4 - Processo input- transformação-output para qualquer produção	71
Figura 5 - Delimitação da unidade climatizada	80
Figura 6 - Delimitação da unidade não climatizada	81
Figura 7 - Medidor de estresse térmico da marca <i>Instrutherm</i>	83
Figura 8 - Anemômetro da marca <i>Instrutherm</i>	83
Figura 9 - Posicionamento dos equipamentos para a coleta de dados da unidade não climatizada.....	84
Figura 10 - Posicionamento dos equipamentos para a coleta de dados da unidade climatizada	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas Diárias (Máxima, Mínima e Média) de maio de 2019 em João Pessoa.....	90
Gráfico 2 - Temperaturas Diárias (Máxima, Mínima e Média) de junho de 2019 em João Pessoa.....	90
Gráfico 3 - Chuvas acumuladas em 24 horas no mês de maio de 2019 em João Pessoa.....	91
Gráfico 4 - Chuvas acumuladas em 24 horas no mês de junho de 2019 em João Pessoa	91
Gráfico 5 - Temperatura média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	94
Gráfico 6 - Temperatura média de bulbo úmido durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições	94
Gráfico 7 - Temperatura média de globo durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	95
Gráfico 8 - Temperatura média radiante durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	95
Gráfico 9 - Umidade relativa do ar média durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	95
Gráfico 10 - Velocidade média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	96
Gráfico 11 - Comparação da temperatura do ar na unidade com climatização e sem climatização.....	104
Gráfico 12 - Comparação da temperatura de globo na unidade com climatização e sem climatização.....	105
Gráfico 13 - Comparação da umidade relativa na unidade com climatização e sem climatização.....	105
Gráfico 14 - Comparação da produtividade na unidade com climatização e sem climatização	105
Gráfico 15 - Temperatura média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	108
Gráfico 16 - Temperatura média de bulbo úmido durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições	108
Gráfico 17 - Temperatura média de globo durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	109

Gráfico 18 - Temperatura média radiante durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	109
Gráfico 19 - Umidade relativa do ar média durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	109
Gráfico 20 - Velocidade média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições.....	110
Gráfico 21 - Comparação da temperatura do ar entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta.....	117
Gráfico 22 - Comparação da temperatura de globo entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta	118
Gráfico 23 - Comparação da umidade relativa entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta.....	118
Gráfico 24 - Comparação da produtividade entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta.....	118
Gráfico 25 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas	119
Gráfico 26 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas	120
Gráfico 27 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas	120
Gráfico 28 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas.....	120
Gráfico 29 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas	121
Gráfico 30 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas	121
Gráfico 31 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas	122
Gráfico 32 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas.....	122
Gráfico 33 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas	123
Gráfico 34 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas	123
Gráfico 35 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas	123
Gráfico 36 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas.....	124
Gráfico 37 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas	124
Gráfico 38 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas	125
Gráfico 39 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas	125
Gráfico 40 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas.....	125
Gráfico 41 - Investigação de pontos de alavanca	127
Gráfico 42 - Investigação dos pontos de alavanca para o modelo ajustada	129
Gráfico 43 - Avaliação da normalidade dos resíduos padronizados.....	129
Gráfico 44 - Investigação da homocedasticidade	130

Gráfico 45 - Investigação da correlação serial	131
--	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas da Revisão Sistemática na Base <i>Web of Science</i>	25
Quadro 2 - Etapas da Revisão Sistemática na Base <i>Scopus</i>	26
Quadro 3 - Resultado da Revisão Sistemática realizada na <i>Web of Science</i> e <i>Scopus</i>	27
Quadro 4 - Variáveis e Indicadores da Pesquisa	82
Quadro 5 - Medidas de ajuste do modelo.....	126
Quadro 6 - Resultado do teste de significância e estimativas dos coeficientes.....	127
Quadro 7 - Medidas de ajuste do modelo ajustado com a retirada dos pontos de alavanca ..	128
Quadro 8 - Estimativas e significância dos coeficientes com o modelo ajustado sem pontos de alavanca.....	128
Quadro 9 - Resultado do teste de normalidade.....	130
Quadro 10 - Resultado do teste de homocedasticidade.....	130
Quadro 11 - Fator de variância inflacionado	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da pessoa padrão utilizada na ISO 8996 (2004)	40
Tabela 2 - Valores de referência para os diferentes critérios de estresse e de condições que os trabalhadores podem estar submetidos sem que ocorram malefícios a sua saúde.....	67
Tabela 3 - Média e desvio padrão das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento para os 13 dias de medições	93
Tabela 4 - Isolamento térmico da vestimenta considerando Camisa de Manga Curta	97
Tabela 5 - Isolamento térmico da vestimenta considerando Camisa de Manga Longa.....	97
Tabela 6 - Média e Desvio Padrão para o PMV e PPD considerando os 13 dias de medições	98
Tabela 7 - Produtividade por trabalhador na unidade climatizada durante os 13 dias de medições.....	100
Tabela 8 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador com a central de ar condicionado ligada	101
Tabela 9 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador com a central de ar condicionado desligada	101
Tabela 10 - Teste de normalidade das variáveis.....	103
Tabela 11 - Correlação entre a produtividade, as variáveis ambientais, pessoais e o PMV e PPD	103
Tabela 12 - Média e desvio padrão das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento para os 13 dias de medições	107
Tabela 13 - Média e Desvio Padrão para a <i>SWreq</i> e <i>wreq</i> considerando os 13 dias de medições.....	111
Tabela 14 - Produtividade por trabalhador na unidade não climatizada durante os 13 dias de medições.....	113
Tabela 15 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador na UNC <i>excluindo os dois dias</i> com temperatura média do ar mais baixa	114
Tabela 16 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador na UNC considerando <i>apenas os dois dias</i> com temperatura média do ar mais baixa.....	114
Tabela 17 - Teste de normalidade das variáveis.....	116
Tabela 18 - Correlação entre a produtividade, as variáveis ambientais, pessoais e a <i>SWreq</i> e <i>wreq</i>	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	18
1.2	JUSTIFICATIVA	20
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo geral	22
1.3.2	Objetivos específicos	22
1.4	ESTRUTURA DA PESQUISA	22
2	ESTADO DA ARTE	24
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA	24
2.2	ERGONOMIA AMBIENTAL	27
2.3	CONCEITOS DE CALOR E TEMPERATURA	29
2.3.1	Aspectos históricos do calor	29
2.3.2	Temperatura	31
2.3.3	Sistema, fronteira, vizinhança e universo	31
2.3.4	Mecanismos de transferência de calor	32
2.3.4.1	Condução.....	33
2.3.4.2	Convecção	33
2.3.4.3	Radiação	33
2.3.4.4	Evaporação	34
2.4	INTERAÇÃO TÉRMICA ENTRE O SER HUMANO E O AMBIENTE.....	34
2.4.1	Trocas de calor entre o ser humano e o ambiente	34
2.4.2	Variáveis de interação térmica da pessoa com o ambiente	36
2.4.2.1	Variáveis Ambientais.....	37
2.4.2.2	Variáveis Pessoais.....	38
2.4.3	Balanço térmico	43
2.4.4	Sistema de termorregulação	50

2.4.5	Ambiente térmico	53
2.4.6	Conforto térmico	54
2.4.7	Estresse térmico	56
2.4.7.1	Efeitos do ambiente quente sobre o ser humano	58
2.4.7.2	Aclimação ao calor e sua importância.....	59
2.4.7.3	Doenças provocadas por ambiente quente	60
2.5	MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO TÉRMICA DE AMBIENTES MODERADOS E QUENTES	62
2.5.1	PMV e PDD.....	62
2.5.2	<i>SWreq</i> e <i>wreq</i>	64
2.6	PRODUTIVIDADE	70
2.6.1	Conceito e mensuração da produtividade.....	70
2.6.2	Relação entre condições térmicas e produtividade.....	73
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	79
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	79
3.2	POPULAÇÃO E AMOSTRA	79
3.2.1	Unidade Climatizada	80
3.2.2	Unidade Não Climatizada	81
3.3	Variáveis e indicadores	82
3.4	COLETA DE DADOS	82
3.4.1	Coleta das variáveis ambientais	82
3.4.2	Coleta das variáveis pessoais.....	85
3.4.3	Coleta de dados referentes à produtividade dos trabalhadores.....	86
3.4.3.1	Unidade Climatizada.....	86
3.4.3.2	Unidade Não Climatizada	86
3.5	DETERMINAÇÃO DO PMV E DO PPD	86
3.6	DETERMINAÇÃO DA TAXA REQUERIDA DE SUOR E DA FRAÇÃO DE PELE MOLHADA REQUERIDA	87

3.7	TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
4.1	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE JOÃO PESSOA.....	89
4.2	UNIDADE CLIMATIZADA (UC)	91
4.2.1	Análise das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento	92
4.2.2	Análise das Variáveis pessoais.....	97
4.2.3	Análise do PMV e PPD	97
4.2.4	Produtividade	99
4.2.5	Análise de Correlação.....	102
4.3	UNIDADE NÃO CLIMATIZADA (UNC)	106
4.3.1	Análise das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento	106
4.3.2	Análise das Variáveis pessoais.....	110
4.3.3	Análise da <i>SWreq</i> e <i>wreq</i>	111
4.3.4	Produtividade	112
4.3.5	Análise de Correlação.....	115
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE NAS DUAS UNIDADES	119
4.5	MODELAGEM MATEMÁTICA	126
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	135
	REFERÊNCIAS.....	136

1 INTRODUÇÃO

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Como as pessoas atualmente passam a maior parte do seu tempo em ambientes de trabalho é imprescindível que exista uma relação positiva entre os trabalhadores e seus ambientes laborais (FELIX et al., 2010). De fato, Gosling e Araújo (2008) afirmam que na procura por vantagens competitivas, as empresas têm passado a dar uma importância cada vez mais significativa para o bem-estar de seus trabalhadores, já que um empregado saudável é mais produtivo, gerando dessa forma, menos custos.

De acordo com Baptista (2011) ambientes térmicos a que os trabalhadores estejam submetidos podem afetá-los, reduzindo o seu bem-estar e como consequência a sua produtividade. Wang et al. (2019) reforçam essa afirmativa quando retratam que o desempenho dos trabalhadores em escritórios internos pode ser muito afetado pela condição térmica do ambiente.

Como pode ser verificada na pesquisa de Tarantini, Pernigotto e Gasparella (2017) que investigaram na literatura a relação entre conforto térmico e produtividade em locais de trabalho por meio de uma análise de cocitação, ou seja, uma análise fatorial aplicada às citações mútuas das contribuições mais relevantes. Tendo como resultados que as condições térmicas interiores confortáveis podem ter impactos benéficos no bem-estar e produtividade dos trabalhadores, tais como taxas operacionais mais elevadas, menores perdas de produção, menos licenças por doença e menores custos relacionados com a saúde.

A pesquisa realizada por Tanabe, Haneda e Nishihara (2015) em uma simulação de um escritório, constataram também que o desempenho do trabalho melhora quando a satisfação térmica individual é maior; destacando a importância da avaliação térmica nos locais de trabalho para obter uma melhora na produtividade.

Esse fato fica evidente no estudo de Seppanen, Fisk e Faulkner (2003) que apresentam uma relação entre a temperatura do ar e o desempenho. Nele foi possível detectar uma diminuição de 2% no desempenho para um aumento de cada grau Celsius na faixa de temperatura de 25 a 32°C, e nenhuma diferença no desempenho na faixa de temperatura de 21 a 25°C. De maneira similar tem-se o estudo de Seppanen, Fisk e Lei (2006) mostrando que o desempenho dos trabalhadores aumenta com a temperatura entre 21 e 22 °C e diminui com a

temperatura acima de 23 e 24° C. Já com a temperatura por volta de 22 ° C tem-se a maior produtividade.

Desse modo, é importante destacar ainda que, a exposição ao calor no trabalho é considerada um risco ocupacional grave, uma vez que pode resultar em doenças relacionadas ao calor e aumento do risco de acidentes e lesões (CHANG; BERNARD; LOGAN, 2017).

Logo, percebe-se a importância de os empregadores fornecerem suporte para a hidratação dos trabalhadores no início dos turnos de trabalho e também programarem adequadamente o tempo de mudança de trabalho. Essas medidas procuram reduzir os efeitos da exposição ao calor, bem como riscos de lesões ocupacionais e de doenças relacionadas ao calor, que podem refletir na produtividade do trabalho (SPECTOR et al., 2018).

Dessa forma, fica clara a necessidade em se adotar medidas de adaptação para que sejam mínimos os efeitos do calor, evitando desse modo, os impactos econômicos da perda de produtividade do trabalho (ZANDER et al., 2015). A melhor produtividade foi obtida quando as pessoas sentiam-se termicamente "neutras" ou "ligeiramente frescas", de forma que, o aumento da satisfação térmica teve um efeito positivo na produtividade (GENG et al., 2017).

Assim, depreende-se que é ideal que a pessoa esteja sob neutralidade térmica. Segundo Djongyang, Tchinda e Njomo (2010), a neutralidade térmica é obtida quando uma pessoa não prefere sentir nem mais calor e nem mais frio no ambiente em que se encontra.

Em vista disso, conclui-se a necessidade de oferecer ambientes laborais que disponham de condições térmicas satisfatórias, para que assim, os funcionários possam desenvolver suas atividades de maneira produtiva, eficiente, sem riscos, mantendo seu bem-estar e sua saúde.

Diante do exposto, o presente estudo propõe a seguinte questão: Em que medida as condições termoambientais e pessoais influenciam a produtividade de trabalhadores em uma empresa de logística em João Pessoa, Estado da Paraíba?

Para estudar esse assunto, esta pesquisa se concentrou no setor de logística, mais especificamente em uma empresa situada em João Pessoa, no Estado da Paraíba. A mesma conta com diversos pontos de atendimento distribuídos pelo Brasil. O estudo foi realizado em duas unidades da empresa também localizadas em João Pessoa, na Paraíba.

Para isso, foi realizada uma Pesquisa Experimental e Estudo de Caso para investigar como as condições termoambientais e pessoais impactam a produtividade dos trabalhadores. Todavia, este estudo não poderá ser generalizado para todas as empresas do segmento.

Para a avaliação do ambiente sem climatização foram utilizadas a taxa requerida de suor e a fração de pele molhada requerida (adotando as diretrizes da norma ISO 7933); e para o ambiente climatizado o PMV e PPD (adotando as diretrizes da norma ISO 7033).

1.2 JUSTIFICATIVA

A empresa do setor de logística em que ocorreu o desenvolvimento deste trabalho reuni hoje um número bastante elevado de funcionários, mais de 90 mil trabalhadores. Além de dispor de unidades distribuídas ao longo do Brasil. Em vista disso, fica evidente a necessidade de se analisar com bastante atenção essa organização que, além de contribuir para o crescimento da economia nacional gera uma quantidade significativa de empregos. Grande parte das atividades é desenvolvida em escritórios, sendo uns climatizados e outros não. Dessa forma identificou-se a necessidade de fazer uma pesquisa termoambiental em suas instalações na cidade de João Pessoa (PB).

Lipczynska, Schiavon e Graham (2018) realizaram um estudo em um ambiente de escritório em Cingapura em três condições ambientais, uma com um ponto de ajuste de 23 ° C e duas com temperaturas ambiente elevadas de 26 e 27 ° C. Contaram com a participação de quinze funcionários que se voluntariaram para participar da pesquisa.

Como resultado identificaram que aumentando o ponto de ajuste da temperatura de 23°C para 26°C, enquanto forneciam aos ocupantes controle compartilhado sobre ventiladores de teto, poderiam obter um grande aumento no conforto térmico(ou seja, aceitabilidade térmica aumentado de 59% para 92%), mantendo alta atenção, capacidade de concentração e produtividade autorrelatada. Os resultados da pesquisa mostram que a produtividade autorrelatada (alerta, nível de concentração e produtividade do trabalho) melhora quando a satisfação térmica individual aumenta.

Yeganeh et al. (2018) analisaram a correlação entre a temperatura ambiente e o desempenho cognitivo por meio de uma revisão sistemática da literatura. Identificaram relatórios experimentais de laboratório publicados entre 1980 e 2018. Destacaram que, o aumento da temperatura do ar causa uma redução no desempenho cognitivo, e que o estresse térmico causa declínio mais significativo nas tarefas mais exigentes. Além de um declínio geral nas medidas de velocidade e precisão por parte dos trabalhadores devido a mudanças na temperatura do ar.

Na pesquisa de Tarantini, Pernigotto e Gasparella (2017) após analisarem a literatura identificaram que alguns autores propuseram expressões para quantificar o impacto do

conforto térmico na produtividade. No entanto, devido ao amplo espectro de atividades e sua aplicabilidade, a literatura ainda está longe de chegar a um consenso geral sobre o impacto potencial do conforto/desconforto na produtividade e os modelos propostos podem variar significativamente nos diferentes estudos.

Assim, mesmo as mudanças climáticas aumentando a temperatura do ambiente, a exposição a condições de estresse térmico proveniente do calor a que os trabalhadores estão submetidos em ambientes não climatizados não se encontra caracterizada adequadamente, especialmente em países de baixa e média renda (SHEFFIELD et al., 2013).

As excessivas exposições ao calor no ambiente de trabalho estão apresentando um desafio crescente em termos de lesões ocupacionais e doenças relacionadas ao calor. Embora, em muitas indústrias existam diretrizes de segurança relacionadas ao calor, a extensão em que a exposição ao calor é percebida impactando nos trabalhadores ainda não foi totalmente explorada (LAO et al., 2016).

Levi, Kjellstrom e Baldasseroni (2018) após realizarem uma revisão sistemática da literatura com foco no calor no ambiente de trabalho, identificaram uma lacuna referente ao assunto produtividade, visto que, nesses estudos os efeitos foram medidos como perda de horas de trabalho, mas a diminuição da produção e a qualidade dos produtos não foram até então avaliados.

Por conseguinte, percebe-se que existe assim uma relação entre a saúde, desempenho, bem-estar e ambiente térmico (COSTA, 2015). Logo, faz-se necessário investigar o nível de temperatura a que os trabalhadores estão expostos, uma vez que, a exposição a altos níveis pode desencadear o estresse térmico e doenças relacionadas ao calor, que podem variar desde irritações leves, como erupções cutâneas, ou cólicas, até a exaustão por calor (CHANG; BERNARD; LOGAN, 2017). Assim sendo, o estresse térmico no local de trabalho é um risco para a saúde ocupacional que reduz a produtividade do trabalho (PARSONS, 2014).

Dessa maneira, considerando a importância e as consequências à saúde e ao bem-estar dos trabalhadores quando expostos a ambientes que não apresentam condições térmicas adequadas, um estudo em nível de mestrado já se justificaria.

Além disso, convém destacar que consultando-se as bases de dados *Web of Science* e *Scopus* foi identificado a existência de uma lacuna na literatura relacionada a estudos que investiguem o impacto das condições termoambientais e pessoais no aumento ou redução da produtividade dos trabalhadores.

Portanto, por meio dessa pesquisa, espera-se contribuir para o aumento de informações desse assunto na literatura, informando às empresas e à sociedade, em que

medida as condições termoambientais e pessoais influenciam a produtividade de trabalhadores em ambientes climatizados e não climatizados de uma empresa do setor de logística na Paraíba.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a influência das condições termoambientais e pessoais na produtividade de trabalhadores em uma empresa de logística em João Pessoa, Estado da Paraíba.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar as condições termoambientais e pessoais em um ambiente climatizado e em outro não climatizado, bem como a produtividade dos trabalhadores desses locais;
- Verificar, por meio de um estudo estatístico, quais condições termoambientais e pessoais tem maior impacto na produtividade dos trabalhadores dos dois locais;
- Construir um modelo matemático que relacione as condições termoambientais e pessoais com a produtividade.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

Essa pesquisa está estruturada em 5 capítulos conforme descrição a seguir:

O capítulo 1 é introdutório e faz uma contextualização e delimitação do tema abordado, apresenta a questão problema discutida na pesquisa, como também o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 consta de seis tópicos principais. O primeiro descreve sobre a revisão sistemática utilizada nesta pesquisa. O segundo retrata sobre ergonomia ambiental. O terceiro trata de calor e temperatura, apresenta seus conceitos e os mecanismos de transferência de calor. O quarto tópico aborda a interação térmica entre o ser humano e o ambiente. O quinto tópico apresenta os métodos para avaliação térmica de ambientes moderados e quentes. Por fim, o último tópico, produtividade, discorre sobre os conceitos e a mensuração da produtividade, além da relação entre condições térmicas e produtividade.

O capítulo 3 discorre sobre os procedimentos metodológicos adotados neste estudo. Nele constam os seguintes assuntos: classificação da pesquisa, a população e amostra das unidades analisadas, as variáveis e indicadores, bem como a coleta das variáveis ambientais, pessoais e dos dados referentes à produtividade dos trabalhadores dos ambientes em estudo, determinação do PMV e PPD para a unidade climatizada, já para a unidade não climatizada foi definida a taxa requerida de suor (SW_{req}) e a fração de pele molhada requerida (w_{req}) e por fim, o tratamento e análise dos dados.

O capítulo 4, resultados e discussões, descreve as condições climáticas de João Pessoa; apresenta uma análise das variáveis ambientais, pessoais e da produtividade dos trabalhadores para as duas unidades, o PMV e o PPD para a unidade climatizada, SW_{req} e w_{req} para a unidade não climatizada. Exibe ainda, um estudo de correlação entre a produtividade, as variáveis ambientais, pessoais e os respectivos métodos de avaliação térmica referentes a cada unidade, além de demonstrar a comparação entre a produtividade nas duas unidades estudadas. Por fim, expõe um modelo matemático englobando a produtividade e as variáveis ambientais e pessoais tanto da unidade climatizada como da unidade não climatizada.

No capítulo 5, são apresentadas as considerações finais, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Um ponto importante no desenvolvimento de uma pesquisa científica diz respeito à etapa de revisão da literatura. Nos dias atuais existe um número bastante significativo de bases de dados disponíveis para consulta e os pesquisadores tem sentido a ausência de meios que propiciem a busca de materiais a ser utilizados em um estudo, bem como os critérios a ser adotados na busca desses materiais, proporcionando assim, uma seleção mais adequada destes, direcionada para o tema de pesquisa (GOHR et al., 2013).

Quando se pesquisa um tema é necessário buscar materiais que apresentem uma boa qualidade sobre o assunto em estudo. Neste sentido foi realizada uma revisão da literatura com a finalidade de investigar de maneira focada o conteúdo específico de forma a identificar, selecionar, avaliar, analisar e resumir os pontos relevantes (GALVÃO; PEREIRA, 2014).

Com o objetivo de analisar o cenário das pesquisas sobre o tema desta dissertação e dessa formar identificar possíveis lacunas na literatura que precisavam ser preenchidas, justificando assim, a relevância desse trabalho. A pesquisa foi realizada de Outubro de 2017 a Julho de 2019 nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Todas as informações sobre as palavras-chave, as etapas pesquisadas, os critérios de seleção como também a quantidade de artigos selecionados para cada uma dessas bases está apresentada na sequência nos Quadros (1) e (2).

Quadro 1 - Etapas da Revisão Sistemática na Base *Web of Science*

BASE DE DADOS	ETAPAS DA PESQUISA	TOTAL DE ARTIGOS	OBSERVAÇÕES
WEB OF SCIENCE	Palavras-chave utilizadas nesta base de dados: <i>heat* OR hot* OR thermal confort OR thermal stress OR temperature</i> - TÓPICO <i>AND productivit*</i> - TÓPICO <i>AND work environment OR workplace</i> – TÓPICO Tempo estipulado: (2015-2019)	320	Optou-se por acrescentar um * depois do “t” de <i>heat</i> , <i>hot</i> e <i>productivity</i> , para encontrar formas flexionadas dessas palavras.
	APLICANDO OS FILTROS PARA:	----	----
	1. Tipos de documentos: <i>ARTICLE</i> (239) e <i>REVIEW</i> (26)	265	----
	2. Idiomas: <i>ENGLISH</i> (252) e <i>PORTUGUESE</i> (4)	256	
	3. Categorias da <i>Web of Science</i> : <i>CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY</i> (47); <i>ENVIRONMENTAL SCIENCES</i> (41); <i>PUBLIC ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH</i> (36); <i>ENGINEERING CIVIL</i> (31); <i>ENGINEERING ENVIRONMENTAL</i> (26); <i>ENGINEERING INDUSTRIAL</i> (7); <i>ENGINEERING MANUFACTURING</i> (7); <i>MANAGEMENT</i> (7); <i>MULTIDISCIPLINARY SCIENCES</i> (6); <i>ENVIRONMENTAL STUDIES</i> (4); <i>ERGONOMICS</i> (3); <i>OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE</i> (3); <i>ARCHITECTURE</i> (2); <i>ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY</i> (1); <i>URBAN STUDIES</i> (1).	147	Para verificar se as Categorias da <i>CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY</i> (47) e <i>PUBLIC ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH</i> (36), por terem uma quantidade de artigos significativa, se aplicariam como filtro, foi marcada uma categoria por vez, para analisar os títulos dos trabalhos de cada uma. Após a análise dessas duas categorias, verificou-se que elas deveriam ser incluídas no filtro.

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Notas: (----) sem observação.

Quadro 2 - Etapas da Revisão Sistemática na Base *Scopus*

BASE DE DADOS	ETAPAS DA PESQUISA	TOTAL DE ARTIGOS	OBSERVAÇÕES
Scopus	Palavras-chave utilizadas nesta base de dados: <i>heat* OR hot* OR thermal comfort OR thermal stress OR temperature</i> - ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS <i>AND productivit*</i> - ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS <i>AND work environment OR workplace</i> – ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS Intervalo de tempo: (2015-2019) Tipo de documento: <i>Article or Review</i> Tipo de acesso: <i>ALL</i>	59	Optou-se por acrescentar um * depois do “t” de <i>heat</i> , <i>hot</i> e <i>productivity</i> , para encontrar formas flexionadas dessas palavras.
			A busca foi realizada no ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS, para seguir o padrão já adotado na base <i>WEB OF SCIENCE</i> (uma vez que, se utilizou na pesquisa o termo TÓPICO, que abrange de maneira similar o título, o resumo e as palavras-chave).
	APLICANDO OS FILTROS PARA:	----	----
	1. Idiomas: <i>ENGLISH</i> (54) e <i>PORTUGUESE</i> (1)	55	----
	2. Área de estudo: <i>ENGINEERING</i> (25), <i>ENVIRONMENTAL SCIENCE</i> (16).	32	Vale destacar que, caso seja realizada uma soma da quantidade de artigos que se encontram entre parênteses nos filtros, esse valor não coincide com o valor total que a base fornece, isso acontece porque alguns artigos estão classificados em mais de uma área.

Fonte: Elaboração Própria (2018)

Notas: (----) sem observação.

Os resultados encontrados após a realização da revisão sistemática estão descritos no quadro (3) a seguir:

Quadro 3 - Resultado da Revisão Sistemática realizada na *Web of Science* e *Scopus*

BASE DE DADOS	QUANTIDADE DE ARTIGOS
WEB OF SCIENCE	147
SCOPUS	32
TOTAL DE ARTIGOS NAS DUAS BASES PESQUISADAS	179
ARTIGOS DUPLICADOS Foram detectados e excluídos com auxílio do <i>software Endnote</i> .	18
TOTAL DE ARTIGO APÓS ELIMINAÇÃO DOS DUPLICADOS	161

Fonte: Elaboração Própria (2018)

Destaca-se que, logo depois da eliminação dos artigos duplicados, restaram 161 artigos, estes foram analisados por meio da verificação do título e resumo para identificar quais apresentavam alinhamento com o tema estudado, o que resultou em 32 artigos.

Vale frisar também, que foram utilizados outros artigos além dos encontrados depois da revisão sistemática para desenvolver o referencial teórico desta dissertação.

2.2 ERGONOMIA AMBIENTAL

A Ergonomia Ambiental é a parte da Ergonomia que se dedica a estudar o ambiente físico, uma vez que, este pode contribuir de forma positiva ou negativa no desempenho e consequentemente na produtividade e na execução das tarefas e atividades desempenhadas pelos trabalhadores (MARCHI, 2007).

Assim alguns dos fatores ambientais que precisam ser verificados são o calor, a luminosidade, os ruídos e a ventilação, pois estes quando estão em desequilíbrio podem afetar o sistema fisiológico dos empregados, comprometendo diretamente a qualidade de vida dos mesmos (SILVA, A., 2016).

Para Vasconcelos, Villarouco e Soares (2009) a Ergonomia Ambiental, também conhecida como Ergonomia do Ambiente Construído, preocupa-se com a forma que as pessoas interagem com o ambiente ao seu redor, a partir de aspectos sociais, psicológicos, culturais e organizacionais. Logo, no processo de avaliação de ambientes três grupos de elementos são fundamentais:

- Aspectos técnicos e materiais – referem-se à concepção espacial, ao layout, aos conceitos dimensionais, ao mobiliário, aos materiais de revestimento e ao conforto ambiental;
- Aspectos organizacionais – referem-se aos recursos humanos, normas e procedimentos que condicionem a organização do trabalho;
- Aspectos psicológicos – referem-se à percepção dos usuários, as fronteiras dos espaços, a comunicação humana e a estética.

A ergonomia ambiental analisa o ambiente no qual o trabalhador está inserido, para que dessa forma, seja possível compreender se este ambiente oferece condições adequadas para que ele possa desenvolver suas atividades, de modo a maximizar a eficiência e eficácia no desenvolvimento das mesmas. Por exemplo, têm-se os resultados encontrados por Fernandes e Silva (2016), de uma unidade operacional em que as autoras analisaram as condições térmicas a que estavam submetidos os trabalhadores e constataram o desconforto térmico. Diante desse cenário, as pesquisadoras fizeram propostas para melhorias.

Estudos têm relatado propostas de melhorias em ambientes construídos com ações preventivas, provenientes da ciência ergonômica. A pesquisa realizada em um ambiente de sala de aula por Barros, Cunha e Villarouco (2015), mostra que os níveis de adequação humana recomendados pela legislação brasileira, não correspondem às reais necessidades dos alunos, mostrando que as condições da configuração ambiental é um fator determinante na qualidade de vida e no desempenho do indivíduo.

O estudo realizado por Vasconcelos, Villarouco e Soares (2009) em uma biblioteca universitária evidencia a importância de se analisar a influência do espaço construído, com a finalidade de identificar o nível de satisfação dos usuários, de modo que, sua infraestrutura ofereça aos ocupantes um ambiente fisicamente adequado. Ao fim da pesquisa detectaram insatisfação dos usuários e a partir disso, foram propostas melhorias.

Nesse sentido, a ergonomia do ambiente construído é fundamental para identificar, por meio das normas técnicas, se as condições do ambiente oferecidas são favoráveis aos seus usuários.

2.3 CONCEITOS DE CALOR E TEMPERATURA

2.3.1 Aspectos históricos do calor

O calor sempre foi entendido como algo que gerava uma sensação de aquecimento. Porém, não se imaginava o fato de que sua natureza fosse um dos primeiros conceitos compreendidos pela humanidade (ÇENGEL; GHAJAR, 2012), já que, as ideias mais antigas associadas ao calor eram provenientes das sensações de quente e frio (ARAÚJO, Angélica, 2014).

Uma das primeiras e mais admiradas conquistas do ser humano foi o conhecimento do fogo, sendo visto como fenômeno de manifestação do calor. Existem evidências de sua utilização desde o período do Homem de Neandertal, cerca de 300.000 anos atrás (GOMES, L., 2012). Dessa forma, percebeu-se a importância em se procurar saber: o que é calor? Ao longo da história o conceito assumiu significados diferentes (ARAÚJO, Angélica, 2014).

Diversos cientistas se dedicaram ao estudo do calor. Galeno (129-200) famoso médico, acreditava que no corpo humano existia uma *mescla* mistura de calor e frio, e que isso definia, dentre outras coisas, o estado de saúde em que se encontrava o paciente (ARAÚJO, Artur, 2015).

Kepler (1571-1630) acreditava que o calor era um estado de movimento das partes dos corpos e Galileu (1564-1642) por sua vez, via-o como um tipo de fluido, havendo o quente, o frio, o úmido e o seco, de maneira semelhante às concepções de Aristóteles. Uma concepção efetivamente nova, desde os escritos de Platão, foi apresentada por Francis Bacon (1561-1626) no seu *De Interpretatione Naturali*, de 1665, onde o calor não é mostrado como um movimento de expansão, mas sim, como um movimento vibratório das partículas de um determinado corpo (RAFAEL, 2007).

A análise das ideias de Bacon e de Kepler pode desencadear uma dúvida de que na concepção do último, já existia a ideia de calor-movimento, o que tornaria inválido a afirmação de que a concepção de Bacon foi inovadora. No entanto, cabe ressaltar que para Kepler o calor era um efeito resultante de uma propriedade da luz e que a luz tinha um aspecto material. Faz-se necessário, destacar ainda, que Kepler propôs essa ideia após Bacon (RAFAEL, 2007).

Apareceu assim, a ideia de termometria que seria uma tentativa para medir o grau de calor. Contudo, fazia-se necessário saber o que de fato era calor. Logo, vários

cientistas dos séculos XVI e XVII estavam buscando responder essa questão. Surgiram então duas concepções principais, sendo que a primeira afirmava que o calor ocorria devido às vibrações de partes de uma substância; a segunda por sua vez, expressava que o calor era um fluido “imponderável”, apesar de Pierre Gassendi apontar que esse fluido continha partículas frias e quentes, cuja presença desencadeava o que se chamava de frio e calor (RAFAEL, 2007).

Constata-se que a teoria do calórico, proposta pelo químico Antoine Lavoisier (1743-1794) em 1789 reconhecia o calor como um tipo de substância equivalente ao fluido denominado calórico, que era sem massa, incolor, inodoro, insípido e capaz de fluir de um determinado corpo para outro. Nessa conformidade, quando se adicionava o calórico a um corpo, sua temperatura aumentava, e quando ele era retirado, sua temperatura diminuía (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

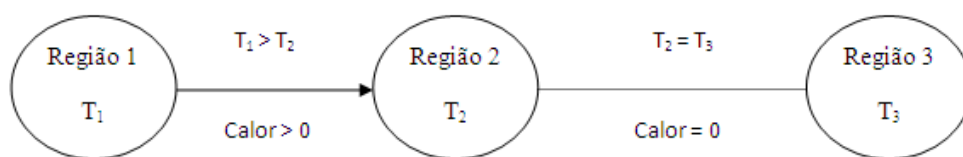
Entretanto, foi apenas no século XIX que foi desenvolvida uma teoria mais sólida relacionada à natureza do calor, que teve início com as ideias do Conde Rumford. Que acreditava em uma teoria vibratória para explicar o calor. Depois da pesquisa de Rumford, foi Sadi Carnot quem realizou uma análise profunda em máquinas que produziam força mecânica por meio do calor, focando principalmente na energia mecânica e no calor que era perdido por um motor a vapor (RAFAEL, 2007).

Em seguida, tem-se a experiência de James Joule (1818-1889) realizada no século XIX, que demonstrou a equivalência entre energia mecânica e calor. A experiência ocorreu da seguinte forma: em um calorímetro cheio de água, foi inserido um conjunto de palhetas presas em um eixo. Sendo este, colocado em rotação proveniente da queda de um par de pesos. O atrito das palhetas aqueceu a água de modo que, a variação da temperatura correspondente a um determinado número de calorias foi medida por um termômetro. Por sua vez, o trabalho mecânico equivalente foi medido pela altura da queda dos pesos (GREGIO, 2016).

Os trabalhos realizados por William Thomson - Lorde Kelvin (1824-1907) e Rudolf Clausius (1822-1888) por sua vez, tornaram claro que o calor não era nenhum fluido sem peso, e sim, uma forma de transferência de energia. Assim, como também acontecia com o trabalho mecânico. Tornou-se evidente, que nenhuma forma de energia podia ser destruída, mas ser convertida em outra. Dessa constatação se obteve o princípio que se tornaria chamado de princípio de conservação da energia, que já havia sido formulado pelo físico Hermann Von Helmholtz, em 1847, mas ao qual Kelvin e Clausius conseguiram atribuir um significado mais profundo (RAFAEL, 2007).

Atualmente o calor é definido como energia em trânsito proveniente de uma diferença de temperatura entre duas regiões de um mesmo corpo ou entre corpos diferentes (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Ocorre em fluxos perpendiculares às respectivas superfícies, deslocando-se das regiões de maior temperatura para os de menor temperatura. As unidades mais utilizadas são o Joule (J), a quilocaloria (kcal) e a *british thermal unit* (btu) (COUTINHO, 2005), embora a última esteja sendo extinta gradativamente. A figura a seguir representa essa definição:

Figura 1 - Definição de calor



Fonte: Adaptado de Coutinho (2005)

2.3.2 Temperatura

A temperatura é proporcional à vibração das moléculas de um sistema. Assim, quanto maior for a oscilação das moléculas mais alta é a temperatura. Em vista disso, a temperatura absoluta tem como referência a ausência de movimento das moléculas. Essa situação corresponde ao valor 0 (zero) na escala denominada de escala absoluta cuja unidade é o Kelvin (K). As moléculas deixam de vibrar a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em consequência, tem-se a relação (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

onde,

$T(^{\circ}\text{C})$ = temperatura na escala Celsius;

$T(\text{K})$ = a mesma temperatura na escala Kelvin.

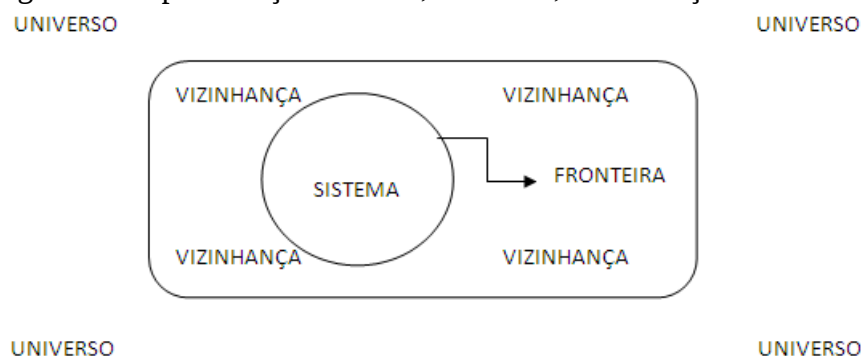
2.3.3 Sistema, fronteira, vizinhança e universo

Gregio (2016) afirma que sistema consiste em uma parte do universo que está sendo estudada. Santos (2013) conceitua sistema como sendo um corpo, uma região ou ainda um conjunto de partículas que será objeto de estudo. De modo semelhante,

Anacleto (2007) define o sistema como a região que se localiza dentro da fronteira e sobre a qual será realizado o estudo. Desta forma, a fronteira é responsável por delimitar o sistema, podendo ser uma superfície concreta ou abstrata, fixa ou móvel (GREGIO, 2016), fechada, real ou imaginária (ANACLETO, 2007; SANTOS, 2013). Representando, portanto uma região limitada do espaço (ou de uma porção de matéria) (ANACLETO, 2007), que desassocia o sistema da vizinhança (SANTOS, 2013).

Tudo que estiver fora do sistema corresponde à vizinhança (ANACLETO, 2007; GREGIO, 2016). De maneira que, pode ser considerada outro sistema (ANACLETO, 2007). Tem-se, além disso, que o conjunto formado pelo sistema e o exterior é chamado de universo. Faz-se necessário destacar que, um sistema pode ser dividido em subsistemas (ANACLETO, 2007). A Figura (2) representa todos esses elementos.

Figura 2 - Representação Sistema, Fronteira, Vizinhança e Universo



Fonte: Adaptado de Anacleto (2004) *apud* Anacleto (2007).

Este trabalho considera o corpo humano como um sistema interagindo com o ambiente por meio da fronteira constituída pelo conjunto pele-vestimentas, por meio do qual são calculadas as taxas de transferência de calor.

2.3.4 Mecanismos de transferência de calor

Como foi dito, sempre que houver uma diferença de temperaturas de um mesmo sistema, ou ainda entre sistemas, haverá, necessariamente, a transferência de calor (INCROPERA et al., 2008). São três os processos de transferência de calor: Condução, Convecção e Radiação (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; INCROPERA et al., 2008; ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Há ainda outro processo: a evaporação, que é um processo de transferência de calor e massa, imprescindível para a saúde da pessoa, pois é a maior proteção contra o excesso de calor no corpo humano (COUTINHO, 2005).

2.3.4.1 Condução

A condução de calor é definida como a transferência de energia das partículas que apresentam maior nível energético para as de menor nível energético de uma determinada substância proveniente das interações que ocorrem entre as partículas (INCROPERA et al., 2008; ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Acontece principalmente nos corpos sólidos (ANACLETO, 2007; COUTINHO, 2005), mas pode ocorrer também em líquidos e gases parados, em camadas muito finas (ANACLETO, 2007; SANTOS, 2013; SILVA, P., 2006; ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

2.3.4.2 Convecção

O mecanismo de transferência de calor por convecção acontece quando um fluido entra em contato com um corpo sólido que apresenta temperatura diferente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). Existem dois tipos de convecção: a natural e a forçada. Chama-se de convecção forçada, quando o escoamento é originado por meios externos, como um ventilador, uma bomba, o vento. Já a convecção livre (ou natural) é aquela em que o escoamento do fluido é ocasionado por forças de empuxo, oriundas das diferentes densidades que foram provocadas por variação de temperatura no fluido. Podendo existir ainda, a combinação entre estas, a chamada de convecção forçada e natural (INCROPERA et al. , 2008).

2.3.4.3 Radiação

Radiação térmica é energia emitida por superfícies separadas pelo vácuo, pelo ar ou por outros gases, por meio de ondas eletromagnéticas. Essas ondas são provenientes de modificações nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Todo objeto que apresenta temperatura acima de 0 K (-273,15 °C), está emitindo radiação térmica (COUTINHO, 2005; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Além disso, uma superfície com a emissão máxima de 1, 0 é uma superfície ideal e não existe na natureza, definida como corpo negro

(COUTINHO, 2005; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Na natureza os corpos, evidentemente, emitem menos radiação que o corpo negro. A propriedade que distingue a diferença entre um corpo negro e um corpo real é a emissividade, que depende, entre outros fatores, da cor e do acabamento superficial. Seus valores são maiores que zero e menor que um.

2.3.4.4 Evaporação

A evaporação é um processo de transferência de calor e massa que ocorre entre uma superfície saturada de água e o ar não saturado que a envolve. A água evapora devido ao calor cedido pela superfície que, dessa maneira fica mais fria. Esse processo ocorre quando a pessoa está suada, de modo que, o suor evapora devido ao calor cedido pelo corpo e, assim, não se superaquece (COUTINHO, 2005).

2.4 INTERAÇÃO TÉRMICA ENTRE O SER HUMANO E O AMBIENTE

2.4.1 Trocas de calor entre o ser humano e o ambiente

O corpo humano apresenta-se como um sistema termodinâmico que produz calor, relacionando-se termicamente com o meio que o rodeia (RUAS, 1999). As trocas de energia sob forma de calor que ocorrem entre o ser humano e o ambiente realizam-se pelos mecanismos de condução, convecção, radiação e evaporação (COSTA, 2015; GOMES, A., 2005; RODRIGUES, 2007).

Classificam-se os mecanismos de trocas térmicas em: trocas secas, sendo estas, a condução, a convecção e a radiação e as trocas úmidas, a evaporação (CAMARGO; FURLAN, 2011; FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et al., 2016b). O calor trocado com o meio ambiente por meio das trocas secas é chamado de calor sensível, e apresenta-se em função das diferenças existentes de temperatura entre o corpo humano e o ambiente. Por sua vez, o calor perdido por meio das trocas úmidas é chamado de calor latente e compreende mudança de fase, onde o suor, líquido, passa para o estado gasoso por meio da evaporação (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et al., 2016b).

Quando a temperatura da pele apresentar-se maior que a do meio, existirá perda de calor por condução, convecção e radiação. Porém, quando a temperatura do meio for maior que a da pele, o corpo irá ganhar calor pelos processos de convecção e radiação (GUYTON; HALL, 2006).

Aplicando-se o conceito de condução para o processo responsável por regular a temperatura fisiológica em ambientes considerados quentes, observa-se que, a energia em forma de calor será conduzida do interior do corpo humano até a sua superfície, ou seja, até a pele, por meio dos tecidos adjacentes, sendo em seguida transferida para as vestimentas e destas para o ar, que se encontra em contato direto com a superfície do corpo (RODRIGUES, 2007).

Ainda segundo o mesmo autor, caso a superfície em contato direto com a superfície do corpo se encontre com uma temperatura maior que a da pele, a transferência de calor acontecerá de maneira inversa, não proporcionando deste modo a perda de calor e conseqüentemente diminuição da temperatura do núcleo, mais possibilitando condições de estresse térmico.

De acordo com Frota e Schiffer (2001) ao considerar um indivíduo vestido e calçado, o calor que será dissipado por meio do mecanismo de condução será pequeno. Na pessoa, o fluxo de calor por condução passa pelas vestes e daí para o ambiente por meio dos processos de convecção e radiação. As vestes também afetam a perda de calor por evaporação na pele. Como será visto mais adiante, um fator de vestimenta das vestes é aplicado aos referidos mecanismos de transmissão de calor.

De acordo com Ruas (1999) caso a temperatura do ar seja precisamente igual à temperatura da superfície do corpo, não existirá troca térmica pelo processo de convecção. Frota e Schiffer (2001) afirmam que, as trocas de calor por meio da convecção dependem da diferença entre as temperaturas do ar e do sistema corpo-vestimenta e ainda da velocidade do ar que se encontra em contato com o sistema.

Percebe-se que uma pessoa em um determinado ambiente cujas temperaturas das paredes encontram-se inferiores à da pele, irá perder calor por radiação. Caso contrário, se as paredes estiverem com temperatura superior à da pele, o corpo ganhará calor, aumentando sua temperatura por radiação (RUAS, 1999).

A evaporação por sua vez, é a troca térmica úmida em que existe uma mudança do estado líquido (suor) para o estado gasoso. De maneira que, para que o suor seja evaporado, é necessário certo gasto de energia. Por exemplo, para evaporar um litro de água faz-se necessário cerca de 700 J (FROTA; SCHIFFER, 2001). De acordo com

IIDA (2005) a quantidade de calor que é eliminado pelo processo de evaporação depende essencialmente de dois fatores, sendo estes, a umidade relativa e a velocidade do ar no ambiente em questão.

A evaporação é responsável por facilitar a perda de energia, em torno de 20 % para uma situação de atividade leve e 80 % para uma atividade pesada. Por conseguinte, a energia necessária para realizar a mudança do suor do estado líquido para o gasoso, é transferida da superfície da pele para o ar, contribuindo assim, para resfriamento do corpo (RODRIGUES, 2007).

Por fim, Costa (2015) afirma que a principal defesa do organismo para combater o aquecimento excessivo do corpo quando submetido a altas temperaturas é a evaporação. Já Andreasi (2009) e Guyton e Hall (2006) enfatizam que a evaporação proporciona apenas perda de calor; nunca ganho. Os demais representam perdas ou ganhos.

A representação matemática desses processos de transferência de calor serão apresentadas na aplicação do balanço térmico.

2.4.2 Variáveis de interação térmica da pessoa com o ambiente

As variáveis térmicas do ambiente laboral intervêm no organismo dos funcionários, podendo influenciar diretamente ou indiretamente o bem-estar e a saúde destes, e conseqüentemente, na execução das atividades que lhe são designadas (GOMES, N., 2015).

Destaca-se que o corpo humano e o ambiente térmico relacionam-se de maneira dinâmica, dependendo especialmente das variáveis climáticas: temperatura do ar (t_a), temperatura média radiante (t_{rm}), velocidade do ar (V_a), umidade relativa (UR). Além dessas variáveis tem duas variáveis individuais ou pessoais, a resistência térmica da vestimenta (I_{cl}) e o nível de calor metabólico produzido em uma determinada atividade (M) (HAVENITH; HOLMÉR; PARSONS, 2002).

As variáveis ambientais são aquelas voltadas às condições termoclimáticas do ambiente em análise, sendo definidas conforme as diretrizes da ISO 7726 (1998), enquanto que as variáveis pessoais são aquelas relacionadas aos indivíduos no momento da avaliação do ambiente (XAVIER, 2000). Agora serão descritas cada uma das variáveis envolvidos na interação térmica entre a pessoa e o ambiente, começando pelas variáveis ambientais e, posteriormente, pelas variáveis pessoais.

2.4.2.1 Variáveis Ambientais

a) Temperatura do ar ou temperatura de bulbo seco (t_a), expressa em (°C)

É a temperatura do ar em volta do corpo humano (ISO 7726, 1998). Sendo levada em consideração nas pesquisas de interação térmica para determinar as trocas de calor por meio dos mecanismos de convecção e, implicitamente por evaporação entre o ser humano e o ar do ambiente. Ela pode ser medida por meio dos seguintes instrumentos: sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de resistência variável ou termopares (XAVIER, 2000).

b) Temperatura de bulbo úmido (t_u), expressa em (°C)

É a temperatura do ar que é medida por meio de um termômetro igual ao de bulbo seco, porém tendo o bulbo envolvido por uma mecha de algodão branco umedecido com água destilada. Os dois termômetros compõem o instrumento conhecido como psicrômetro. Nos medidores eletrônicos, os sensores são envolvidos da mesma maneira (ISO 7726, 1998). Essas duas temperaturas permitem a determinação das demais propriedades psicrométricas do ar, inclusive a pressão parcial de vapor de água do ar, necessária no cálculo da evaporação.

c) Temperatura média radiante (t_{rm}), expressa em (°C)

É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário em que a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme (ISO 7726, 1998; XAVIER, 2000). Utiliza-se para medir essa variável, os seguintes instrumentos: termômetro de globo negro, radiômetro de duas esferas e sensor de temperatura do ar constante, que pode ser esférico ou elipsoidal (ISO 7726, 1998). Conforme as diretrizes da norma ISO 7726 (1998) a temperatura média radiante é dada pelas equações:

➤ Para Convecção Natural:

$$t_{rm} = [(t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 |t_g - t|^{0,25} \times (t_g - t_a)]^{0,25} - 273 \quad (2)$$

➤ Para Convecção Forçada:

$$t_{rm} = [(t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V_a^{0,6} \times (t_g - t_a)]^{0,25} - 273 \quad (3)$$

onde,

t_g = temperatura de globo;

V_a = velocidade do ar;

t_a = temperatura do ar ou temperatura de bulbo seco.

Estas equações utilizam o globo padrão, caracterizado pelo diâmetro de 0,15 metros e emissividade igual a 0,95 (ISO 7726, 1998).

d) Umidade Relativa do ar (UR), expressa em (%)

Também denominada de nível de saturação fornece a quantidade de vapor d'água no ar, em relação a uma quantidade máxima que este pode conter em iguais temperatura e pressão (ISO 7726, 1998). O instrumento frequentemente utilizado para medir a umidade é o psicrômetro. Este instrumento permite que a umidade relativa do ar seja determinada a partir das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido. Plotadas numa carta psicrométrica conforme a norma (ISO 7726, 1998).

e) Velocidade do ar (V_a), expressa em (m/s)

É uma variável definida por sua magnitude e direção. Em ambientes térmicos a velocidade absoluta do ar pode ser considerada como a magnitude do vetor de velocidade do fluxo no ponto de medição considerado. O equipamento utilizado para medir essa variável é o anemômetro, podendo ainda ser agrupado em duas categorias de acordo com a sua utilização levando-se em conta a direção do fluxo, tendo assim (ISO 7726, 1998):

- Os anemômetros unidirecionais, utilizados quando o fluxo de ar é unidirecional: Anemômetro de copo ou pás e o de fio quente;
- Os anemômetros omnidirecional, utilizados quando a direção do fluxo de ar é indiferente: Anemômetro pulsante quente, o de esfera aquecida e termistor, o ultrassônico e o a laser.

2.4.2.2 Variáveis Pessoais

a) Taxa metabólica (M), expressa em (W/m^2) ou (met)

O ser humano inspira oxigênio e ingere alimentos. Os quais desencadeiam uma reação química com liberação de energia para atender à demanda do esforço muscular na realização de uma atividade. Essa reação é conhecida como metabolismo (COUTINHO, 2005).

Para Frota e Schiffer (2001) o metabolismo é o processo de geração de energia interna originada de elementos combustíveis orgânicos, de modo que, a energia térmica gerada pelo organismo humano resulta de reações químicas internas, em que a essencial é a combinação do carbono, inserido no organismo por meio dos alimentos, como o oxigênio extraído do ar por meio da respiração.

Segundo Lamberts et al. (2016a) a condição, funcionamento do corpo humano, é essencial para que se esteja habilitado a realizar determinadas atividades, que podem ser subdivididas em dois tipos:

- Atividades basais internas, que correspondem aquelas que acontecem de maneira independente da nossa vontade, sendo suficientes para que os órgãos do corpo humano funcionem de maneira satisfatória;
- Atividades externas, que correspondem às atividades realizadas de maneira consciente por meio do trabalho ou ainda da atividade que é executada.

Para conseguir desempenhar qualquer uma das atividades mencionadas anteriormente, o organismo humano necessita de calor, originado do metabolismo proveniente dos alimentos ingeridos, podendo ser subdividido em dois tipos: o basal, que é a taxa de calor necessária para realizar as atividades internas e, o metabolismo para a realização das atividades externas (LAMBERTS et al., 2016a). Dul e Weerdmeester (2004) afirmam que mesmo em completo repouso, o organismo emprega energia para conservar suas funções vitais, sendo definida como metabolismo basal e tendo os valores de 44 W/m^2 e 41 W/m^2 para o homem e para a mulher, respectivamente (COUTINHO, 2005).

Portanto, no processo metabólico o ser humano produz a energia interna por meio da transformação dos alimentos. Sendo que, esta energia é utilizada na manutenção das funções fisiológicas vitais, na prática das atividades musculares e o restante é dissipado em forma de calor. Destaca-se que, a produção de calor é contínua, aumentando à medida em que se realiza um esforço físico (RUAS, 1999).

A energia que o organismo produz deve possibilitar que a pessoa mantenha-se viva (metabolismo basal) e execute suas atividades (metabolismo adicional). A soma desses dois metabolismos constitui a taxa metabólica (XAVIER, 2000). Essa taxa é um importante determinante de conforto ou da tensão proveniente da exposição a um ambiente térmico determinado (ISO 8996, 2004). Sendo expressa em W/m^2 e em met. De forma que, 1 met é igual a $58,15 \approx 58,2 \text{ W/m}^2$ (ISO 7730, 2005).

A taxa metabólica depende da atividade desenvolvida pela pessoa (ISO 8996, 2004). Para facilitar os cálculos as normas ISO 8996 (2004), 7730 (2005) e NR-15 fornecem tabelas para as diversas atividades. Considerando a ISO 8996 (2004) as estimativas, tabelas e demais dados incluídos nela aplicam-se para pessoas médias, constituindo um padrão, apresentado na tabela a seguir:

Tabela 1 - Características da pessoa padrão utilizada na ISO 8996 (2004)

PESSOA PADRÃO	IDADE (anos)	PESO (kg)	ALTURA (m²)	ÁREA DE SUPERFÍCIE CORPORAL (m²)
HOMEM	30	70	1,7	1,8
MULHER	30	60	1,6	1,6

Fonte: ISO 8996 (2004)

A norma ISO 8996 (2004) recomenda a determinação da taxa metabólica por meio dos quatro níveis que seguem:

O nível 1, Rastreio, conta com dois métodos que são de utilização fácil, caracterizando de maneira rápida a carga média de trabalho em duas situações: para uma ocupação e para uma atividade. Têm-se assim: Método 1A – a taxa metabólica é classificada segundo a ocupação e o Método 1B – a taxa metabólica é classificada segundo o tipo de atividade.

Nível 2, Observação, conta também com dois métodos que necessitam de um bom conhecimento sobre as condições de trabalho, para que se possa caracterizar uma situação de trabalho em um certo período de tempo, mas não necessariamente um treinamento em ergonomia. São eles:

Método 2A, a estimativa da taxa metabólica pelos requisitos da tarefa pode ser estimada de acordo com, o segmento corporal envolvido no trabalho: ambas as mãos, um braço, dois braços, o corpo inteiro; a carga de trabalho (tipo de trabalho) para esse segmento corporal: leve, médio, pesado, conforme julgado pelo observador; a postura do corpo: sentado, ajoelhado, agachado, em pé, em pé parado; e o movimento corporal relacionado com a velocidade do trabalho.

Em vista disso, a taxa metabólica neste método é determinada adicionando-se a taxa metabólica de referência, a taxa metabólica de acordo com a postura do corpo, a taxa metabólica para o tipo de trabalho e a taxa metabólica de movimento corporal relacionado com a velocidade do trabalho, utilizando para isso as tabelas de avaliação de grupo do anexo B.

Método 2B, a taxa metabólica pode ser estimada para atividades específicas, obtida por meio de valores que constam na tabela localizada no anexo B daquela norma, sendo que, esses valores são baseados em medições que foram feitas em muitos laboratórios diferentes.

Destaca-se um procedimento que utiliza esses dois métodos acima, onde se registra todas as atividades com o tempo por ciclo de trabalho, calculando a taxa metabólica média ponderada no tempo. Nele reúne-se os conceitos dos dois métodos do nível 2, a taxa metabólica estimativa pelos requisitos da tarefa e para atividade específicas, sendo utilizado quando for necessário determinar a taxa metabólica geral para um ciclo de trabalho, que compreenda diferentes atividades executadas em determinados períodos de tempo, sendo então calculada a taxa metabólica para um ciclo de trabalho.

Logo, é preciso que seja realizado um estudo de tempos e movimentos que conste com uma descrição detalhada do trabalho. Para classificar cada atividade e levar em conta fatores como, a duração de realização de cada atividade, as distâncias percorridas durante a realização das atividades, as alturas escaladas, os pesos que são manipulados, o número de ações realizadas, entre outras coisas. Assim, a taxa metabólica média ponderada para um ciclo de trabalho em certo período de tempo é dada pela taxa metabólica de cada atividade e o seu período respectivo, podendo ser representada pela seguinte fórmula:

$$M = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i \cdot t_i \quad (4)$$

onde,

M = taxa metabólica média para o ciclo de trabalho, em watts por metro quadrado;

M_i = taxa metabólica da atividade i , em watts por metro quadrado;

t_i = duração da atividade i , em minutos;

T = soma das durações parciais t_i , isto é, a duração do ciclo de trabalho considerado, em minutos.

Nível 3, Análise, é voltado para pessoas treinadas em saúde ocupacional e ergonomia do ambiente térmico. A taxa metabólica é obtida por meio do registro da frequência cardíaca dos trabalhadores durante um período de tempo representativo.

Nível 4, Especialização, conta com três métodos, que necessitam de medições bem específicas realizadas por especialistas:

Método 4A, aqui o consumo de oxigênio dos trabalhadores é medido em períodos curtos de tempo, em torno de 10 a 20 minutos;

Método 4B, denominado de água duplamente marcada utilizado para definir a taxa metabólica média durante períodos de tempo bem longos, em torno de 1 a 2 semanas. O princípio desse método é medir o gasto energético dos indivíduos, utilizando o volume de bicarbonato de sódio, ou melhor, a taxa de dióxido de carbono presente na urina deles, uma vez que, esta taxa pode ser convertida em gasto energético usando cálculos de calorimetria indireta clássica. Para que isso aconteça, os envolvidos devem ingerir água marcada com isótopos de oxigênio e deutério.

Método 4C, chamado de método de calorimetria direta, mede o gasto energético necessário para dissipar calor do organismo para o ambiente. Este calor é liberado por meio de condução, convecção, radiação e evaporação. Geralmente uma medida de todo o corpo realizada dentro dos limites de uma câmara.

Nesta pesquisa foi adotado o cálculo da taxa metabólica para as duas unidades em estudo de acordo com o nível 1, Rastreo, mais especificamente o Método 1B, consultando para isso a Tabela A.2 presente no Anexo A da ISO 8996 (2004).

b) Isolamento térmico das vestimentas (I_{cl}), expresso em ($m^2.K/W$) ou (clo)

A vestimenta utilizada pelas pessoas forma uma camada de isolamento entre o corpo humano e o meio ambiente (GRANDI, 2006). Gomes, N. (2015) afirma de maneira similar que a vestimenta é uma barreira que impossibilita ou retarda a troca de calor entre a superfície da pele do corpo humano e o ambiente circundante.

Conforme Fanger (1970) o isolamento térmico da vestimenta é uma propriedade que expressa a resistência que a mesma apresenta em relação às trocas de calor entre o ser humano e o ambiente. Lamberts et al. (2016b) consideram que a vestimenta configura a resistência intercalada entre o corpo e o meio. Já Gomes, N. (2015) declara que o vestuário assegura uma camada protetora que torna difícil as trocas de calor por meio dos mecanismos de convecção e radiação. Frota e Schiffer (2001) afirmam que a vestimenta mantém uma camada, mesmo que mínima, de ar parado, complicando as trocas de calor por meio da convecção e radiação.

No clima seco, as vestimentas apropriadas auxiliam na manutenção da umidade proveniente do corpo humano devido à transpiração, evitando a desidratação (FROTA; SCHIFFER, 2001; GOMES, N., 2015; LAMBERTS et al., 2016b).

Faz-se necessário observar que a resistência térmica das vestimentas depende de alguns fatores, como: o tipo de tecido, a composição da fibra do mesmo, ajuste ao corpo, sendo mensurada por meio das trocas secas, já citadas nesse trabalho, relacionadas a quem as utiliza (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et al., 2016b).

O isolamento térmico da vestimenta, I_{cl} , pode ser determinado de maneira direta, consultando os valores para conjuntos específicos de roupas, ou ainda de maneira indireta, por meio da soma dos valores do isolamento para peças de roupas individuais, usando para isso a seguinte equação (ISO 7730, 2005; ISO 7933, 1989; ISO 9920, 2007):

$$I_{cl} = \sum I_{clu} \quad (5)$$

onde,

I_{clu} = isolamento térmico de cada peça de roupa, ($m^2.K/W$) ou clo.

Por fim, o isolamento térmico da vestimenta é expresso em $m^2.K/W$ ou clo, porém normalmente utiliza-se mais a unidade clo (ISO 9920, 2007), tendo esta unidade sido originada da palavra em inglês *clothes*, que significa roupas, vestimentas, vestuários (LAMBERTS et al., 2016b). Um clo corresponde a $0,155 m^2.^{\circ}C/W$ (FROTA; SCHIFFER, 2001; ISO 7730, 2005; LAMBERTS et al., 2016b) ou ainda $0,155 m^2.K/W$ (ISO 9920, 2007).

Neste estudo foi calculado o isolamento térmico da vestimenta, I_{cl} , utilizando a equação (5) mencionada anteriormente (ISO 7730, 2005).

2.4.3 Balanço térmico

Balanço térmico é a aferição das perdas e ganhos existentes nas trocas de calor entre o ser humano e o ambiente. A troca recíproca de calor entre estes depende de alguns fatores básicos, sendo (SOUSA, 2013):

- Variação de temperatura entre eles;

- Nível das atividades realizadas pelas pessoas. Já que, a geração de calor no interior do corpo, por meio do metabolismo, é dependente da atividade que a pessoa está realizando;
- A interface ser humano e ambiente. A troca de calor é facilitada ou não, dependendo se as barreiras interpostas entre o ser humano e o ambiente apresentaram baixo, ou alto isolamento térmico, de modo a facilitar ou dificultar essa transferência;
- Ambiente. Observar o nível de temperatura que se encontra o meio que circunda o ser humano, para o qual se determina o balanço térmico.

Segundo Lamberts et al. (2016a) e Xavier (2000) a produção de calor pelo corpo ocorre por meio do metabolismo e as perdas de calor acontecem por meio da respiração e da pele. Coutinho (2005) por sua vez, afirma que as transferências de calor ocorrem na pele, por meio da Convecção (C); Radiação (R); Difusão (E_{dif}); Evaporação Sudoral (E_s) e por respiração, através da Convecção (C_{res}); Evaporação (E_{res}).

De maneira similar, Andreasi (2009) afirma que a dissipação do calor pode processar-se por mecanismos de trocas térmicas, isto é, por meio da pele pela perda de calor sensível por convecção (C) e radiação (R) e, pela perda de calor latente por evaporação do suor (E_s) e por dissipação da umidade presente na pele (E_{dif}); e por respiração pela perda de calor sensível por convecção (C_{res}) e pela perda de calor latente por evaporação (E_{res}).

As perdas de calor sensível e latente pela pele e pela respiração são retratadas em termos de fatores ambientais. Assim, as expressões consideram também a resistência térmica e a permeabilidade das vestimentas. Tanto as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e a umidade relativa), como as variáveis pessoais (atividade realizada pelo trabalhador e a vestimenta utilizada por este), são incorporadas ao modelo de balanço térmico (LAMBERTS et al., 2016a).

Logo, o balanço térmico entre o homem e o meio ambiente envolve as seguintes variáveis (FANGER, 1970; ISO 7933, 1989):

a) Variáveis ambientais típicas, que são mensuradas de acordo com a ISO 7726:

Temperatura do ar, t_a , ($^{\circ}\text{C}$);

Temperatura média radiante, t_{rm} , ($^{\circ}\text{C}$);

Pressão parcial do vapor de água, P_v , (kPa);

Velocidade do ar, V_a , (m/s).

b) Variáveis pessoais dos indivíduos expostos a situações de trabalho:

Calor metabólico produzido, M , (W/m^2);

Resistência térmica das vestimentas, I_{cl} , ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

O balanço térmico é conquistado quando todo o calor produzido pelo corpo por meio do metabolismo é dissipado para o ambiente (CARVALHAIS, 2011; DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010). Porém, quando o ser humano não se encontra satisfeito com o ambiente térmico que o rodeia, essa situação pode ser proveniente da sensação de desconforto ocasionada pelo calor ou ainda pelo frio, quando o balanço térmico não está estável, ou seja, quando a quantidade de calor produzido pelo corpo e a quantidade de calor perdido para ambiente são diferentes (LAMBERTS et al., 2016b). Observa-se que a expressão das sensações de conforto térmico considerando todas as variáveis envolvidas no balanço térmico foi determinada pela primeira vez por Fanger (1970) e serviu de base para as diretrizes da ISO 7933 (1989). Ele partiu do balanço apresentado a seguir:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad (6)$$

onde,

M = Taxa de produção de calor metabólico, determinada em função da atividade desenvolvida, (W/m^2);

W = Trabalho mecânico, considerado nulo na maioria das situações industriais, (W/m^2);

C_{res} = Fluxo de calor por convecção respiratória, (W/m^2);

E_{res} = Fluxo de calor por evaporação respiratória, (W/m^2);

K = Fluxo de calor por condução, (W/m^2);

C = Fluxo de calor por convecção na superfície da pele, (W/m^2);

R = Fluxo de calor por radiação na superfície da pele, (W/m^2);

E = Fluxo de calor por evaporação na superfície da pele, (W/m^2);

S = Calor armazenado no organismo, (W/m^2).

O primeiro membro representa o ganho de calor pelo corpo e o segundo membro representa a soma algébrica das perdas de calor pelo aparelho respiratório e pela pele, sendo cada variável descrita a seguir:

1. Taxa metabólica (M)

A determinação desta variável é descrita no tópico 2.4.2.2.

2. Trabalho (W)

Taxa de energia mecânica que é empregada para executar um esforço externo, podendo ser conseguido baseado na eficiência térmica (COUTINHO, 2005):

$$W = \eta \cdot M \quad (7)$$

onde,

η = eficiência mecânica, adimensional.

Em boa parte das atividades, a eficiência é nula ou de valor muito baixo, raramente chegando a 0,2 (COUTINHO, 2005).

3. Convecção Respiratória (C_{res})

Esse mecanismo é estabelecido pela equação a seguir:

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (t_{ex} - t_a) \quad (8)$$

onde,

M = taxa metabólica, (W/m²);

t_{ex} = temperatura do ar expirado, (°C);

t_a = temperatura do ar ambiente (inspirado), (°C).

4. Evaporação Respiratória (E_{res})

Esse mecanismo é estabelecido pela equação a seguir:

$$E_{res} = 0,0173 \cdot M \cdot (P_{vsp} - P_v) \quad (9)$$

onde,

M = taxa metabólica, (W/m²);

P_{vsp} = pressão de vapor saturado à temperatura da pele, (kPa);

P_v = pressão parcial do vapor de água contido no ar, (kPa).

5. Convecção na Pele (C)

A transferência de calor por meio da convecção na pele é demonstrada pela equação a seguir:

$$C = h_c \cdot F_s \cdot (t_p - t_a) \quad (10)$$

onde,

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção, (W/m².K);

F_s = fator de redução para trocas de calor sensível, devido ao uso de roupas, (adimensional);

t_p = temperatura média da pele, (°C);

O coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser estimado da seguinte forma:

➤ Na Convecção Natural: $h_c = 2,38 \cdot |t_p - t_a|^{0,25}$ (11)

➤ Na Convecção Forçada: $h_c = 3,5 + 5,2v_{ar}$ - para $v_{ar} < 1,0$ m/s (12)

$h_c = 8,7 (V_{ar})^{0,6}$ - para $v_{ar} \geq 1,0$ m/s (13)

onde,

v_{ar} é a velocidade relativa do ar, em m/s, definida como resultante da velocidade do ar e da velocidade do corpo ou partes do corpo, em relação ao solo. Considerando-se uma pessoa realizando trabalho muscular, ela pode ser calculada pela equação:

$$v_{ar} = V_a + 0,0052 (M - 58) \quad (14)$$

onde,

V_a = velocidade absoluta do ar (m/s).

Recomenda-se para cada caso, calcular o coeficiente de convecção natural e forçada, e considerar o coeficiente de convecção de maior valor.

O fator de redução para trocas de calor sensível, F_s , pode ser definido conforme a equação:

$$F_s = 1 / [(h_c + h_r) \cdot I_{cl} + \frac{1}{f_{cl}}] \quad (15)$$

onde,

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção, (W/m².K);

h_r = coeficiente de transferência de calor por radiação, (W/m².K), que será explicado no mecanismo de transferência de calor a seguir;

I_{cl} = resistência térmica das vestimentas, (m².K/W);

f_{cl} = razão entre a área vestida e a área do corpo nu, (adimensional).

Após encontrar o I_{cl} , é calculada a razão entre a área vestida pela área do corpo nu, podendo ser assim calculado:

$$f_{cl} = 1,00 + 1,97 I_{cl} \quad (16)$$

Determina-se ainda a temperatura média da pele, t_p , de acordo com a equação:

$$t_p = 30,0 + 0,093 t_a + 0,045 \cdot t_{rm} - 0,571 \cdot V_a + 0,254 \cdot P_v + 0,00128 \cdot M - 3,57 \quad (17)$$

onde,

t_a = temperatura do ar no ambiente, (°C);

t_{rm} = temperatura média radiante, (°C);

V_a = velocidade absoluta do ar, (m/s);

P_v = pressão parcial de vapor d'água, (kPa);

M = metabolismo, (W/m²);

I_{cl} = resistência térmica das vestimentas, (m².K/W).

6. Radiação (R)

O fluxo de calor por radiação é estabelecido em função das características da pele, da vestimenta, da postura, da temperatura média da pele e da temperatura média radiante do ambiente, podendo ser calculada por meio da equação:

$$R = h_r \cdot F_s \cdot (t_p - t_{rm}) \quad (18)$$

onde,

h_r = coeficiente de transferência de calor por radiação, (W/m².K);

F_s , t_p e t_{rm} já foram definidos no mecanismo de transferência de calor anterior (Convecção na pele);

O coeficiente de transferência de calor por radiação é definido pela equação:

$$h_r = \sigma \cdot \varepsilon_p \cdot (A_r/A_{DU}) \cdot [(t_p + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] \cdot [1/(t_p - t_{rm})] \quad (19)$$

onde,

σ = Constante de Stefan-Boltzman, igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$;

ε_p = emissividade da pele (0,97);

A_r/A_{DU} = fração da superfície da pele envolvida nas trocas de calor por radiação, dependente da postura, tendo os valores de 0,67 para pessoas agachadas, 0,70 para pessoas sentadas e 0,77 para pessoas em pé.

t_{rm} e t_p já foram definidos no mecanismo de transferência de calor anterior (Convecção na pele).

Coutinho (2005) apresenta as seguintes equações para o cálculo do coeficiente de radiação:

$$\text{De pé: } h_r = 0,0244 \cdot t_{rm} + 4,096 \quad (20)$$

$$\text{Sentado: } h_r = 0,0222 \cdot t_{rm} + 3,723 \quad (21)$$

$$\text{Acocorado: } 0,0212 \cdot t_{rm} + 3,565 \quad (22)$$

7. Evaporação na pele (E)

Quando a pele está completamente molhada ocorre à evaporação máxima, condição esta representa pela equação descrita na sequência:

$$E_{max} = (P_{vsp} - P_v)/R_T \quad (23)$$

onde,

P_{vsp} = pressão do vapor saturado à temperatura da pele, (kPa);

P_v = pressão parcial do vapor de água contido no ar, (kPa);

R_T = resistência total evaporativa do ar e das vestimentas, ($\text{m}^2 \cdot \text{kPa/W}$).

A resistência total evaporativa do ar e das vestimentas, R_T , pode ser obtida pela seguinte equação:

$$R_T = 1/(h_e \cdot F_l) \quad (24)$$

onde,

h_e = coeficiente de transferência de calor por evaporação, (W/m².kPa), igual a: $h_e = 16,7h_c$;

F_l = o fator de redução para as trocas de calor latente, adimensional, que pode ser calculado assim:

$$F_l = 1/\left\{1 + 2,22 h_c \left[I_{cl} - \frac{\left(\frac{1-f_l}{f_{cl}}\right)}{(h_c + h_r)} \right] \right\} \quad (25)$$

onde,

I_{cl} e f_{cl} já foram definidos anteriormente no mecanismo de transferência de calor (Convecção na pele).

Substituindo a equação (24) na equação (23) obtêm-se a seguinte equação para a evaporação máxima (COUTINHO, 2005):

$$E_{max} = 16,7 \cdot h_c \cdot F_l \cdot (P_{vsp} - P_v) \quad (26)$$

2.4.4 Sistema de termorregulação

O corpo humano está gerando calor ininterruptamente e a sua temperatura interna precisa ser controlada dentro de uma pequena faixa para que seja evitado o desconforto e o estresse térmico. Assim, o calor que é produzido pelo metabolismo por meio da digestão dos alimentos e da reação química das células necessita ser liberado para o ambiente, para que a temperatura interna do corpo seja mantida dentro desses limites (GOMES, A., 2005).

A interação entre o ser humano e o ambiente térmico onde se encontra inserido é um problema de equilíbrio térmico, ou seja, de manter a temperatura interna do corpo constante, processo denominado de homeotermia (COSTA, 2015). A temperatura interna do corpo humano só mantém-se constante caso exista um equilíbrio entre o calor que é produzido pelo corpo, proveniente do metabolismo, e o que é perdido para o ambiente (CARVALHAIS, 2011; GOMES, A., 2005).

O ser humano é um ser homeotérmico, isto é, capaz de manter a temperatura corporal interna constante dentro de certos limites, independente da temperatura do ambiente (RODRIGUES, 2007; RUAS, 1999). Faz-se necessário, que o excesso de

calor gerado seja eliminado continuamente para que a temperatura do corpo consiga manter-se constante (RUAS, 1999). Dessa maneira, o principal objetivo da termorregulação é manter a temperatura corporal interna constante, impedindo grandes variações da mesma, para que os sistemas que compõem o corpo humano possam funcionar adequadamente (CARVALHAIS, 2011; GOMES, N., 2015).

A temperatura interna do corpo humano em condições normais é praticamente constante, com o valor aproximado de 37°C (FROTA; SCHIFFER, 2001; GOMES, A., 2005; IIDA, 2005) podendo oscilar em torno de 2°C para mais ou 2°C para menos (IIDA, 2005). Já Frota e Schiffer (2001) afirmam que os limites dessa temperatura são bem próximos, compreendendo a faixa entre 36,1 e 37,2°C, e para a situação de sobrevivência, embora já em estado de adoecimento, identificam-se os seguintes valores: 32°C como limite inferior e 42°C como limite superior. Por sua vez, Lamberts et al. (2016a) retratam que essa variação compreende a faixa de 35 a 37°C.

Vale frisar que cada ser humano possui uma temperatura descrita como sendo aquela em que ele não prefere sentir nem mais frio e nem mais calor no ambiente em que se encontra e nem precise acionar seu mecanismo de termorregulação. Essa temperatura é denominada de temperatura neutra e quando isso acontece, fala-se em neutralidade térmica. Caso seja comparada a temperatura corporal interna com essa temperatura neutra, identificam-se a seguir as zonas de respostas fisiológicas e comportamentais (LAMBERTS et al., 2016a):

- $T_{\text{corpo}} > T_{\text{neutra}}$ = Atuação do mecanismo de vasodilatação;
- $T_{\text{corpo}} > 37^{\circ}\text{C}$ = Atuação do mecanismo sudção (transpiração);
- $T_{\text{corpo}} > 39^{\circ}\text{C}$ = A partir dessa temperatura perde-se a eficiência;
- $T_{\text{corpo}} > 43^{\circ}\text{C}$ = Essa temperatura interna corporal é letal para o ser humano.
- $T_{\text{corpo}} < T_{\text{neutra}}$ = Vai ocorrer o mecanismo de vasoconstrição;
- $T_{\text{corpo}} < 35^{\circ}\text{C}$ = A partir dessa temperatura perde-se a eficiência;
- $T_{\text{corpo}} < 31^{\circ}\text{C}$ = Essa temperatura interna corporal é letal para o ser humano.

É importante destacar que no hipotálamo se encontram os centros térmicos que, ao constatar que a temperatura corporal apresenta-se excessivamente alta ou baixa irão efetuar os procedimentos adequados para fazer com que tal temperatura diminua ou aumente (ANDREASI, 2009).

O hipotálamo pode ser subdividido em anterior e posterior, sendo que o hipotálamo anterior é o responsável pela termorregulação do corpo humano quando este se encontra em uma situação de superaquecimento, emitindo impulsos nervosos

responsáveis por desencadear mecanismos que favoreçam a perda de calor, tais como a vasodilatação e a sudação. E o hipotálamo posterior, que funciona como um mecanismo de defesa contra o frio, estimulando ações como a vasoconstrição que reduz as perdas de calor para o ambiente, e provoca os tremores que aumentam a produção de calor internamente (CARVALHAIS, 2011; COSTA, 2015).

Portanto, o hipotálamo tem como função controlar por meio dos sinais recebidos dos múltiplos sensores espalhados pelo corpo, os diversos mecanismos fisiológicos termorreguladores, para manter o balanço térmico entre o ser humano e o ambiente (CARVALHAIS, 2011).

O primeiro mecanismo fisiológico que será iniciado ao sentir desconforto térmico é a regulação vasomotora do fluxo sanguíneo localizado na camada periférica do corpo, a camada subcutânea, por meio da vasodilatação ou vasoconstrição, respondendo nessa sequência há uma redução ou aumento na resistência térmica da camada subcutânea (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et al., 2016b).

Andreasi (2009) afirma que no momento em que o corpo humano está excessivamente quente, ocorrem a vasodilatação, a sudorese e a redução na produção de calor. Já quando o corpo humano está excessivamente frio ocorre a vasoconstrição e o tiritar (CARVALHAIS, 2011; COUTINHO, 2005; RODRIGUES, 2007).

Carvalhois (2011) define a atividade vasomotora como resposta inicial do corpo humano diante de uma situação inadequada referente ao seu equilíbrio térmico, além de citar que em ambientes quentes tem-se a sudação como mecanismo fisiológico indispensável para impulsionar a perda de calor para o ambiente. Ruas (1999) relata que o controle da temperatura corporal interna é exercido por um sistema termorregulador que por meio da vasodilatação e vasoconstrição, determina a quantidade de sangue que deve circular na superfície do corpo, proporcionando uma maior ou menor troca de calor com o ambiente

No momento em que se adentra um determinado ambiente quente, os termorreceptores identificam a diferença de temperatura corporal interna e a do ambiente e transmitem essa informação para o hipotálamo anterior, este irá dar início ao mecanismo de vasodilatação para possibilitar que uma quantidade maior de sangue possa circular nos vasos superficiais, aumentando a temperatura da pele e proporcionando uma maior liberação de calor por meio da convecção e da radiação. Complementarmente ocorre um aumento na frequência cardíaca, elevando a irrigação de sangue na superfície do corpo (CARVALHAIS, 2011).

Lamberts et al. (2016b) asseguram que a vasodilatação aumenta a vazão de sangue nos vasos periféricos, implicando em um aumento do ritmo cardíaco e transpiração. Vale lembrar que a pele é o principal órgão termorregulador do corpo humano, sendo por meio dela que ocorrem as trocas de calor (Frota; Schiffer, 2001; LAMBERTS et al., 2016b).

Para Carvalhais (2011) quando o mecanismo fisiológico vasodilatação não é capaz de manter o equilíbrio térmico entre a pessoa e o ambiente ocorre à produção de suor para que o corpo humano perca calor para o ambiente por meio da sua evaporação. Lamberts et al. (2016b), de modo semelhante, afirmam que existe um mecanismo termorregulador da pele denominado de transpiração, que é desencadeado quando as perdas de calor por convecção e radiação não são suficientes para acontecer a termorregulação.

Ruas (1999) reconhece que o sistema termorregulador opera com as glândulas sudoríparas, ampliando ou reduzindo a produção do suor de acordo com a necessidade de dissipar o calor do corpo através da evaporação do mesmo. Em vista disto, Rodrigues (2007) atesta que a sudação se processa pela ação das glândulas sudoríparas, evidenciando que quando a pressão parcial de vapor d'água é alta, isto é, valores altos de umidade relativa do ar, ou quando a velocidade do ar é baixa ou ainda quando a vestimenta é quase impermeável a eficácia desse mecanismo é bastante afetada.

Segundo Coutinho (2005) quando a temperatura real do sangue está menor que a normal e a temperatura real da pele está menor que a temperatura de conforto o sistema de termorregulação induz uma vasoconstrição, reduzindo a vazão de sangue e consequentemente uma diminuição das trocas de calor. Lamberts et al., (2016b) acrescentam ainda que este mecanismo reduz o ritmo de frequência cardíaca.

Caso o mecanismo de vasoconstrição não seja suficiente para obter o balanço térmico, o sistema de termorregulação provoca o tremor muscular ou tiritar, aumentando o movimento involuntário dos músculos e consequentemente a produção de calor interno (CARVALHAIS, 2011; COUTINHO, 2005).

2.4.5 Ambiente térmico

Qualquer atividade humana sofre influência do ambiente onde está sendo executada, quer seja em um cenário econômico, assegurando a produtividade; em um cenário sociocultural transmitindo os costumes e tradições de determinada sociedade;

em um cenário político legal, ou ainda em um cenário tecnológico, demonstrando o crescimento técnico e também o avanço de uma determinada sociedade (COSTA, 2015).

Um dos parâmetros essenciais a ser descrito de maneira que se possa assegurar o conforto e aperfeiçoar as condições de trabalho, é o ambiente térmico (GOMES, N., 2015). Em vista disto, ANSI/ASHRAE 55 (2010) define o ambiente térmico como a associação das características do ambiente que podem influenciar na perda de calor de um determinado indivíduo.

Normalmente, classificam-se os ambientes térmicos ocupacionais em três segmentos: ambientes térmicos quentes, moderados e frios (OLIVEIRA, 2006). Os ambientes quentes são aqueles em que o balanço apresenta um saldo positivo (COSTA et al., 2011). Já os ambientes moderados são aqueles que não propiciam sensações extremas de calor ou de frio. Por sua vez, os ambientes frios são identificados quando o balanço térmico apresenta um saldo negativo, pois as perdas de calor são maiores que os ganhos (COUTINHO, 2005).

2.4.6 Conforto térmico

Fanger (1970) analisou o conforto térmico relacionando às características fisiológicas dos indivíduos como idade, sexo, forma do corpo, diferenças étnicas, entre outras, além de variáveis físicas ou ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade relativa do ar) e subjetivas (atividade desempenhada e a vestimenta utilizada para realizar determinada atividade).

Ele constatou que o balanço térmico é uma condição necessária, mas não suficiente para a obtenção do conforto térmico, sendo necessário que três condições sejam atendidas:

- I. Primeira: o corpo deve estar em condição de neutralidade térmica, guiando-se para isso por meio da equação de balanço térmico, já apresentada no tópico 2.4.3.
- II. Segunda: a temperatura da pele deve estar de acordo com a equação (27):

$$t_p = 35,7 - 0,0275.M \quad (27)$$

onde,

t_p = temperatura da pele;

M = Metabolismo.

III. Terceira: a evaporação do suor segundo a equação (28):

$$E_s = 0,42. (M - 58,15) \quad (28)$$

onde,

E_s = evaporação do suor;

M = Metabolismo

O conforto térmico, para Xavier (2000), pode ser analisado sob dois aspectos: o pessoal e o ambiental. Envolvendo assim, variáveis físicas ou ambientais e variáveis subjetivas ou pessoais. O aspecto pessoal é aquele relacionado à sensação térmica do indivíduo com relação ao ambiente onde ele encontra-se inserido. O aspecto ambiental é aquele que relaciona um conjunto de variáveis físicas que compõem esse ambiente.

A norma ANSI/ASHRAE 55 (2010) define conforto térmico como a condição expressa pela mente que expõe satisfação com o ambiente térmico. Já para Witkowska e Gładyszewska-Fiedoruk (2018) o conforto térmico é a condição do organismo, em que a pessoa sente que seu corpo encontra-se em estado de equilíbrio térmico.

O conforto térmico é bastante complexo, sendo difícil satisfazer todas as pessoas que se encontram em um mesmo ambiente. Consequentemente pode-se afirmar que o conforto térmico é relativo, já que, as pessoas apresentam grandes diferenças tanto fisiológicas como psicológicas, reagindo assim, de maneira distinta diante de determinadas condições (SCHELLEN et al., 2012).

De maneira semelhante Lamberts et al. (2016b) ressaltam que por conta da variação biológica entre os seres humanos, torna-se impossível que todas as pessoas de um mesmo ambiente sintam-se confortáveis termicamente, devendo-se então sempre gerar condições de conforto para a maior porcentagem de pessoas.

Azizpour et al. (2013) afirmam que as mudanças ocorridas em um ambiente tendem a fazer com que as pessoas se adaptem naturalmente. Ou seja, as pessoas encontram maneiras para tornar o ambiente confortável, o que implica em se adaptar comportamentalmente.

Vergara (2001) acredita que a condição de conforto térmico pode ser alcançada quando um indivíduo não está sentindo nem frio nem calor em um determinado ambiente, ocorrendo assim, uma neutralidade térmica. Essa condição vai depender da correlação de variáveis ambientais, sendo elas: temperatura do ar, temperatura média

radiante, velocidade do ar e umidade relativa com as variáveis pessoais: atividade física desempenhada pelo indivíduo e sua vestimenta na hora da atividade desempenhada.

Para Schmitz (2014) as principais variáveis ambientais que têm influência sobre a sensação térmica, de modo que são utilizadas para definir os índices de conforto térmico são: temperatura do ar (t_a); umidade relativa do ar (UR); velocidade do ar (V_a); e temperatura média radiante (t_{rm}). A variável temperatura do ar influencia mais diretamente a sensação de conforto, entretanto, é a associação entre todas as variáveis que representará de maneira significativa às condições de conforto.

A sensação de conforto térmico por parte dos indivíduos depende de seis parâmetros. Esses parâmetros são divididos em duas categorias: variáveis ambientais, que englobam a temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade relativa, e as variáveis humanas que são constituídas pelo metabolismo dos indivíduos e pelo nível de isolamento térmico advindo das vestimentas dos mesmos (ANSI/ASHRAE 55, 2010; DUL; WEERDMEESTER, 2004; ISO 7730, 2005; JANG, KOH e MOON, 2007).

Desta maneira, as variáveis ambientais são aquelas referentes às condições climáticas do ambiente em análise, enquanto que as variáveis pessoais são aquelas relacionadas aos indivíduos no momento da avaliação do ambiente (XAVIER, 2000).

2.4.7 Estresse térmico

Os ambientes térmicos que podem desencadear o estresse térmico dividem-se em dois grupos (RODRIGUES, 2007):

- Ambientes quentes - implicam estresse provocado pelo calor;
- Ambientes frios - implicam estresse provocado pelo frio.

Verifica-se a existência de uma ligação entre a saúde do ser humano, seu bem-estar, desempenho e o ambiente térmico em que este se encontra. A sobrecarga ou estresse térmico (ambiente quente ou frio) associada à exposição do corpo humano a ambientes que apresentam valores extremos de temperatura e umidade, desencadeando assim, o estresse térmico (COSTA, 2015).

O estresse térmico é o estado psicofisiológico a que uma pessoa está submetida, quando exposta a situações extremas de calor ou frio (LAMBERTS et al., 2016a; RODRIGUES, 2007). Carvalhais (2011) ressalta que a temperatura corporal interna pode ser estabelecida como um indicador para mensurar o nível de tensão a que um

corpo está sujeito. Nesse sentido, tem-se uma situação de estresse térmico quando o organismo humano não consegue manter-se em equilíbrio térmico.

Rodrigues (2007) afirma que o estresse térmico provocado pelo calor pode ser proveniente do aumento na taxa metabólica, da temperatura do ar, da umidade do ar, da temperatura média radiante e ainda da velocidade do ar no momento em que a temperatura do ar é maior que a temperatura média da pele. Destaca ainda que, situações de estresse térmico desencadeiam no ser humano modificações psicossensoriais, redução do estado geral de saúde, diminuição do rendimento intelectual e no trabalho, dentre outras coisas.

Para Costa (2015) especialmente em ambientes quentes, a quantidade de calor que é produzido combinado com o trabalho muscular acaba intensificando o estresse térmico, visto que, as grandes quantidades de calor precisam ser dissipadas, principalmente por meio da evaporação. O balanço das trocas de calor entre o ser humano e o ambiente precisa transcorrer de maneira equilibrada, para garantir o equilíbrio térmico no interior do corpo humano (SOUSA, 2013).

Zhao, Zhu e Lu (2009) reconhecem que o trabalho realizado em locais quentes e úmidos, por longos períodos de tempo, não promovem apenas danos à saúde do trabalhador e redução de produtividade, mas podem também originar acidentes. Liang et al. (2011) de maneira semelhante, declaram que o trabalho físico em ambientes quentes e úmidos ocasiona riscos relacionados a saúde, podem levar a uma redução da produtividade, além de fomentar problemas voltados à segurança dos trabalhadores. Já Ilangkumaran et al. (2015) afirmam que pessoas que trabalham em ambientes extremamente quentes tem um maior risco de desenvolver distúrbios devido ao calor como também riscos de acidentes.

Inteirar-se das condições do ambiente que auxiliam no processo de estresse térmico, é primordial, para que se consiga definir ações tanto para prevenir, como para corrigir a ocorrência do mesmo. Portanto, adotar peças de vestimentas apropriadas, fazer uma adequada hidratação e alimentação além de promover a convecção forçada por meio de ventiladores são condutas voluntárias que cooperam para a prevenção de situações de estresse térmico (RODRIGUES, 2007).

É necessário salientar, que dois índices requerem atenção no estudo do estresse térmico, dado que são referências normativas internacionais, sendo eles: o índice de bulbo úmido e temperatura de globo (*WBGT* ou *IBUTG*) e a taxa requerida de suor (SW_{req}) (LAMBERTS et al., 2016a).

2.4.7.1 Efeitos do ambiente quente sobre o ser humano

Ambientes laborais que apresentam condições térmicas inapropriadas influenciam na produção e troca de calor entre o organismo humano e o ambiente que o cerca, interferindo no sistema de termorregulação humana (CAMARGO; FURLAN, 2011). Iida (2005) afirma que em ambientes cujas temperaturas são elevadas é necessário reduzir o tempo de exposição a que os trabalhadores estão submetidos, para que o organismo dos mesmos possa dissipar o excesso de calor, restabelecendo o equilíbrio térmico. Já que o corpo humano não resiste a variações na sua temperatura corporal interna de mais de 4°C, sem que ocorra diminuição na capacidade física e mental das pessoas (GALLOIS, 2002).

Costa (2015) relata que quando os trabalhadores estão sujeitos a mudanças de temperatura e umidade, juntamente com a exposição por um grande período de tempo a essas condições, pode causar mudanças no desempenho dos mesmos em dois níveis, o fisiológico e o cognitivo, além de concomitantemente aumentarem a incidência do número de acidentes e o desenvolvimento de doenças.

Para Gomes, N. (2015) ambientes quentes têm três efeitos sobre o ser humano: o psicológico, o psicofisiológico e o patológico, sendo que, o psicológico concerne ao estado de mal-estar e às preocupações com o desconforto do local. O psicofisiológico refere-se a uma elevação da carga de trabalho do coração e do sistema circulatório e o patológico é voltado para a piora de doenças apresentadas pelos trabalhadores.

Dessa maneira, em condições térmicas extremas, como a de estresse térmico, existe a possibilidade de alteração do mecanismo metabólico das pessoas, impactando na saúde geral e acarretando graves problemas, como a hipertermia, quando submetidas a excesso de calor (SOUSA, 2013). Logo, condições térmicas ambientais geradoras de estresse térmico influem no desempenho dos trabalhadores. Em determinadas situações, podem produzir, além de desconforto térmico, fadiga, sonolência, riscos de acidentes e sérios males à saúde (CAMARGO; FURLAN, 2011).

Na pesquisa de Dianat, Vahedi e Dehnavi (2016) o nível de calor encontrado em locais de trabalho de três fábricas na cidade de Saveh, no Irã, é bastante correlacionado com a satisfação térmica dos trabalhadores desses ambientes, como também com o desempenho dos mesmos e ainda com o surgimento de transtornos térmicos. Por sua vez, Venugopal et al. (2016) constataram que dos 442 trabalhadores de dezoito locais de

trabalho selecionados na Índia, cerca de 96% apresentam qualquer um dos sintomas a seguir: sudorese excessiva ou sede, cansaço, câibras, dor de cabeça, náuseas, vômito, desmaios, problemas urogenitais e brotoejas relativos ao calor.

Sheffield et al. (2013) realizaram uma pesquisa e reconhecem que as condições de trabalho atuais da Nicarágua ameaçam a saúde e a segurança dos trabalhadores e que as projeções para o futuro, conforme as mudanças climáticas, podem representar um decréscimo da produtividade ou então uma ameaça progressiva para a saúde e segurança dos mesmos.

Krishnamurthy et al. (2017) desenvolveram um estudo em uma indústria siderúrgica e constataram que do total de 84 trabalhadores analisados, cerca de 96% apresentavam frequentemente sintomas danosos referentes ao calor. Além disso, todos os trabalhadores de diversos postos de trabalho da fábrica em questão relataram sentir sede em excesso, 86% disseram sentir sudorese excessiva, 77,2% cansaço, fraqueza, câibras, e 33% dor de cabeça.

Assim, as condições térmicas dos ambientes laborais podem promover doenças ocupacionais (RINIOLO; SCHMIDT, 2006), e ainda impactar diretamente na segurança e também na produtividade dos trabalhadores (ZHAO; ZHU; LU, 2009). Pradhan et al. (2013) atestam que em locais de trabalho, o calor em excesso pode desencadear perigosos danos físicos para os trabalhadores, inclusive a morte. Para Gomes, N. (2015) ambientes quentes podem ocasionar desde a sensação de sede ou calor, desconforto térmico geral, falta de concentração, e que em situações extremas, podem ocorrer graves problemas de saúde como, a insolação, o colapso e até mesmo a morte.

2.4.7.2 Aclimação ao calor e sua importância

Analisando a aclimação do ponto de vista biológico, compreende-se que esse processo fisiológico ocorre quando o corpo humano se adapta a determinado ambiente térmico (ANDREASI, 2009). Essa ideia é reforçada por Shen e Zhu (2015) quando relatam que tanto o processo como a aclimação ao calor em si, melhora a adaptação em ambientes extremamente quentes dos seres humanos.

Em ambientes cujas condições térmicas são extremas, a intensa produção de calor, pode provocar aumento da temperatura corporal interna e da frequência cardíaca, de modo que, a aclimação ao calor é uma maneira de minimizar esses processos

fisiológicos, possibilitando uma adaptação eficaz a um ambiente com as condições mencionadas inicialmente. Destaca-se que, tanto a temperatura de bulbo seco, como a umidade relativa apresentam influência significativa na aclimação ao calor, porém a temperatura de bulbo seco tem um impacto mais representativo (SHEN; ZHU, 2015).

A aclimação visa ativar as glândulas sudoríparas para aumentar a sudorese e, por conseguinte reduzir a frequência cardíaca e a temperatura interna do corpo. A aclimação é um processo em que a pessoa é treinada para realizar uma determinada tarefa a certa temperatura. Portanto, ela não pode executar tarefas mais pesadas, nem fazer a tarefa para a qual foi treinada em ambientes mais quentes. A aclimação é obtida gradativamente e concluída depois de duas ou três semanas. A partir daí, quando a temperatura interna tende a aumentar, as glândulas sudoríparas são ativadas e, por consequência, a temperatura interna e a frequência cardíaca diminuem. O afastamento do trabalho a partir de uma semana já representa perda parcial da aclimação (COUTINHO, 2005).

2.4.7.3 Doenças provocadas por ambiente quente

Conforme Guyton e Hall (2006) os efeitos no organismo humano provenientes da exposição ao calor são:

1. Golpe de calor ou Hipertermia ou Choque Térmico – acontece quando o saldo do balanço térmico é positivo. O sistema de termorregulação é atingido por uma sobrecarga térmica, promovendo o aumento contínuo da temperatura corporal interna, ocasionando modificação no funcionamento do cérebro, com alteração do mecanismo de liberação do calor, interrompendo a sudorese.

Sintomas: confusão mental, colapsos, convulsões, delírios, alucinações e coma. Vale destacar que, geralmente é fatal; e caso o trabalhador sobreviva, este provavelmente ficará com sequelas.

Tratamento: o médico deve ser acionado imediatamente e o corpo do trabalhador deve ser resfriado rapidamente.

2. Exaustão por calor – é a perda temporária da consciência provocada por excesso de calor resultando de uma grande tensão do sistema circulatório, com diminuição da pressão. Ocorre quando a temperatura interna corporal tende a aumentar, implicando em

uma diminuição na circulação de sangue em órgãos vitais, tendo assim, uma deficiência de oxigênio nessas regiões, comprometendo em particular o cérebro e o coração.

Sintomas: enjôo, palidez, pele coberta de suor e dores de cabeça.

Tratamento: faz-se necessário deitar o trabalhador ou ainda sentá-lo com a cabeça abaixada. A recuperação é rápida e decorre naturalmente, porém, para que esta seja total, o ideal é que o trabalhador fique em repouso em ambiente ameno.

3. Prostração térmica por desidratação – processa-se quando a quantidade de água ingerida é insuficiente para equilibrar as perdas pela urina ou sudorese e também pelo ar que é exalado.

Clapp et al. (2000) consideram que a desidratação geralmente afeta a produtividade e a segurança do trabalhador. Daí a importância de uma reposição de líquidos adequada, já que é primordial para um funcionamento metabólico satisfatório em ambientes térmicos quentes e para a prevenção de doenças relacionadas ao calor. Ainda nesse sentido, Kenefick e Sawka (2007) enfatizam a importância de manter a hidratação dos trabalhadores, em particular aqueles que realizam suas atividades em ambientes quentes, tendo a orientação de ingestão de líquidos antes, durante e após o serviço.

4. Prostração térmica pelo decréscimo do teor salino – ocorre quando a quantidade ingerida de sal não é suficiente para balancear as perdas por meio da sudorese, sendo que as pessoas mais propensas são as não aclimatizadas.

Sintomas: fadiga, tontura, falta de apetite, náuseas, vômitos e câibras.

5. Câibras de calor - se manifestam em dores agudas nos músculos em especial os abdominais, das coxas e aqueles que exijam uma carga física mais elevada. Elas resultam da ausência de cloreto de sódio, perdido pela sudorese elevada sem a reposição necessária, e/ou também à falta de aclimação.

Tratamento: descanso em local arejado, com reposição salina por meio da ingestão de soro fisiológico, monitorada por um médico.

6. Problemas das glândulas sudoríparas – quando os trabalhadores estão submetidos ao calor e umidade alta por um extenso período de tempo, podem surgir alterações nas glândulas sudoríparas, fazendo com que estas não produzam mais o suor, o que acarreta comprometimento do sistema de termorregulação, desencadeando a intolerância ao calor pelos trabalhadores.

Tratamento: os trabalhadores devem receber assistência dermatológica e em determinadas situações a transferência para atividades em que não precisem estar submetidos a tais condições térmicas.

7. Edema provocado pelo calor – representa o inchaço, em especial de pés e tornozelos, essencialmente em pessoas não aclimatizadas.

Tratamento – reposição de água e sais minerais por meio da ingestão de líquidos.

2.5 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO TÉRMICA DE AMBIENTES MODERADOS E QUENTES

Embora existam diversos métodos para análise de ambientes moderados e quentes optou-se pela aplicação das normas ISO 7730 (2005) e 7933 (1989), respectivamente, por serem as mais utilizadas.

2.5.1 PMV e PDD

Fanger (1970) realizou diversos experimentos com pessoas no interior de câmaras climatizadas na Dinamarca que deram origem ao método mais conhecido para avaliação de conforto térmico. Suas equações e métodos serviram de base para a elaboração de normas internacionais importantes. Ele elaborou cálculos analíticos tendo por base as três equações de conforto térmico tratadas anteriormente. Desse estudo, resultaram os índices: o PMV (*Predicted Mean Vote* - Voto Médio Previsível) e o PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied* - Porcentagem Previsível de Insatisfeitos).

Este método é considerado o mais completo para o cálculo dos índices de conforto, uma vez que, analisa a sensação de conforto em função das variáveis ambientais (temperatura média radiante, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar) e das variáveis pessoais (taxa de metabolismo e isolamento térmico da vestimenta), além da subjetividade, resultando nos índices PMV e PPD. Em vista da sua importância é o método adotado pela ISO 7730 (LAMBERTS et al., 2016b).

O PMV representa uma estimativa da sensação térmica média de um grande grupo de indivíduos a partir do balanço térmico da pessoa. É dado em uma escala de sete pontos que varia de +3 a -3, sendo: + 3 Muito quente; + 2 Quente; + 1 Ligeiramente quente; 0 Neutralidade térmica; - 1 Ligeiramente frio; - 2 Frio; - 3 Muito frio. O PMV é representado pela equação (29) conforme a norma ISO 7730 (2005):

$$\begin{aligned}
PMV = & [0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028] \times (M - W) \\
& - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99 \times (M - W) - p_a] - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] \\
& - 1,7 \times 10^{-5} M \times (5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) \\
& - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \times h_c (t_{cl} - t_a)
\end{aligned} \tag{29}$$

considerando,

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \tag{30}$$

$$h_c = 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} \text{ para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \tag{31}$$

$$h_c = 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \text{ para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \tag{32}$$

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} \text{ para } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \tag{33}$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \text{ para } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \tag{34}$$

onde:

M = é a taxa metabólica (W/m^2);

W = é o trabalho mecânico (W/m^2);

f_{cl} = é a razão entre a área superficial do corpo vestido pela área do corpo nu;

t_a = é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$);

t_{rm} = é a temperatura média radiante ($^{\circ}\text{C}$);

P_a = é a pressão parcial de vapor d'água (Pa);

h_c = é o coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$);

t_{cl} = é a temperatura superficial das roupas ($^{\circ}\text{C}$).

Faz-se necessário ressaltar que, as equações da temperatura superficial das roupas (t_{cl}) e dos coeficientes de transferência de calor por convecção (h_c) são calculadas por iteração (ISO 7730, 2005).

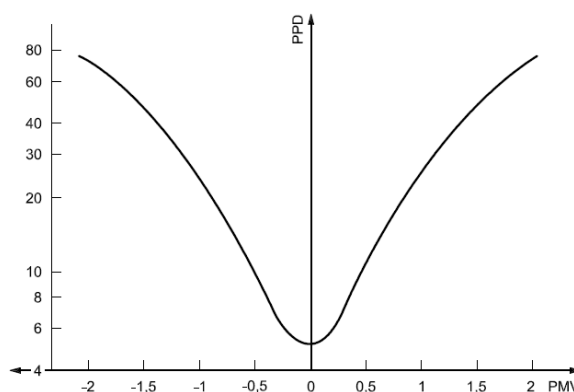
O PMV pode também ser calculado por meio de tabelas fornecidas pela própria ISO 7730 (2005) ou ainda por meio de *softwares* específicos para este fim (RUAS, 2001).

O índice PPD estabelece uma previsão da quantidade de pessoas insatisfeitas termicamente com um determinado ambiente. Ele é calculado em função do PMV.

Logo, com o valor do PMV determinado, encontra-se o PPD usando a figura (3), ou calcula-se por meio da equação (35) (ISO 7730, 2005):

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2)} \quad (35)$$

Figura 3 – Índice PPD em função do PMV



Fonte: ISO 7730 (2005)

A referida norma considera o ambiente confortável termicamente, se o valor do PMV estiver compreendido entre os valores -0,5 a +0,5, o que implica em um valor de PPD < 10%.

No entanto, devido às diferenças individuais, mesmo que o valor encontrado para o PMV seja igual a zero, o que correspondente à neutralidade térmica para a maior parte das pessoas, o PPD apresenta valores de 5%. Portanto, é impossível ter condições ambientais que agradem simultaneamente a todos num grande grupo.

2.5.2 SW_{req} e w_{req}

O método da taxa requerida de suor (SW_{req}) é adotado para determinação e interpretação analítica do estresse térmico a que uma pessoa está submetida em um ambiente quente, e tem como princípio o balanço térmico do corpo humano. Vale destacar que, a fração de pele molhada requerida (w_{req}) é um dos parâmetros de estresse adotados neste método. Coutinho (2005) afirma ainda que, a w_{req} é um indicador do esforço realizado pelo organismo para assegurar o equilíbrio térmico. Cada valor de w_{req} equivale a uma combinação das variáveis envolvidas no balanço térmico.

Os cálculos para encontrar a taxa requerida de suor (SW_{req}) e a fração de pele molhada (w_{req}) serão explicitados a seguir de acordo com as diretrizes da ISO 7933 (1989):

1. A interpretação do método da taxa requerida de suor se baseia em dois parâmetros de estresse:

- A fração máxima da superfície do corpo molhada de suor, w_{max} , (adimensional);
- A taxa máxima de suor produzida pelo organismo, SW_{max} , (W/m^2 ou g/h);

e dois parâmetros fisiológicos:

- Taxa máxima de perda de calor, Q_{max} , ($W.h/m^2$);
- Taxa máxima de perda de água, D_{max} , ($W.h/m^2$ ou g).

2. Para calcular os parâmetros de estresse mencionados acima, aplica-se a equação (36) referente ao balanço térmico do corpo humano. De modo que, para calcular o calor armazenado no organismo, somam-se algebricamente os fluxos de calor conforme equação a seguir:

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - E \quad (36)$$

3. Cálculo da taxa de evaporação requerida, fração requerida de pele molhada, taxa requerida de suor

3.1. A variável evaporação da pele, E, é deslocada para o primeiro membro da equação (36) tem-se assim:

$$S + E = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (37)$$

3.2. Para a manutenção do equilíbrio térmico do corpo e, portanto, para um armazenamento de calor igual a zero, ($S=0$), tem-se que a evaporação da pele, E, é definida como a taxa de evaporação requerida, E_{req} , dada por:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (38)$$

Por outro lado, a evaporação máxima obtida num ambiente ocorre quando toda a superfície corporal está molhada de suor. Ela é obtida pela equação (26) aqui repetida:

$$E_{max} = 16,7 \cdot h_c \cdot F_l \cdot (P_{vsp} - P_v)$$

3.3. A fração requerida de pele molhada, que, conforme indica a sua denominação é a fração do corpo molhada de suor para produzir a evaporação requerida. É representada pela relação entre a evaporação requerida e a evaporação máxima. Ou seja,

$$w_{req} = E_{req}/E_{max} \quad (39)$$

onde,

w_{req} , (adimensional).

Segundo Coutinho (2005) a fração de pele molhada requerida (w_{req}) pode ser analisada de acordo com a equação (40) a seguir:

$$0,06 \leq w_{req} \leq 1 \quad (40)$$

O limite inferior significa pele totalmente enxuta; corresponde a condição mais satisfatória para o organismo, não havendo necessidade de produção de suor. Já o limite superior, corresponde ao corpo totalmente molhado e uma situação de máximo estresse. Por sua vez, os valores intermediários revelam níveis de esforço crescentes por parte do organismo para neutralizar o saldo de calor.

3.4. O cálculo da taxa requerida de suor deve ser feito com base na taxa de evaporação requerida, e leva em consideração a sudorese propriamente dita, a molhadura das vestes e o gotejamento do suor. Essa taxa de evaporação é dada pela equação:

$$SW_{req} = E_{req}/\gamma_{req} \quad (41)$$

onde,

γ_{req} = é a eficiência de evaporação da transpiração, (adimensional), que corresponde à fração de pele molhada requerida.

E_{req} = definida na equação (38).

A eficiência de evaporação da transpiração, γ , pode ser derivada da fração de pele molhada, w , pela seguinte expressão:

$$\gamma = 1 - w^2/2 \quad (42)$$

3.5. Com os parâmetros já calculados deve-se compará-los com os limites de tolerância disponíveis na Tabela (2).

Tabela 2 - Valores de referência para os diferentes critérios de estresse e de condições que os trabalhadores podem estar submetidos sem que ocorram malefícios a sua saúde

Critérios		Pessoas não aclimatadas		Pessoas aclimatadas	
		Advertência	Perigo	Advertência	Perigo
Fração de Pele Molhada					
Máxima	(w_{max})	0,85	0,85	1,0	1,0
Taxa de Suor Máxima					
Descanso					
$M < 65 \text{ W/m}^2$	$SW_{max} \text{ W/m}^2$	100	150	200	300
	g/h	260	390	520	780
Trabalho					
$M > 65 \text{ W/m}^2$	$SW_{max} \text{ W/m}^2$	200	250	300	400
	g/h	520	650	780	1040
Máximo Calor Armazenado					
Q_{max}	W.h/m^2	50	60	50	60
Máxima perda de água					
D_{max}	W.h/m^2	1000	1250	1500	2000
	G	2600	3250	3900	5200

Fonte: ISO 7933 (1989)

Observa-se que na Tabela (2) além dos valores de tolerância para os parâmetros de estresse (w_{max} e SW_{max}) e os fisiológicos (Q_{max} e D_{max}), contém ainda os valores para indivíduos aclimatados e não aclimatados de acordo com o grau de proteção desejado (níveis de advertência e perigo).

Dessa maneira, a taxa requerida de suor, SW_{req} e a fração requerida de pele molhada, w_{req} , não podem ultrapassar os valores tabelados respectivamente para a taxa de sudorese máxima, SW_{max} e a fração de pele molhada máxima, w_{max} .

No caso de o organismo não estar em equilíbrio conforme o balanço térmico, o armazenamento de calor, S, deve ser limitado por um valor máximo (Q_{max}) de tal forma que, o aumento resultante na temperatura corporal interna, não ocasione nenhum efeito patológico.

Finalmente, qualquer que seja o balanço térmico, a perda de água deve ser restrita a um valor, D_{max} , compatível com a manutenção do equilíbrio hidromineral do corpo.

4. Análise das situações de trabalho

Essa análise consiste na determinação dos valores esperados para a fração de pele molhada, taxa de evaporação e taxa de suor (w_p , E_p , SW_p), tendo em conta os valores requeridos (w_{req} , E_{req} , SW_{req}) e os valores limites (w_{max} , SW_{max}). As prováveis situações são:

4.1. Quando: $w_{req} < w_{max}$ e $SW_{req} < SW_{max}$, o corpo está em equilíbrio térmico e os valores previstos são:

$$w_p = w_{req} \quad (43)$$

$$E_p = E_{req} \quad (44)$$

$$SW_p = SW_{req} \quad (45)$$

4.2. Quando: $w_{req} > w_{max}$, os valores previstos são:

$$w_p = w_{max} \quad (46)$$

$$E_p = w_p \cdot E_{max} \quad (47)$$

$$SW_p = E_p / \gamma_p \quad (48)$$

onde, γ_p é a eficiência de evaporação da transpiração correspondente à w_p , conforme equação (42).

4.3. Quando: $SW_{req} > SW_{max}$ ou $SW_p > SW_{max}$, faz-se necessário determinar a fração de pele molhada esperada, w_p , e a eficiência de evaporação, γ_p , tal que:

$$w_p \cdot E_{max} = SW_{max} \cdot \gamma_p \quad (49)$$

considerando a relação entre w_p e γ_p segundo equação (42).

$$E_p = w_p \cdot E_{max} \quad (50)$$

$$SW_p = SW_{max} \quad (51)$$

5. Determinação do tempo máximo de exposição (DLE, minutos)

Os tempos máximos de exposição podem ser determinados em função dos valores máximos de calor armazenamento pelo organismo, Q_{max} , e de perda de água pelo organismo, D_{max} .

5.1. Quando $E_p = E_{req}$ e $SW_p < D_{max}/g$, nenhum limite de tempo deve ser sugerido para um turno de trabalho de 8 horas. Nesse caso, o SW_p , pode ser usado como um índice de comparação para as condições de estresse térmico.

5.2. Se uma ou outra destas duas condições acima mencionadas não for satisfeita, é necessário calcular o tempo máximo de exposição, DLE.

5.2.1. Quando $E_{req} > E_p$, a diferença ($E_{req} - E_p$) representa a taxa de armazenamento de calor que será responsável por um aumento na temperatura corporal. O tempo máximo de exposição (em minutos) pode ser determinado pela expressão:

$$DLE_1 = 60 \cdot \frac{Q_{max}}{(E_{req} - E_p)} \quad (52)$$

5.2.2. Quando $SW_p > D_{max}/g$, isto é, quando a taxa de suor esperada envolver uma perda de água exagerada, o tempo máximo de exposição deve ser limitado, de acordo com a equação:

$$DLE_2 = 60 \cdot \frac{D_{max}}{SW_p} \quad (53)$$

Depois, que os dois tempos forem calculados pelas equações (52) e (53), utilizar o de menor valor para limitar a duração do trabalho.

Quando o DLE_2 , para perda excessiva de água é o limite de determinação, nenhuma exposição adicional deve ser permitida durante o dia.

Quando o DLE_1 , para aumento excessivo da temperatura corporal é o fator determinante, o trabalhador deve ter um período de descanso de tal duração que, para a

combinação das sequências de trabalho e descanso, não tenha risco de estresse por calor. Nessa situação, deve-se calcular os valores médios ponderados de E_{req} e E_{max} , em função do tempo de trabalho e de descanso, respectivamente.

2.6 PRODUTIVIDADE

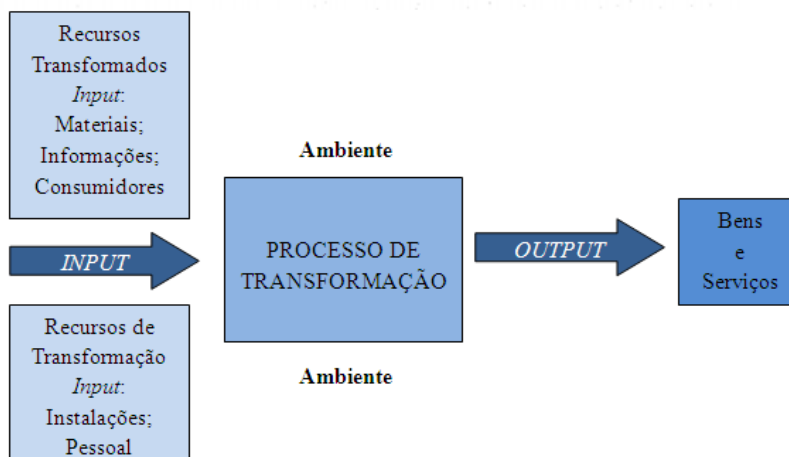
2.6.1 Conceito e mensuração da produtividade

Produtividade representa o quanto e como se produz utilizando para isso os recursos disponíveis. Por recursos compreende-se tanto os recursos humanos como os físicos. Os recursos humanos são as pessoas que produzem os bens ou que fornecem os serviços e os recursos físicos são os materiais utilizados pelas pessoas para a produção de bens ou para fornecer algum serviço, que podem ser máquinas e equipamentos móveis ou fixos, ferramentas, matérias-primas, estoques, entre outros (BERNOLAK, 1997).

Pekuri, Haapasalo e Herrala (2011) afirmam que normalmente a produtividade é definida como a relação entre a produção de um sistema e as quantidades de fatores de entrada empregados pelo mesmo para obter uma saída, destacando que, essa saída é entendida como qualquer resultado do processo, podendo ser um bem ou serviço, já os fatores de entrada são os recursos humanos e físicos utilizados pelo processo. De maneira similar, Teng (2014) relata que produtividade no entendimento simples da palavra, é a relação da quantidade de insumos essenciais para produzir determinada quantidade de produtos.

Para Slack et al. (2006) qualquer atividade de produção pode ser observada de acordo com o modelo *input- transformação-output*, demonstrado na Figura (4) a seguir:

Figura 4 - Processo input- transformação-output para qualquer produção



Fonte: Slack et al. (2006)

Na produção seja de um bem ou serviço, ou ainda um misto dos dois tem-se um processo de transformação, sendo esta responsável por usar os recursos para mudar o estado ou a condição de alguma coisa gerando assim *outputs* (SLACK et al., 2006). Em um sistema de produção o quanto se consegue produzir diante de uma determinada quantidade de recursos que uma empresa possui, isto é, em um processo de produção o maior ou menor aproveitamento desses recursos, denomina-se de produtividade. Dessa forma, a produtividade em um dado período t pode ser representada pela equação a seguir (MOREIRA, 2011):

$$Prod_t = Q_t / I_t \quad (54)$$

onde,

$Prod_t$ = produtividade absoluta no período t ;

Q_t = produção obtida no período t ;

I_t = insumos utilizados no período t para obter a produção Q_t .

Aumenta-se a produtividade quando com os mesmos recursos consegue-se produzir mais ou bens com uma qualidade melhor ou então, quando mesmo com menos recursos consegue-se produzir as mesmas quantidades de bens de antes, de modo que, essa lógica se aplica de maneira igual para o setor de serviços (BERNOLAK, 1997; PEKURI; HAAPASALO; HERRALA, 2011). Teng (2004) por sua vez, retrata de modo simplificado que, caso a quantidade produzida de produtos aumente e/ou a quantidade de recursos (insumos) diminua têm-se um aumento de produtividade.

A produtividade depende de alguns fatores, como: o bem-estar, a satisfação dos trabalhadores com o ambiente laboral, a competência técnica, as conquistas da carreira dos mesmos, o relacionamento com os outros, as condições pessoais, a interação casa/trabalho, as questões da organização e ainda as condições ambientais, internas e externas (ambiente ao ar livre) (CLEMENTS-CROOME, 2001).

Bernolak (1997) acredita que um ponto fundamental para a melhoria da produtividade é mensurar a produção (bens, serviços), os recursos humanos e físicos utilizados e também as relações entre estes. Existem dois tipos principais de medida da produção, a produção física e a produção em valores monetários. Na medida da produção física consideram-se duas situações: um produto único ou poucos produtos assemelhados; ou ainda uma numerosa diversidade de produtos, com diferenciações seja de custo, de processo produtivo, entre outras. Já a medida da produção em valores monetários pode ser realizada pelo valor das vendas, da produção propriamente dita e pelo valor adicionado (MOREIRA, 2011).

Ainda conforme o mesmo autor, em muitas situações é mais vantajoso por facilitar as comparações ao longo do tempo expressar a produtividade por meio de índices, tomados com valor inicial 100 em um certo período base. Dessa forma, considerando-se a produtividade $Prod_t$ da equação (54) de um período qualquer, o índice equivalente será obtido dividindo-se $Prod_t$ pela produtividade absoluta do período base e multiplicando-se o resultado por 100, podendo ser classificados em:

- a) Índices parciais: referem-se aqueles que consideram apenas um único insumo, como por exemplo, a mão-de-obra, as matérias-primas, o capital ou a energia para o denominador da equação (54);
- b) Índices globais: nesse caso consideram dois ou mais insumos para o denominador da equação (54), sendo que, esses índices globais se subdividem em dois tipos:

- Produtividade Total dos Fatores (PTF), quando os insumos considerados são a mão-de-obra e o capital;
- Produtividade Múltipla dos Fatores (PMF), quando considera-se além dos insumos mão-de-obra e o capital, as matérias-primas e energia.

Conforme Bluysen (2010) a produtividade pode ser medida de três diferentes formas:

- Objetivamente: medindo a velocidade de trabalho e a precisão dos resultados, projetando para isso experimentos muito controlados com testes bem focados;

- Subjetivamente: usando escalas e questionários individuais estimados para avaliar as opiniões individuais das pessoas sobre seus trabalhos e o meio ambiente;
- Medidas combinadas: utilizando algumas medidas fisiológicas, como por exemplo, os ritmos cerebrais, para verificar se as variações nos padrões das respostas cerebrais se correlacionam com as respostas avaliadas por meio de questionários.

Portanto, as medidas de produção podem ser observadas como meios que facilitam a detecção de problemas, além de proporcionar o monitoramento do desempenho dos sistemas de produção. Logo, representam indicadores de eficiência, mas devem sempre ser analisadas no contexto em que se inserem (SILVA, L., 2001).

2.6.2 Relação entre condições térmicas e produtividade

É necessário atender as demandas dos trabalhadores com relação ao conforto dos ambientes no qual eles desenvolvem suas atividades. Para tanto, se faz necessária uma avaliação térmica. As condições térmicas do ambiente de trabalho devem satisfazer algumas premissas, para proporcionar assim, a sensação de conforto às pessoas (DUL; WEERDMEESTER, 2004).

Para Iida (2005) locais de trabalho com condições ambientais desfavoráveis ocasionam desconforto, aumentando o risco de acidentes, além de poder ocasionar sérios danos à saúde dos trabalhadores.

Em um contexto de melhoria das condições laborais, da qualidade de vida, da segurança e produtividade em um dado ambiente de trabalho, tem-se que considerar como variável imprescindível o ambiente térmico desse local, visto que, este tem um impacto significativo na produtividade, saúde e na segurança dos trabalhadores (COSTA, 2015).

Caso as condições térmicas do ambiente laboral ocasionem sensações de frio ou de calor, o organismo humano buscará a manutenção da temperatura corporal interna constante, por meio do balanço térmico do corpo humano, podendo representar uma redução do rendimento ou até a perda por completo da capacidade de trabalho e ainda provocar problemas de saúde para os trabalhadores (ANSI/ASHRAE 55, 2010). Fica evidente que as condições ambientais e suas implicações em diversos ambientes laborais originam um significativo impacto na produtividade e qualidade de vida nesses

locais, deixando clara a necessidade de conhecê-las (DIANAT; VAHEDI; DEHNAVI, 2016).

Luizetto (2014) afirma que deve ser provido conforto para os usuários e, conseqüentemente, condições para o desenvolvimento de suas atividades dentro da empresa. A criação de um ambiente termicamente confortável atualmente ainda é um dos parâmetros mais importantes a serem considerados no projeto de edifícios.

Pesquisas em torno dos ambientes de trabalho estão sendo realizadas com o objetivo de avaliar e melhorar o conforto nos postos de trabalho. Dessa forma, é possível adequar de maneira satisfatória a relação entre as atividades laborais e dos ambientes ao trabalhador. Um estudo realizado por Akimoto et al. (2010) em um escritório, retratou a influência e a importância do controle do conforto térmico no desempenho dos trabalhadores.

Fatores ambientais, organizacionais e psicológicos influenciam no desempenho do trabalho humano, interferindo no seu relacionamento com o ambiente de trabalho. A produtividade é consequência de manifestações fisiológicas, psicológicas e alterações neurais funcionais do ser humano (LAN; LIAN; PAN, 2010).

Quando os funcionários de determinado ambiente de trabalho encontram-se submetidos a condições térmicas quentes, isso pode desencadear uma falta de entusiasmo pelo trabalho realizado, tendo como decorrência um acréscimo da irritabilidade. Dessa maneira, os indivíduos desconfortáveis acabam deixando sua motivação de lado, tornando-se mais lentos, diminuindo a produtividade (GOMES, N., 2015). Costa (2015) afirma ainda que a produtividade depende do conforto ou do desconforto vivenciado pelas pessoas em seus ambientes laborais, intervindo, nas mais diversas áreas de trabalho.

A pesquisa realizada por Morgado, Teixeira e Talaia (2015) no interior de uma indústria de fabricação metalúrgica, mostrou que ao se controlar as condições do ambiente térmico, houve uma redução no número de acidentes de trabalho e fadiga dos trabalhadores. De maneira semelhante tem-se o trabalho realizado por Shahzad et al. (2015), cujos resultados indicam que o controle térmico aumenta o conforto e satisfação do usuário. Segundo Udrea et al. (2014) a exigência atual a nível mundial é aumentar o conforto térmico em edifícios residenciais e não residenciais.

Costa et al. (2011) relatam que a produtividade está diretamente correlacionada com o ambiente térmico. Como pode ser confirmando pela pesquisa de Witterseh, Wyon e Clausen (2004) com funcionários de um escritório, foi constatado que

temperaturas elevadas na faixa de 22 a 30° C apresentam efeitos negativos no desempenho do trabalho. Tendo o desempenho individual estimado diminuído pela exposição à faixa de temperatura mencionada anteriormente.

Em um ambiente interno, o conforto térmico tem forte influência sobre a produtividade e a satisfação dos ocupantes, de acordo com os estudos realizados por Castilla et al. (2011) e Kuznik, Virgone e Johannes (2011). Para Ismail et al. (2015), isso implica dizer que o nível de produtividade e satisfação dos ocupantes depende do conforto térmico.

Para Gosling e Araújo (2008) a produtividade está totalmente relacionada com a satisfação e o bem-estar dos trabalhadores, sendo assim, o conforto térmico é um fator essencial para se obter qualidade de vida no trabalho .

Liang et al. (2011) retratam que nos locais que são quentes e úmidos, o trabalho físico desenvolvido pelos trabalhadores fica submetido a riscos relacionados à saúde, diminuição da produtividade e problemas voltados à segurança dos mesmos. Daí a importância em se adotar não apenas medidas de engenharia, mas também de gestão para conseguir minimizar a exposição como também os impactos para os trabalhadores submetidos a ambientes térmicos que dispõem de condições extremas (COSTA et al., 2011)

No estudo de Krishnamurthy et al. (2017) desenvolvido em uma indústria siderúrgica observou-se por meio da análise estatística que os trabalhadores expostos a fontes diretas de calor, incluindo o calor radiante gerado pelos fornos, relataram perdas de produtividade significativamente altas comparadas com aqueles que tinham exposições indiretas ao calor. Já na pesquisa de Venugopal et al. (2016) dos 442 trabalhadores de dezoito locais de trabalho selecionados na Índia, 57% declararam ter experimentado perdas de produtividade devido ao estresse térmico.

Zander e Mathew (2019) identificaram o impacto econômico potencial do estresse térmico sobre os trabalhadores na Malásia urbana, analisando a perda de produtividade que eles associam ao estresse térmico. Descobriu-se que quase todos os entrevistados (99%) de uma amostra de 514 de uma pesquisa online às vezes sentem estresse térmico e também como resultado sentem-se menos produtivos. O número médio de dias em um ano em que as pessoas sentiram que a sua produtividade tinha sido comprometida por causa do stress por calor foi de 29 dias.

Assim, a perda média anual estimada de produtividade reduzida foi de 257 euros, quase 10% do rendimento médio anual dos participantes da pesquisa. Além disso,

os que trabalham em empregos mentalmente desafiadores são mais afetados pelo calor do que aqueles de trabalhos fisicamente intensos.

Nematchoua et al. (2019) investigaram 102 escritórios distribuídos em 23 edifícios nas regiões úmidas dos Camarões, durante duas temporadas (seca e chuvosa), tendo sido distribuídos simultaneamente 600 questionários. Os participantes atingiram a neutralidade térmica a 24,4 ° C e 23,5 ° C nas estações seca e chuvosa, respectivamente. Mais de 80% dos trabalhadores acharam o ambiente confortável a 23,5 ° C durante ambas as estações. O desempenho auto-estimado aumentou quando a temperatura ficou na faixa de 17,5 a 23,4 ° C. O desempenho ótimo foi observado quando o voto da sensação térmica foi neutro; enquanto isso, o desconforto térmico total foi registrado acima de 28 ° C, o que reduziu drasticamente o desempenho do trabalhador.

Wang et al. (2019) realizaram um estudo em que propõe um método para investigar o efeito das condições térmicas internas no desempenho dos ocupantes, estudando a carga mental dos ocupantes medida pela eletroencefalografia (EEG) quando realizam tarefas cognitivas padronizadas. A carga de trabalho mental dos sujeitos foi determinada usando um fone de ouvido EEG sem fio de baixo custo que a pessoa usou enquanto realizava as tarefas cognitivas para entender como o ambiente térmico afeta o desempenho dos ocupantes.

Esse experimento aconteceu com 15 indivíduos. Comparações entre indivíduos foram realizadas para investigar se a carga de trabalho mental dos sujeitos é estatisticamente diferente sob três ambientes térmicos diferentes, representando sensações térmicas de um pouco frio, neutro e ligeiramente quente. Os pontos de ajuste de temperatura do ambiente interno foram baseados no modelo PMV, representando a sensação térmica dos ocupantes de um pouco frio (21,7 ° C / 71,1 ° F), neutro (25,2 ° C / 77,4 ° F) e ligeiramente quente (28,6 ° C / 83,5 ° F).

Os resultados mostram que o efeito do ambiente térmico varia entre diferentes indivíduos. Ao comparar o índice de carga de trabalho mental entre diferentes ambientes térmicos, descobriu-se que o ambiente levemente aquecido resultou em uma carga mental relativamente maior do que os outros dois ambientes para alcançar o mesmo desempenho.

Chang e Kajackaite (2019) realizaram uma pesquisa onde constataram diferenças no efeito da temperatura no desempenho cognitivo por gênero em um grande experimento controlado em laboratório, com 543 estudantes em Berlim, Alemanha. Em temperaturas mais altas, as mulheres têm melhor desempenho em tarefas matemáticas e

verbais, enquanto o efeito reverso é observado em homens. O aumento do desempenho feminino em resposta a temperaturas mais altas é significativamente maior e mais precisamente estimado do que a correspondente diminuição no desempenho masculino.

Em contraste com as tarefas matemáticas e verbais, a temperatura não tem impacto em uma medida de reflexão cognitiva para ambos os sexos. Em conjunto, estes resultados mostram que dentro de uma faixa de temperatura de 16 a 33 graus Celsius, as mulheres geralmente apresentam melhor desempenho cognitivo no final da distribuição da temperatura, enquanto os homens se saem melhor em temperaturas mais baixas.

A pesquisa de Levi, Kjellstrom e Baldasseroni (2018) tinha como objetivo por meio de uma revisão sistemática resumir as evidências epidemiológicas dos efeitos da exposição ao calor relacionada com o aquecimento global na saúde e produtividade dos trabalhadores. Detectaram perda de horas de trabalho em dias quentes e a redução da eficiência do trabalho, além dos dias perdidos devido às doenças/lesões relacionadas ao calor também resultando em perdas de produtividade.

Kjellstrom et al. (2016) verificaram que a redução da produtividade do trabalho durante o dia atualmente é de até 10% em áreas particularmente quentes do mundo e pode chegar a 30-40% até 2085. Consequentemente os impactos sociais e econômicos serão consideráveis, com perdas globais no produto interno bruto (PIB) superiores a 20% até 2100.

Dear (2018) afirma que trabalhadores expostos a altas temperaturas em ambientes, internos ou externos, trabalham mais devagar. Reforça também o fato de que os poucos estudos que mediram essa perda de produtividade não mostram um grau de consistência em configurações amplamente variadas.

Em contrapartida com os estudos anteriores, Mateo-Cecilia et al. (2018) desenvolveram uma pesquisa baseada em medidas sincronizadas de três diferentes parâmetros (ruído, iluminação e temperatura) e bem-estar do empregado, sintomas relacionados à saúde e desempenho de 71 funcionários em doze escritórios na Comunidade Valenciana ao longo de três períodos considerando as condições de inverno e verão, para dois tipos de trabalho em escritórios: trabalho de baixa complexidade e trabalho de alta complexidade.

Como resultados destaca-se que os dados do período de inverno sugerem a existência de diferentes parâmetros ideais para diferentes níveis de complexidade de tarefas (uma das dimensões que caracterizam os padrões de trabalho) no clima

mediterrâneo. Porém, em relação às faixas ótimas de temperatura, os achados deste estudo mostraram diferenças estatisticamente não significativas neste parâmetro.

Dessa forma, percebe-se com os diferentes estudos que a produtividade e a qualidade com que uma determinada atividade é desempenhada estão diretamente relacionadas com as condições de trabalho do local onde esta atividade está sendo desenvolvida. Muitas vezes, o ambiente no qual os trabalhadores exercem suas atividades não apresentam condições térmicas favoráveis, o que influencia diretamente no desempenho dos mesmos.

Portanto, é um grande desafio proporcionar a esses usuários um ambiente adequado que responda às suas necessidades e permita a realização das atividades sem ocasionar maior esforço na realização de tarefas, insatisfação e impactos na saúde dos usuários, por meio de doenças laborais, comprometendo o desempenho e a segurança. (ELY; TURKIENICZ, 2005).

O bem-estar e a saúde dos trabalhadores devem ser mantidos pelas organizações nas quais exercem suas profissões. Para isso, devem-se buscar constantemente condições de conforto e segurança nos ambientes de trabalho.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo se refere aos aspectos metodológicos utilizados para alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos propostos nesta pesquisa. A seguir são apresentadas a classificação da pesquisa, a população e amostra das unidades em estudo, as variáveis e indicadores, bem como a coleta de dados, englobando a coleta das variáveis ambientais, pessoais e dos dados referentes à produtividade dos trabalhadores. Foram ainda determinados o PMV e o PPD para a unidade climatizada. Já para a unidade não climatizada foi estabelecida a taxa requerida de suor e a fração de pele molhada requerida. E por fim, tem-se o tratamento e análise dos dados.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O tipo de pesquisa adotado para este estudo do ponto de vista da sua natureza é a Pesquisa Aplicada, pois se tem o interesse em adquirir conhecimento para solucionar um problema específico, no caso a influência das condições termoambientais e pessoais na produtividade de trabalhadores em uma empresa de logística em João Pessoa na Paraíba.

Com relação à forma de abordagem, ela se enquadra como quantitativa. Já que, ocorreu a mensuração das variáveis ambientais: temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido, média radiante e de globo, umidade relativa e velocidade do ar; das variáveis pessoais: taxa metabólica e resistência térmica das vestimentas utilizadas; e da produtividade dos trabalhadores dos setores em estudo.

Por sua vez, do ponto de vista dos objetivos, a mesma pode ser classificada como Pesquisa Exploratória, uma vez que, a partir dela desenvolve-se uma aproximação com a problemática em questão, apresentando-se em forma de revisão bibliográfica.

Com relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa enquadra-se como Pesquisa Experimental e Estudo de Caso. De maneira que a pesquisa experimental foi importante, por auxiliar na compreensão da relação entre as causas e os efeitos que influenciavam o problema em questão. E o estudo de caso, por se ter o interesse em um estudo mais completo, amplo e profundo.

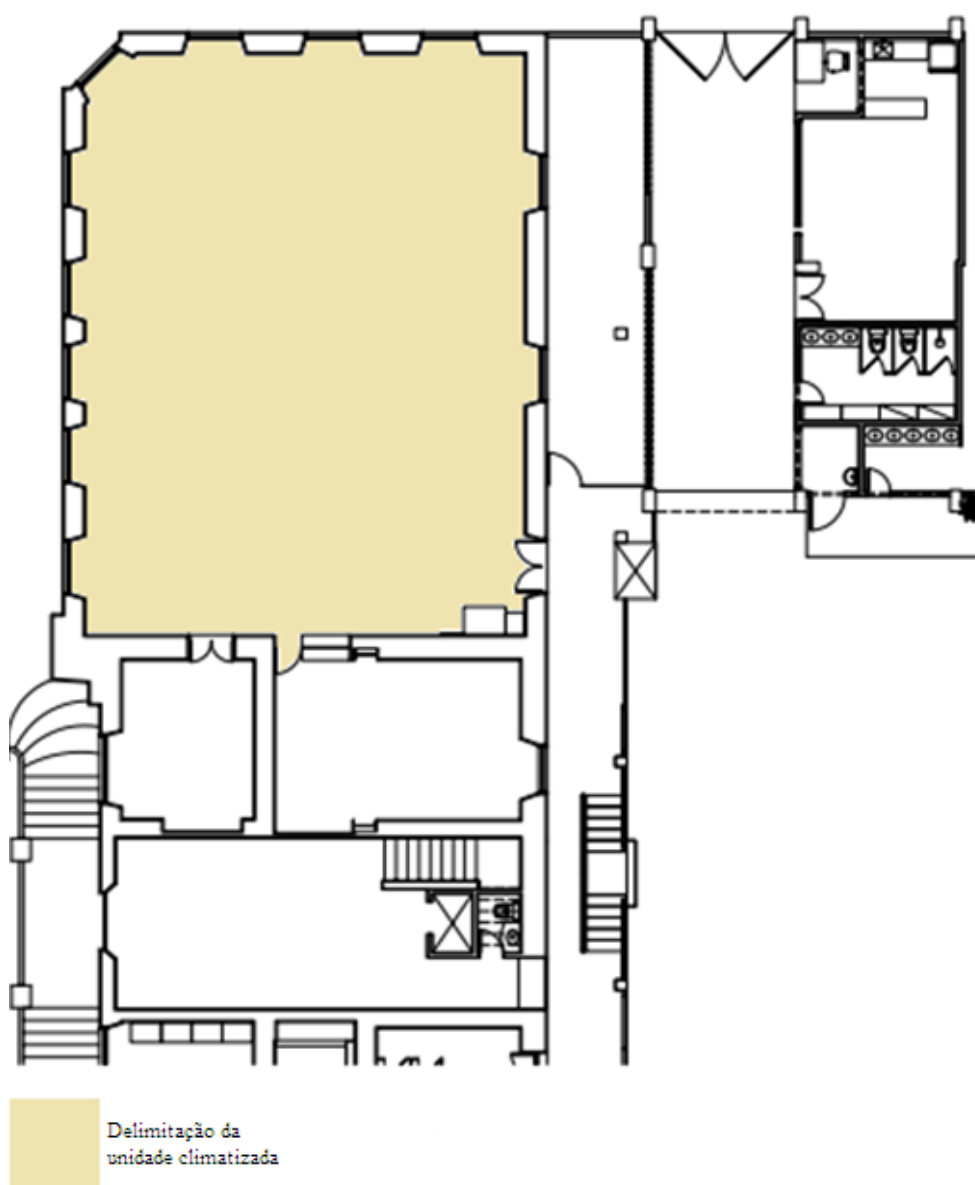
3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Os dados desta pesquisa foram coletados em duas unidades de uma empresa de logística, sendo uma climatizada e a outra não climatizada, ambas situadas em João Pessoa, no Estado da Paraíba.

3.2.1 Unidade Climatizada

A unidade climatizada apresenta uma área de 426,67 m² e conta com uma central de ar condicionado.

Figura 5 - Delimitação da unidade climatizada



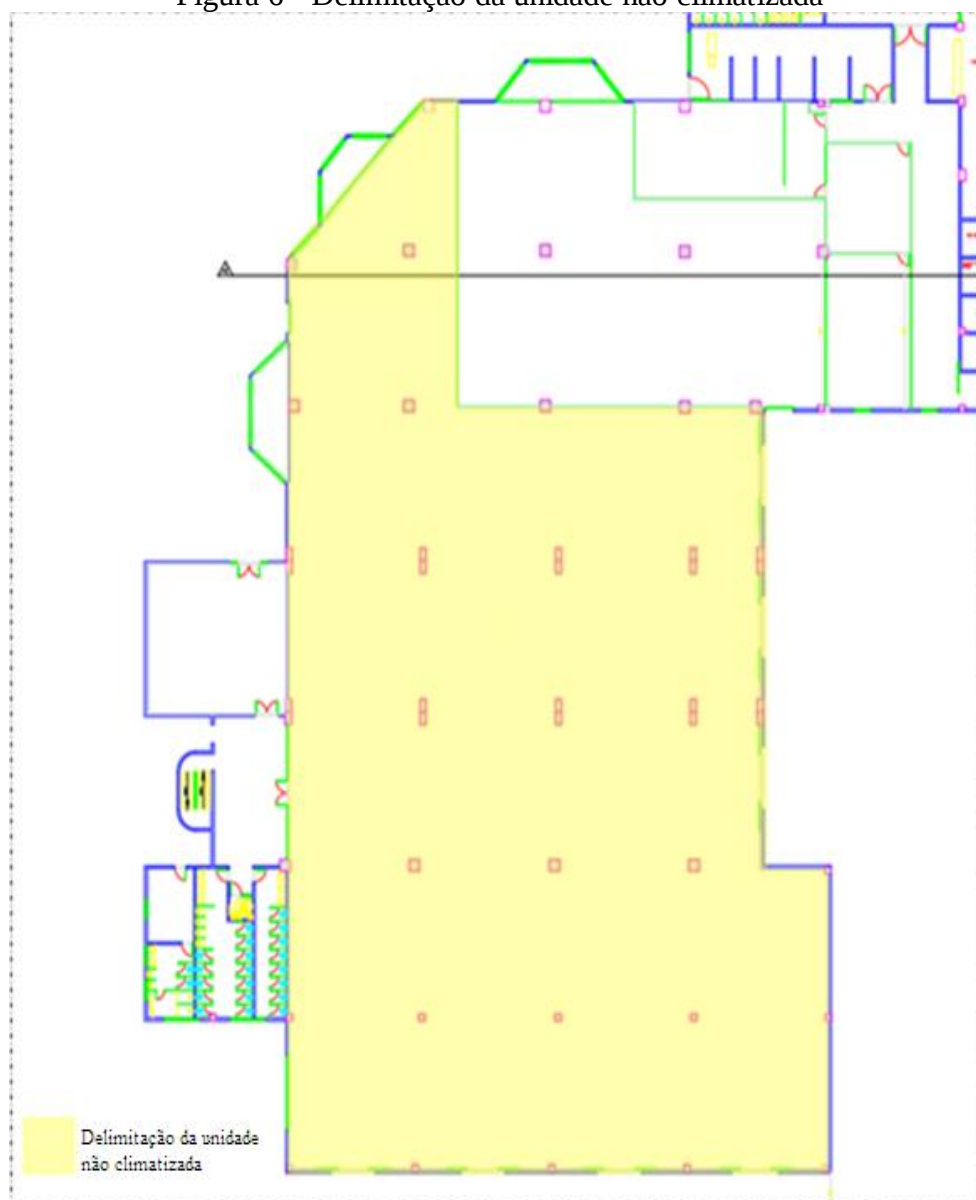
Fonte: Empresa de Logística (2019)

A amostra de trabalhadores que participaram da pesquisa foi de 19 trabalhadores, sendo todos do sexo masculino. Vale destacar que, ao longo dos dias de pesquisa, alguns trabalhadores dessa amostra faltaram o trabalho.

3.2.2 Unidade Não Climatizada

A unidade não climatizada por sua vez, apresenta uma área de 2.101,00m².

Figura 6 - Delimitação da unidade não climatizada



Fonte: Empresa de Logística (2019)

A amostra de trabalhadores que participaram da pesquisa foi de 26 trabalhadores, sendo todos também do sexo masculino. De maneira similar, ao longo dos dias de pesquisa, alguns trabalhadores dessa amostra faltaram o trabalho.

3.3 VARIÁVEIS E INDICADORES

As variáveis desta pesquisa e seus respectivos indicadores estão detalhados no quadro (4). Porém, vale destacar que uma dessas variáveis, a temperatura média radiante é calculada a partir de outras variáveis, mesmo assim, optou-se em inseri-lá no quadro para um melhor entendimento.

Quadro 4 - Variáveis e Indicadores da Pesquisa

Variáveis	Indicadores
Pessoais	Taxa metabólica - M Isolamento térmico das vestimentas - I_{cl}
Ambientais	Temperatura do ar - t_a Temperatura de bulbo úmido - t_u Temperatura média radiante - t_{rm} Velocidade relativa do ar - V_a Umidade relativa - UR Temperatura de globo - t_g
Desempenho	Produtividade do trabalhador/minuto

Fonte: Elaboração Própria (2019)

3.4 COLETA DE DADOS

A coleta dos dados ocorreu nos meses de maio e junho de 2019, totalizando 13 dias de coleta, sendo estes: 15, 16, 22, 23, 28, 29 e 30 de maio; 4, 5, 6, 11, 12 e 13 de junho. Iniciando sempre no horário de 07:30 até 11 horas. Podendo ser subdividida em: coleta das variáveis ambientais, pessoais e produtividade dos trabalhadores. É importante frisar que, a coleta não se prolongou até o período da tarde, pois o objetivo era coletar os dados durante a atividade de ordenamento e esta acontece no período da manhã. Ressalta-se ainda que, as coletas foram realizadas em 13 dias, visto que, esse foi o período autorizado pela empresa para realização da pesquisa.

3.4.1 Coleta das variáveis ambientais

As variáveis ambientais temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) foram medidas

simultaneamente nas duas unidades do estudo, utilizando medidores de estresse térmico da marca *Instrutherm*, modelo TGD – 300 (Figura 7), fabricados no Brasil. Por sua vez, a variável ambiental velocidade do ar (m/s) foi medida por meio de anemômetros da marca *Instrutherm*, modelo TAFR -180 (Figura 8), também fabricados no Brasil. A variável temperatura média radiante, foi calculada considerando-se a convecção forçada, usando para isso a equação (3) presente no tópico 2.4.2.

Figura 7 - Medidor de estresse térmico da marca *Instrutherm*



Fonte: http://www.cliomed.com.br/saiba_mais (2019)

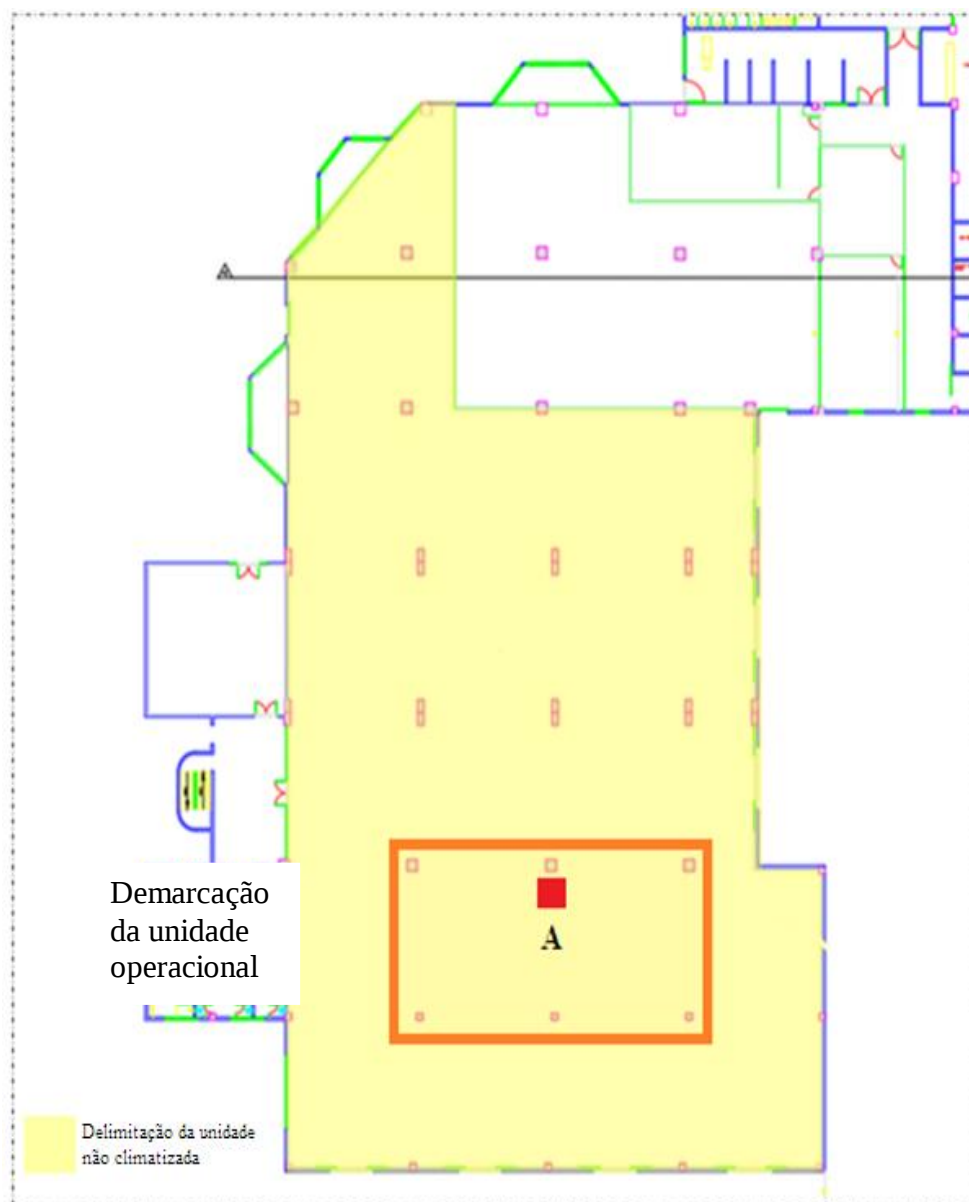
Figura 8 - Anemômetro da marca *Instrutherm*



Fonte: <http://catalogo.tecnoferramentas.com.br/produtos/instrutherm/anemometro/termo-anemometro-digital-portatil-de-fio-quente-tafr180> (2019)

De acordo com a norma ISO 7726 (1998) os referidos equipamentos foram colocados no local onde os trabalhadores realizavam a atividade à altura do abdômen. Os dados foram registrados a cada minuto. Na Figura (9) observa-se a unidade não climatizada com uma identificação, um retângulo laranja, que diz respeito à localização dos trabalhadores responsáveis pela atividade de ordenamento na unidade e o Ponto (A) que corresponde ao local onde foram instalados os equipamentos.

Figura 9 - Posicionamento dos equipamentos para a coleta de dados da unidade não climatizada



Fonte: Empresa de Logística (2019)

Já para a unidade climatizada os equipamentos foram instalados conforme o Ponto (B) como pode ser observado na Figura (10).

3.4.3 Coleta de dados referentes à produtividade dos trabalhadores

A produtividade dos trabalhadores foi calculada durante a atividade de ordenamento, atividade esta em que os trabalhadores colocam os objetos na sequência em que serão entregues aos destinatários. Optou-se por esta atividade, por ela ser semelhante nas duas unidades. Vale frisar que essa produtividade foi medida para cada trabalhador pertencente a amostra selecionada para participar desta pesquisa referente tanto a unidade climatizada como a unidade não climatizada. Sendo medida com o auxílio de um cronômetro.

Para obter uma melhor representatividade nos cálculos dessa produtividade, fez-se necessário selecionar o maior número de funcionários possíveis para participar da amostra referente as duas unidades, diante disso, como a atividade de ordenamento nas unidades estudadas tem uma curta duração, a unidade de tempo selecionada para analisar a produtividade de cada trabalhador foi em minutos, ficando portanto, objeto ordenado/minuto. Logo, a produtividade dos trabalhadores de ambas as unidades foi analisada por meio de planilhas do programa *Microsoft Excel*.

3.4.3.1 Unidade Climatizada

Na unidade climatizada a atividade de ordenamento inicia-se por volta de 09 horas e dura em média 1 hora. A produtividade de cada trabalhador foi medida por meio da unidade objeto ordenado/minuto.

3.4.3.2 Unidade Não Climatizada

Na unidade não climatizada a atividade de ordenamento inicia-se por volta de 08 horas e dura em média 1 hora e 30 minutos. A produtividade de cada trabalhador nesta unidade foi medida por meio da unidade objeto ordenado/minuto.

3.5 DETERMINAÇÃO DO PMV E DO PPD

O PMV e o PPD foram calculados para a unidade climatizada segundo as diretrizes da ISO 7730 (2005). Esse cálculo foi feito pela livraria “comf” do *software R-Project*, versão 3.4.4., usando a função “calcPMVPPD”.

3.6 DETERMINAÇÃO DA TAXA REQUERIDA DE SUOR E DA FRAÇÃO DE PELE MOLHADA REQUERIDA

A taxa requerida de suor e a fração de pele molhada requerida foram obtidas a partir do balanço térmico da pessoa conforme a norma ISO 7933 (1989), utilizando para isso o *software Analysis CST* desenvolvido pelo LABEEE/NPC da UFSC. Após a inserção das variáveis ambientais e pessoais já determinadas neste estudo.

3.7 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

O tratamento dos dados coletados ocorreu para facilitar o entedimento e possibilitar uma melhor compreensão. Para isso, realizou-se tanto análises descritivas, como a construção de um modelo matemático.

Após as coletas em campo, os dados foram tabulados no programa *Microsoft Excel*, tendo assim as variáveis organizadas, auxiliando ainda na criação de gráficos e também nos cálculos das análises descritivas.

A análise descritiva determinou medidas de tendência central e medidas de variabilidade ou dispersão, sendo estas a média e o desvio padrão para as seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, temperatura de globo, temperatura média radiante e velocidade do ar. Tais análises também foram realizadas para o PMV, PPD, SW_{req} e w_{req} .

A fim de identificar o grau de certeza da ligação entre a produtividade de cada trabalhador, as variáveis ambientais, pessoais e o PMV e PPD para a unidade climatizada e SW_{req} e w_{req} para a unidade não climatizada realizou-se correlações para as duas unidades em estudo.

Para realizar essas correlações foram adotados alguns passos. Inicialmente, se verificou a proximidade das variáveis com a curva de distribuição normal. Posteriormente, determinou-se o teste estatístico mais adequado para avaliar as variáveis de cada unidade em estudo. Por fim, as correlações foram realizadas com o

auxílio do *software R-Project*, versão 3.4.4., desenvolvido por Ross Ihaka e Robert Gentleman no departamento de Estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia.

Construiu-se ainda um modelo de regressão linear múltiplo a fim de identificar o impacto na produtividade das variáveis ambientais e pessoais. A variável produtividade foi considerada a variável dependente e as variáveis independentes foram as variáveis ambientais e pessoais.

A construção desse modelo aconteceu em algumas etapas. A princípio realizou-se os Testes F e T, a fim de examinar os coeficientes do modelo. Feito isso, investigou-se possíveis pontos de alavanca. Obteve-se assim, o modelo ajustado, que necessita que os Testes F e T sejam novamente realizados agora para esse modelo, para averiguar seus coeficientes. Na sequência um gráfico foi construído para averiguar se esse modelo ajustado conta com algum ponto de alavanca. Depois dessa verificação, esse modelo ajustado foi validado por meio dos pressupostos, sendo eles: normalidade dos resíduos padronizados, homocedasticidade, correlação serial e multicolinearidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

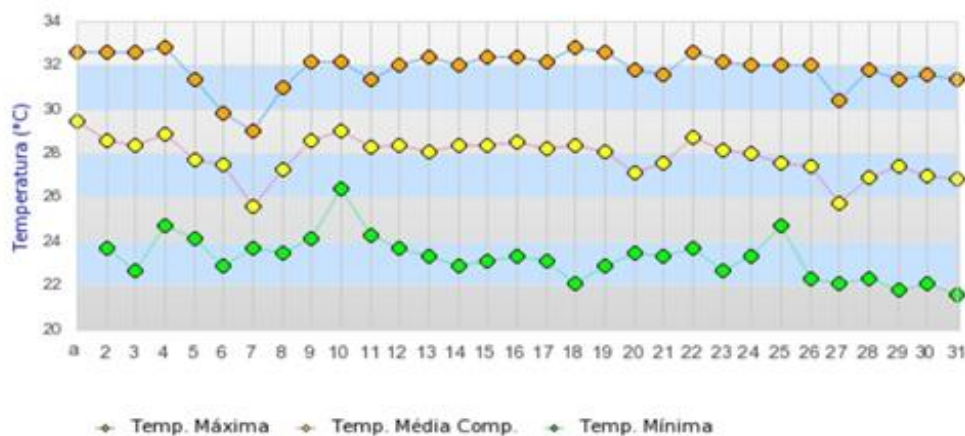
Este capítulo retrata e discute os resultados obtidos nesta pesquisa, respondendo ao objetivo geral e aos objetivos específicos, mostrando, para as duas unidades em estudo, os valores das variáveis ambientais, pessoais e da produtividade dos trabalhadores. Apresenta o PMV e o PPD para a unidade climatizada e a SW_{req} e w_{req} para a unidade não climatizada. Investiga a associação entre as variáveis (ambientais e pessoais), produtividade e os métodos de avaliação térmica em cada unidade. Além da construção de um modelo matemático que apresenta o impacto na produtividade das variáveis ambientais e pessoais.

Vale destacar que, inicialmente foi realizada uma análise das condições climáticas de João Pessoa no período das medições, visto que, as duas unidades em que foi desenvolvida esta pesquisa localizam-se nesta cidade. Pelo fato de uma delas não ser climatizada, fez-se necessário averiguar as questões referentes à temperatura e acúmulo de chuva durante os dias de coleta. Na sequência para facilitar a compreensão optou-se por analisar cada unidade separadamente e por fim tem-se a modelagem matemática.

4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE JOÃO PESSOA

A cidade de João Pessoa apresenta um clima tropical quente e úmido. Para os meses de maio e junho de 2019, em que foram realizadas as medições as temperaturas médias foram as apresentadas nos Gráficos (1) e (2); a quantidade de chuvas acumuladas em 24 horas neste período, são representadas pelos Gráficos (3) e (4). Destaca-se que os dias em que ocorreram as medições foram: 15, 16, 22, 23, 28, 29 e 30 de maio; e 4, 5, 6, 11, 12 e 13 de junho.

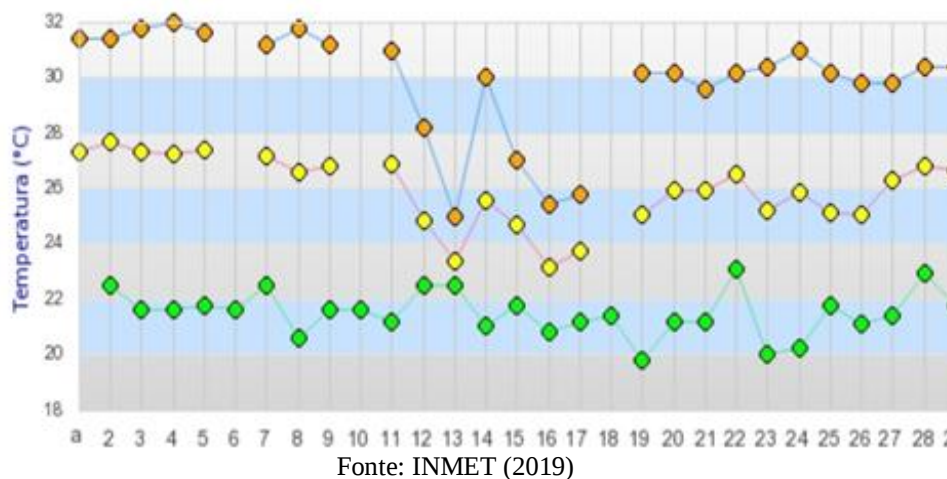
Gráfico 1 - Temperaturas Diárias (Máxima, Mínima e Média) de maio de 2019 em João Pessoa



Fonte: INMET (2019)

Observa-se que nos dias 15, 16, 22 e 23 de maio as temperaturas médias estavam compreendidas no intervalo entre 28° C a 30° C. Já nos dias 28, 29 e 30 do mesmo mês, as temperaturas médias apresentavam-se entre 26° C a 28° C.

Gráfico 2 - Temperaturas Diárias (Máxima, Mínima e Média) de junho de 2019 em João Pessoa

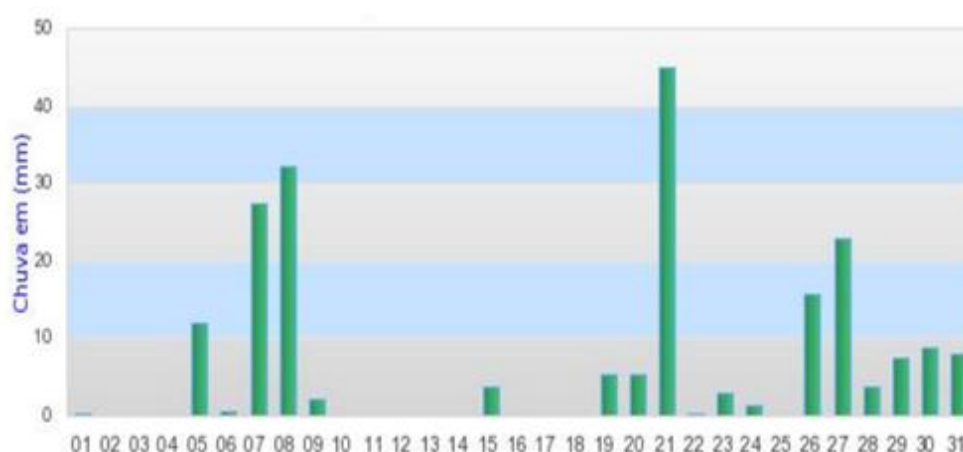


Fonte: INMET (2019)

Considerando-se o mês de junho, tem-se que os dias 4, 5 e 11 apresentam as temperaturas médias entre 26° C a 28° C; o dia 12 por sua vez, teve sua temperatura média entre 24° C a 26° C; e no dia 13 a temperatura média esteve entre 22° C a 24° C. As temperaturas médias e máximas não constam no Gráfico (2) para o dia 6.

Assim, percebe-se que durante as medições, os dias 12 e 13 de junho apresentaram as temperaturas médias mais baixas.

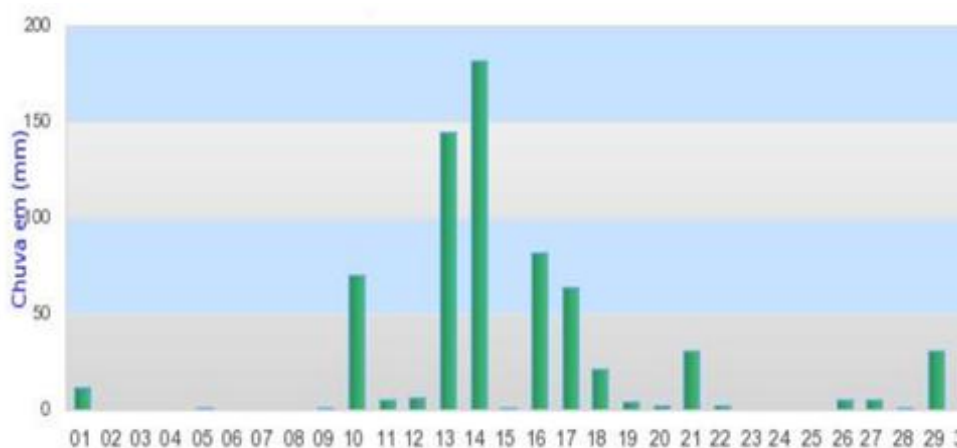
Gráfico 3 - Chuvas acumuladas em 24 horas no mês de maio de 2019 em João Pessoa



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Os dias 15, 22, 23, 28, 29 e 30 de maio apresentaram chuvas diárias de até 10 milímetros. Já no dia 16 não choveu.

Gráfico 4 - Chuvas acumuladas em 24 horas no mês de junho de 2019 em João Pessoa



Fonte: INMET (2019)

Investigando-se o mês de junho, conclui-se que, os dias 5, 11 e 12 tiveram chuvas de até 50 milímetros; já o dia 13 apresentou chuvas de até 150 milímetros. Por sua vez, nos dias 4 e 6 não houveram chuvas.

No intervalo de medições, com relação às chuvas acumuladas destaca-se que o dia 13 de junho apresentou o maior acúmulo de chuvas em 24 horas.

4.2 UNIDADE CLIMATIZADA (UC)

4.2.1 Análise das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento

Neste tópico tem-se a análise das variáveis ambientais durante a realização da atividade de ordenamento pelos trabalhadores da UC, esta inicia-se por volta de 9 horas, com duração aproximada de 1 hora. Assim, a Tabela (3) retrata para os treze dias de medições a média e o desvio padrão das variáveis temperatura do ar (t_a), temperatura de bulbo úmido (t_u), temperatura média radiante (t_{rm}), temperatura de globo (t_g), velocidade do ar (V_a) e umidade relativa do ar (UR). Vale destacar que nos dias 22 e 23 de maio, a central de ar condicionado foi desligada para auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa. Esse fato aconteceu em apenas dois dias, pois foi o permitido pela empresa estudada.

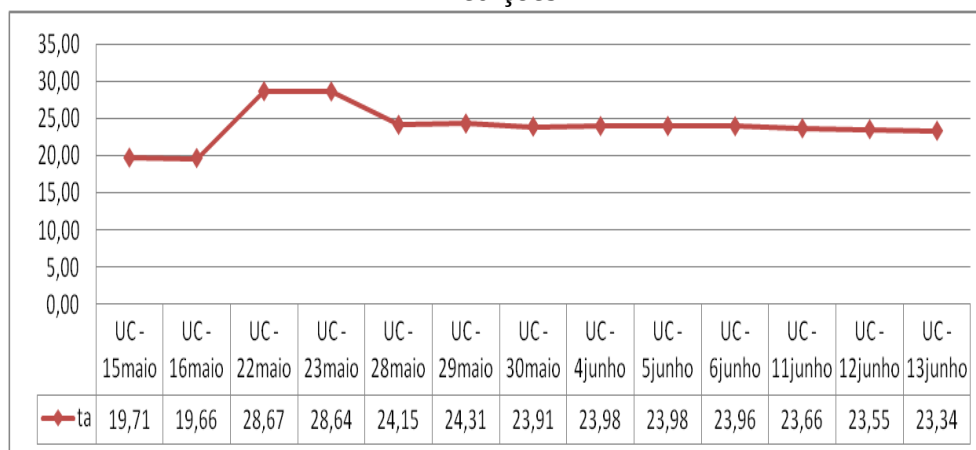
Tabela 3 - Média e desvio padrão das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento para os 13 dias de medições

	15/mai		16/mai		22/mai		23/mai		28/mai		29/mai		30/mai		04/jun		05/jun		06/jun		11/jun		12/jun		13/jun	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
ta (° C)	19,71	0,15	19,66	0,15	28,67	0,12	28,64	0,10	24,15	0,09	24,31	0,06	23,91	0,07	23,98	0,04	23,98	0,11	23,96	0,11	23,66	0,06	23,55	0,06	23,34	0,05
tu (° C)	17,51	0,10	17,29	0,17	26,05	0,21	26,33	0,08	21,51	0,11	21,69	0,09	21,01	0,05	21,12	0,06	21,12	0,12	21,03	0,14	20,79	0,12	20,81	0,04	20,82	0,10
trm (° C)	20,51	0,13	20,30	0,17	28,53	0,16	28,54	0,20	24,79	0,17	24,97	0,10	24,38	0,08	24,42	0,10	24,60	0,15	24,58	0,17	24,32	0,11	24,29	0,13	24,02	0,11
tg (° C)	20,08	0,11	19,95	0,14	28,62	0,10	28,61	0,10	24,38	0,11	24,57	0,05	24,13	0,05	24,19	0,04	24,24	0,12	24,20	0,10	23,97	0,05	23,86	0,08	23,62	0,04
UR (%)	80,64	0,42	79,16	0,65	81,33	1,30	83,35	0,84	79,29	0,29	79,34	0,40	77,31	0,36	77,61	0,40	77,47	0,36	77,08	0,51	77,41	0,41	78,27	0,55	79,88	0,58
Va (m/s)	0,30	0,00	0,30	0,00	0,50	0,00	0,80	0,00	0,60	0,00	0,50	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,40	0,00	0,50	0,00	0,30	0,00	0,40	0,00	0,40	0,00

Fonte: Elaboração Própria (2019)

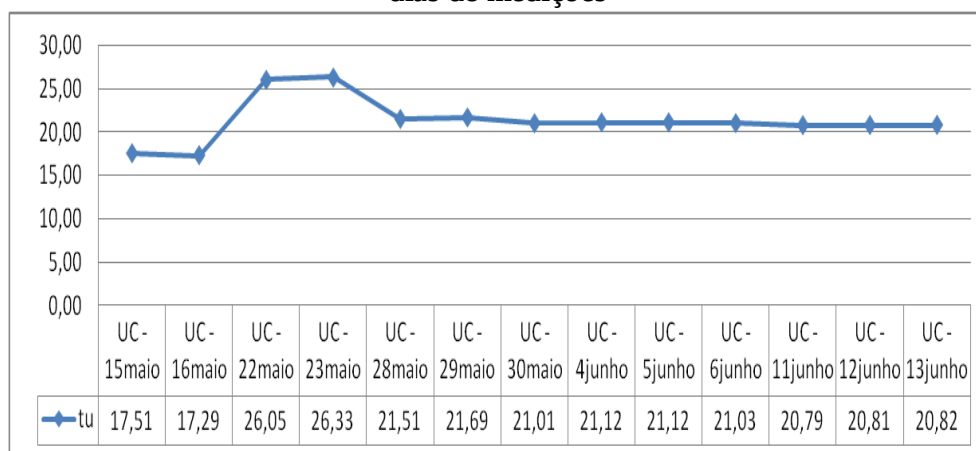
Para facilitar a compreensão e melhorar a visualização, optou-se por fazer representações gráficas das médias das variáveis ambientais coletas durante a atividade de ordenamento realizada pelos trabalhadores na UC durante os treze dias de medições, que podem ser observadas a seguir:

Gráfico 5 - Temperatura média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



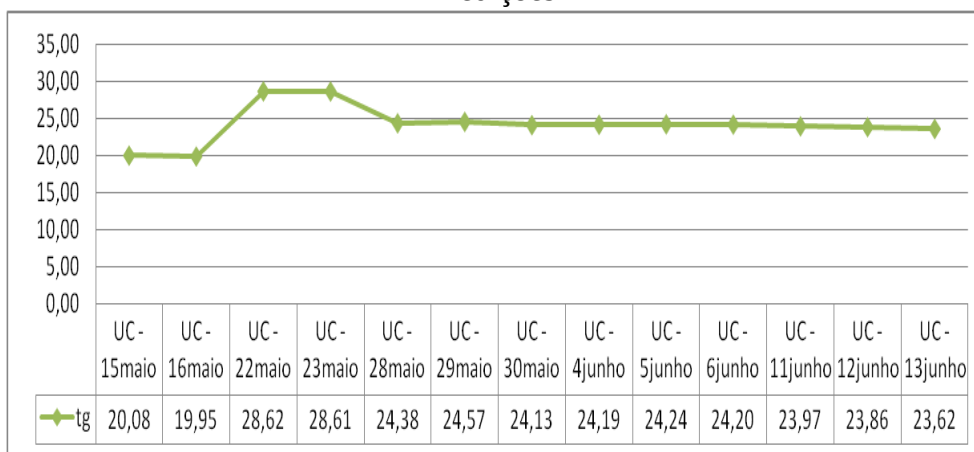
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 6 - Temperatura média de bulbo úmido durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



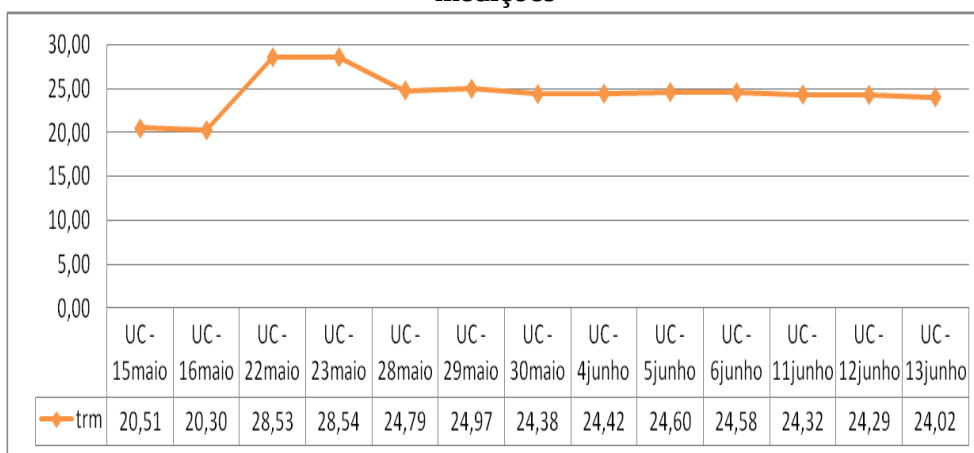
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 7 - Temperatura média de globo durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



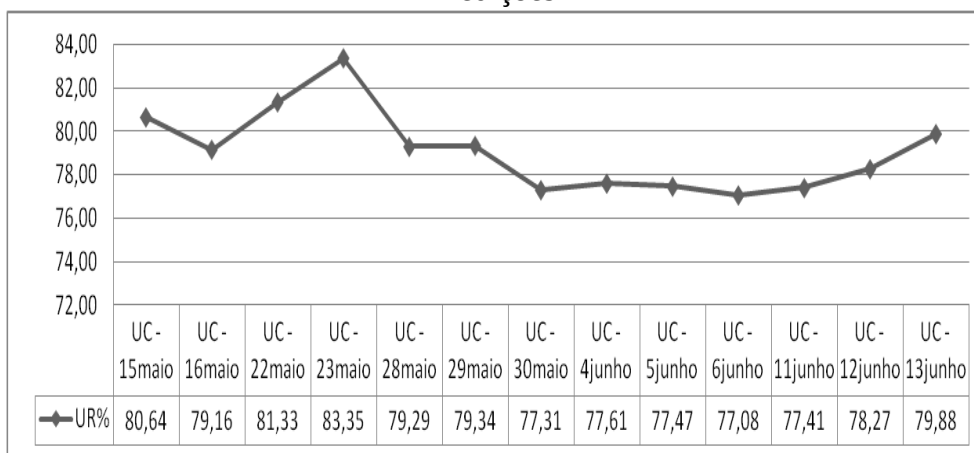
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 8 - Temperatura média radiante durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



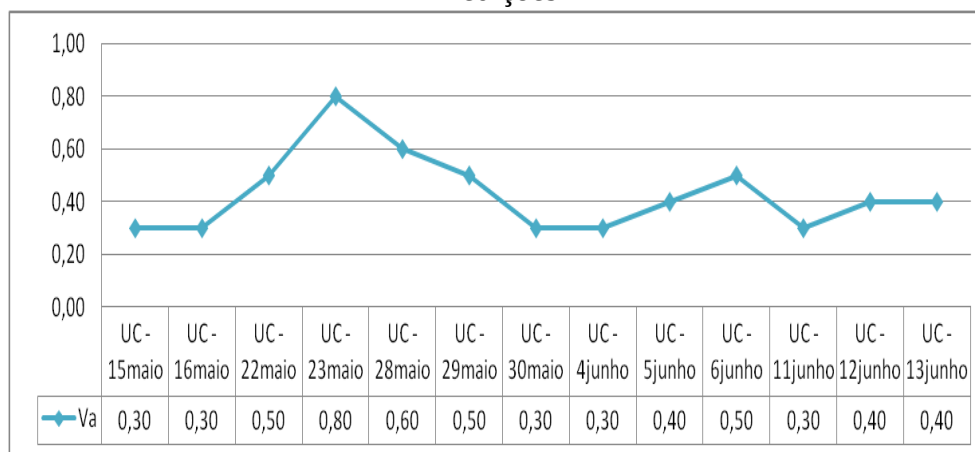
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 9 - Umidade relativa do ar média durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 10 - Velocidade média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Analisando a temperatura média do ar, os dias 15 e 16 de maio tiveram os valores 19, 71° C e 19, 66° C. Já para os dias 22 e 23 de maio, quando o sistema de ar condicionado encontrava-se desligado, foram obtidos valores acima de 28° C. Por sua vez, os dias 28, 29 e 30 de maio como os dias 4, 5, 6, 11, 12 e 13 de junho apresentaram valores entre 23°C e 24°C.

Percebe-se que com relação à temperatura média de bulbo úmido os dias 15 e 16 de maio tiveram os valores 17, 51° C e 17, 29° C. Para os dias 22 e 23 de maio, quando o sistema de ar condicionado encontrava-se desligado, os valores estavam acima de 26° C. Já para os demais dias de maio e junho os valores variaram entre 20°C e 21°C, comportamento coerente do ponto de vista psicrométrico.

A temperatura média de globo nos dias 15 e 16 de maio apresentou valores compreendidos entre 19°C e 20° C. Nos dias sem ar condicionado, os valores estavam acima 28° C. Enquanto nos outros dias tiveram valores entre 23°C e 24°C.

Já a temperatura média radiante nos dias 15 e 16 de maio teve os valores 20, 51° C e 20, 30° C. Nos dias sem ar condicionado os valores estavam acima de 28° C, e nos outros dias apresentaram valores na faixa dos 24°C.

Quanto à umidade relativa do ar média, nos dias 15 e 16 de maio seus valores estiveram entre 79% e 80%. Nos dias sem ar condicionado, os valores estavam entre 81% a 83 %. Nos demais dias os valores apresentavam-se entre 77% a 79%.

Por sua vez, obteve-se para a velocidade média do ar nos dias 15 e 16 de maio os valores de 0,30 m/s. Nos dias sem ar condicionado, os valores foram 0,50 m/s e 0,80 m/s. Nos outros dias os valores situaram-se entre 0,30 m/s a 0,60 m/s.

4.2.2 Análise das Variáveis pessoais

A taxa metabólica dos trabalhadores da UC foi obtida por meio da análise da atividade de ordenamento, sendo a mesma para todos os trabalhadores da amostra, já que todos desenvolvem esta mesma atividade.

A atividade de ordenamento acontece com os trabalhadores sentados, de modo que, requer uma movimentação leve das mãos, portanto se adotou o valor de 70 W/m^2 ou $1,20 \text{ met}$, conforme estabelecido pela Tabela A2 da norma ISO 8996 (2004).

Por sua vez, a vestimenta é padrão para todos os trabalhadores. É composta por cueca, camisa de manga curta ou camisa de manga longa, calça normal, meia longa grossa e bota.

O isolamento térmico das vestimentas foi determinado pela soma dos valores do isolamento para as peças de roupas individuais, de acordo com as diretrizes da norma ISO 7730 (2005), conforme as Tabelas (4) e (5).

Tabela 4 - Isolamento térmico da vestimenta considerando Camisa de Manga Curta

Valores em clo		
Isolamento térmico da vestimenta (Icl)	Roupa de baixo	0,03
	Camisa de manga curta	0,15
	Calça normal	0,25
	Meia Longa grossa	0,10
	Bota	0,10
	Total	0,63

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Tabela 5 - Isolamento térmico da vestimenta considerando Camisa de Manga Longa

Valores em clo		
Isolamento térmico da vestimenta (Icl)	Roupa de baixo	0,03
	Camisa de manga longa normal	0,25
	Calça normal	0,25
	Meia Longa grossa	0,10
	Bota	0,10
	Total	0,73

Fonte: Elaboração Própria (2019)

De modo que, para a vestimenta com camisa de manga curta foi encontrado o valor de $0,63 \text{ clo}$, já se considerando camisa de manga longa o valor foi de $0,73 \text{ clo}$.

4.2.3 Análise do PMV e PPD

Esse tópico apresenta os resultados para as médias e o desvio padrão do PMV e do PPD da UC durante os treze dias de medições, conforme as diretrizes da norma ISO 7730 (2005). Esse cálculo foi feito pela livreria “comf” do *software R-Project*, versão 3.4.4., usando a função “calcPMVPPD”. Assim, os resultados obtidos para as médias e o desvio padrão do PMV e do PPD para os treze dias de coleta estão apresentados na Tabela (6).

Tabela 6 - Média e Desvio Padrão para o PMV e PPD considerando os 13 dias de medições

	PMV		PPD	
Dias de coleta	Média	DP	Média	DP
15/mai	-1,32	0,16	41,38	7,89
16/mai	-1,30	0,15	40,53	7,90
22/mai	1,34	0,08	42,35	4,06
23/mai	1,26	0,09	38,49	4,43
28/mai	-0,21	0,14	6,31	1,21
29/mai	-0,09	0,12	5,45	0,36
30/mai	-0,04	0,11	5,27	0,21
04/jun	-0,05	0,10	5,27	0,11
05/jun	-0,12	0,13	5,62	0,60
06/jun	-0,25	0,12	6,64	1,11
11/jun	-0,13	0,10	5,56	0,44
12/jun	-0,26	0,12	6,66	1,21
13/jun	-0,33	0,12	7,56	1,45

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Observa-se que nos dias 15 e 16 de maio as médias do PMV foram -1,32 e -1,30 respectivamente, revelando sensações térmicas aquém de levemente frio, segundo as diretrizes da ISO 7730 (2005). Os valores das médias do PPD foram 41,38% para o dia 15 de maio e 40,53% para o dia 16 de maio, implicando desconforto térmico, segundo a mesma norma.

Nos dias em que a central de ar condicionado encontrava-se desligada, os valores das médias do PMV foram de 1,34 e 1,26 respectivamente, indicando sensação térmica além de levemente quente, de acordo com a referida norma. No dia 22 de maio a média do PPD foi de 42,35% e no dia 23 de maio foi de 38,49%, revelando desconforto térmico.

Por sua vez, nos demais dias os valores das médias do PMV variaram entre -0,04 a -0,33. Ou seja, condições de conforto térmico. Por outro lado, os valores das médias do PPD variaram entre 5,27% a 7,56%, confirmando a condição de conforto uma vez que a norma ISO 7730 (2005) considera conforto quando o valor do PMV estiver compreendido nesta

faixa: $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$, correspondendo a valores do índice PPD inferiores ou iguais a 10%.

4.2.4 Produtividade

A produtividade dos trabalhadores foi medida durante a atividade de ordenamento, de modo que, esta atividade consiste na organização dos objetos na sequência em que serão entregues aos clientes pelos trabalhadores. Nesta unidade a atividade tem início por volta das 9 horas e dura em média 1 hora. Assim, a produtividade de cada trabalhador foi medida por meio da unidade objeto ordenado/minuto. Essas produtividades estão apresentadas na Tabela (7) retratada a seguir:

Tabela 7 - Produtividade por trabalhador na unidade climatizada durante os 13 dias de medições

PRODUTIVIDADE													
	15/maio	16/maio	22/maio	23/maio	28/maio	29/maio	30/maio	04/jun	05/jun	06/jun	11/jun	12/jun	13/jun
Trab 1	12	10	7	6	12	10	10	11	10	10	10	12	11
Trab 2	15	10	7	9	11	10	11	10	10	10	11	10	11
Trab 3	11	11	4	6	10	10	N	12	11	11	10	11	10
Trab 4	N	15	8	6	N	N	N	N	10	11	10	10	11
Trab 5	10	10	5	4	12	11	10	N	N	N	11	12	12
Trab 6	15	16	7	6	11	12	10	N	N	N	N	N	N
Trab 7	11	14	8	5	10	11	11	10	11	11	12	11	12
Trab 8	15	10	6	4	12	11	12	N	N	N	N	N	N
Trab 9	14	11	10	6	10	9	11	11	12	12	10	11	10
Trab 10	13	11	6	6	10	9	10	10	13	11	9	10	11
Trab 11	13	N	12	11	16	15	16	16	15	16	16	17	16
Trab 12	N	N	N	5	11	12	11	11	12	13	13	12	12
Trab 13	11	11	6	10	10	11	9	11	11	10	10	9	10
Trab 14	12	11	6	5	10	11	11	11	11	10	12	11	10
Trab 15	15	16	10	5	12	13	14	13	11	12	11	12	11
Trab 16	11	10	10	7	15	10	N	10	11	10	11	10	11
Trab 17	10	10	7	5	10	10	11	N	N	9	9	10	10
Trab 18	12	13	7	6	10	9	10	10	10	10	11	10	11
Trab 19	N	N	8	N	N	N	N	16	15	15	16	15	16

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Observando a Tabela (7) percebe-se uma redução na produtividade de todos os trabalhadores nos dias 22 e 23 de maio. Para uma melhor análise realizou-se o cálculo das médias e desvio padrão dessas produtividades em dois momentos, o primeiro excluindo esses dois dias e o segundo momento considerando apenas esses dois dias. Como pode ser percebido nas Tabelas (8) e (9).

Tabela 8 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador com a central de ar condicionado ligada

PRODUTIVIDADE		
	MÉDIAS	DP
Trab 1	10,73	0,90
Trab 2	10,82	1,47
Trab 3	10,70	0,67
Trab 4	11,17	1,94
Trab 5	11,00	0,93
Trab 6	12,80	2,59
Trab 7	11,27	1,10
Trab 8	12,00	1,87
Trab 9	11,00	1,34
Trab 10	10,64	1,36
Trab 11	15,60	1,07
Trab 12	11,89	0,78
Trab 13	10,27	0,79
Trab 14	10,91	0,70
Trab 15	12,73	1,68
Trab 16	10,90	1,52
Trab 17	9,89	0,60
Trab 18	10,55	1,13
Trab 19	15,50	0,55

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Tabela 9 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador com a central de ar condicionado desligada

PRODUTIVIDADE		
	MÉDIAS	DP
Trab 1	6,50	0,71
Trab 2	8,00	1,41
Trab 3	5,00	1,41
Trab 4	7,00	1,41
Trab 5	4,50	0,71
Trab 6	6,50	0,71
Trab 7	6,50	2,12
Trab 8	5,00	1,41
Trab 9	8,00	2,83
Trab 10	6,00	0,00
Trab 11	11,50	0,71
Trab 12	5,00	N
Trab 13	8,00	2,83
Trab 14	5,50	0,71
Trab 15	7,50	3,54
Trab 16	8,50	2,12
Trab 17	6,00	1,41
Trab 18	6,50	0,71
Trab 19	8,00	N

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Inicialmente é necessário frisar que, considerando apenas os dois dias em que a central de ar condicionado estava desligada, o cálculo do desvio padrão para o trabalhador 12 e 19 não pode ser realizado, visto que estes trabalhadores só compareceram a um desses dois dias, impossibilitando assim, a realização deste cálculo.

Investigando o comportamento da produtividade considerando a temperatura média do ar, identificam-se algumas situações que merecem destaque. Quando a temperatura média do ar ficou na faixa entre 23°C e 24°C a produtividade dos trabalhadores foi superior as dos dias 22 e 23 de maio, dias estes em que a central de ar

condicionado estava desligada e a temperatura média do ar apresentou valores acima de 28°C.

Esse fato demonstra em primeiro lugar a ligação entre o ambiente térmico e a produtividade, como demonstra os estudos de Costa (2015) e Costa et al. (2011). Enfatizando a influência do conforto térmico na produtividade conforme as pesquisas de Castilla et al. (2011), Ismail et al. (2015) e Kuznik, Virgone e Johannes (2011). Corroborando ainda com os estudos de Gomes, N., (2015) que retrata como o desconforto térmico reduz a produtividade, visto que, essa condição acarreta trabalhadores menos motivados, consequentemente mais lentos e de Nematchoua et al. (2019), que por sua vez, concluíram que acima de 28°C tem-se o desconforto térmico total reduzindo drasticamente o desempenho do trabalhador.

Uma segunda situação que merece atenção diz respeito aos primeiros dias de medição, 15 e 16 de maio, cuja a temperatura média do ar ficou com valores na faixa dos 19°C e as produtividades dos trabalhadores permaneceram de maneira bastante similar aos demais dias de medição que tiveram a faixa de temperatura média do ar entre 23°C e 24°C, excluindo os dias em que a central de ar condicionado encontrava-se desligada.

Isso pode ser explicado pelo estudo de Nematchoua et al. (2019) que declaram que o desempenho auto-estimado aumenta quando a temperatura está entre 17,5 e 23,4°C. E ainda pela pesquisa de Chang e Kajackaite (2019) que relataram que na faixa de 16°C a 33°C, os homens apresentam melhor desempenho cognitivo para temperaturas mais baixas.

4.2.5 Análise de Correlação

Foi realizada a correlação entre a produtividade dos trabalhadores, as variáveis ambientais, pessoais e o PMV e PPD para a UC. Vale destacar que a variável pessoal taxa metabólica foi omitida do cálculo por ser a mesma para todos os trabalhadores. Adotou-se como indicador de umidade, a umidade relativa, já como indicador de radiação térmica a temperatura média radiante.

Para isso, foi necessário inicialmente verificar a normalidade das variáveis. Para tanto, se utilizou o teste chamado de *Shapiro-Wilk*, com nível de significância de 0,05. Desse modo, têm-se duas hipóteses para o estudo em questão:

- H_0 = Variáveis apresentam distribuição Normal;

➤ H_1 = Variáveis não apresentam distribuição Normal.

O p-value de todas as variáveis analisadas é menor que 0,05, rejeita-se a hipótese nula de normalidade das variáveis. Assim, observa-se que as variáveis estudadas não apresentam uma distribuição normal para o nível de significância de 0,05 (Tabela 10).

Tabela 10 - Teste de normalidade das variáveis

VARIÁVEIS	TESTE DE NORMALIDADE	
	<i>Shapiro-Wilk</i>	
	Estatística	Valor p
PMV	0,86791178	1,22E-12
PPD	0,692879854	1,70E-19
ta (°C)	0,81451649	3,33E-15
UR (%)	0,92080512	2,83E-09
Va (m/s)	0,815344357	3,61E-15
trm (°C)	0,832235675	2,03E-14
Icl (clo)	0,62869308	2,92E-21
Produtividade (objeto ordenado/minuto)	0,920577468	2,72E-09

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como as variáveis não apresentam uma distribuição normal, adotou-se para o cálculo da correlação o coeficiente de correlação de postos de *Spearman*, com nível de significância de 0,05, conforme Tabela 11, onde este foi realizado com o auxílio do *software R-Project*.

Tabela 11 - Correlação entre a produtividade, as variáveis ambientais, pessoais e o PMV e PPD

VARIÁVEIS	Coeficiente de Correlação de <i>Spearman</i>	
	Rho de <i>Spearman</i>	Valor p
PMV	-0,474	< 0,001
PPD	-0,195	0,004
ta (°C)	-0,472	< 0,001
UR (%)	-0,315	< 0,001
Va (m/s)	-0,394	< 0,001
trm (°C)	-0,459	< 0,001
Icl (clo)	-0,072	0,299

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Percebe-se que como o valor p da variável resistência térmica da vestimenta é maior que 0,05 (nível de significância adotado nesta pesquisa) esta não apresentava

correlação com a produtividade. Todas as demais variáveis apresentaram correlação com a produtividade.

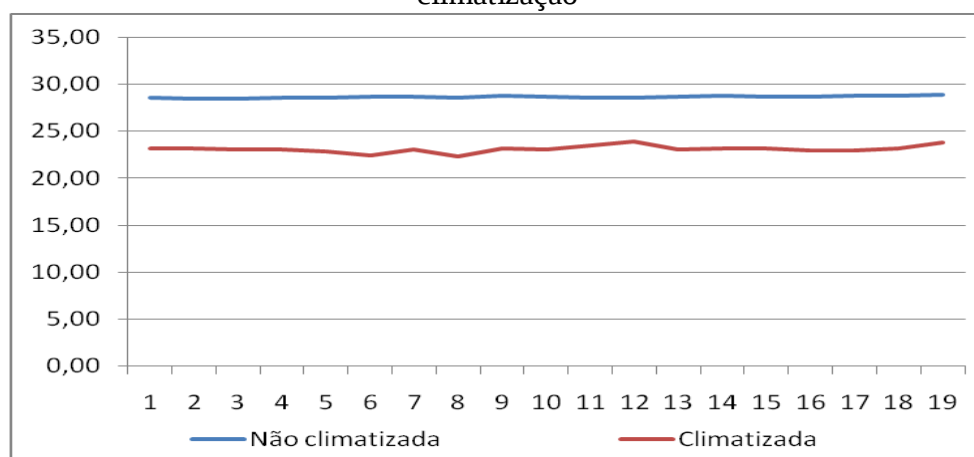
Para a interpretação da magnitude das correlações foi adotada a seguinte classificação dos coeficientes de correlação de *Spearman*: valores entre 0,10 a 0,29 a correlação pode ser considerada fraca; valores entre 0,30 a 0,49 a correlação pode ser considerada como média; e valores entre 0,50 a 1 a correlação pode ser interpretada como forte (COHEN, 1988; FIELD, 2009).

Assim, analisando o rho de *Spearman*, observa-se que as variáveis que apresentaram uma correlação média com a produtividade foram: PMV (- 0,474), seguido da temperatura do ar (- 0,472), temperatura média radiante (- 0,459), velocidade do ar (- 0,394) e umidade relativa (- 0,315). Obteve-se ainda uma correlação fraca para o PPD (- 0,195). Todas as variáveis apresentaram correlação inversamente proporcional, ou seja, quando qualquer uma dessas variáveis aumentar a produtividade vai diminuir.

Dessa forma, como a produtividade é uma variável que depende de muitos fatores, apresentar uma correlação de 0,47 entre uma variável ambiental e a produtividade indica que as condições termoambientais não podem ser desconsideradas. Logo, pelas correlações é possível admitir que a produtividade não é independente das condições termoambientais.

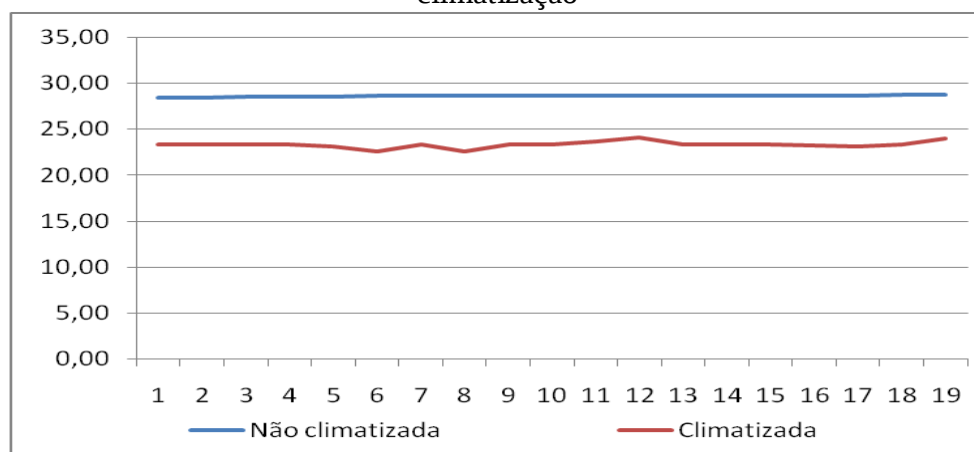
Portanto é importante investigar melhor essa associação. Para isso optou-se por realizar alguns gráficos comparando as condições da unidade quando estava climatizada e quando estava com a central de ar condicionado desligada, a partir das médias das variáveis por trabalhador.

Gráfico 11 - Comparação da temperatura do ar na unidade com climatização e sem climatização



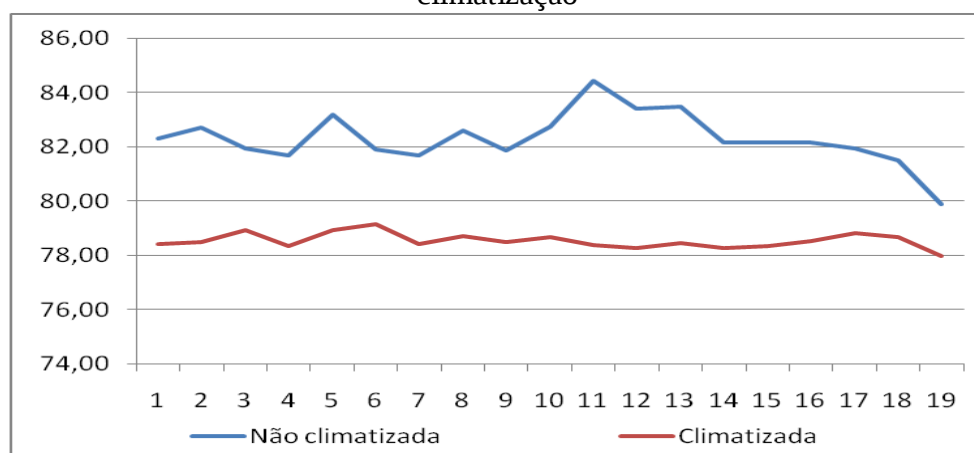
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 12 - Comparação da temperatura de globo na unidade com climatização e sem climatização



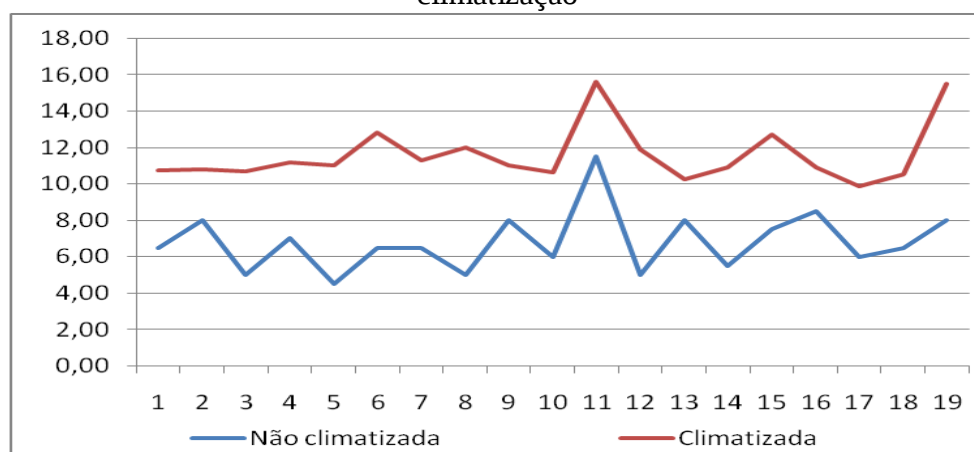
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 13 - Comparação da umidade relativa na unidade com climatização e sem climatização



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 14 - Comparação da produtividade na unidade com climatização e sem climatização



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Os gráficos indicaram que sem a climatização nesta unidade, as variáveis ambientais tiveram uma média por trabalhador visivelmente diferente daquelas

quando a unidade estava climatizada, isto é, as variáveis ambientais tiveram uma média por trabalhador superior na unidade não climatizada. Tornando assim, o ambiente com condições térmicas favoráveis a sensação mais quente. Por sua vez, a produtividade média na unidade sem a climatização foi inferior a da unidade climatizada para todo o grupo que executava a atividade de ordenamento e que participou da pesquisa.

4.3 UNIDADE NÃO CLIMATIZADA (UNC)

4.3.1 Análise das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento

Nesta seção foi realizada a análise das variáveis ambientais durante a realização da atividade de ordenamento pelos trabalhadores da UNC. Esta atividade tem início por volta das 08 horas e dura em média 1 hora e 30 minutos. A Tabela (12) mostra para os treze dias de medições a média e o desvio padrão das variáveis temperatura do ar (t_a), temperatura de bulbo úmido (t_u), temperatura média radiante (t_{rm}), temperatura de globo (t_g), velocidade do ar (V_a) e umidade relativa do ar (UR).

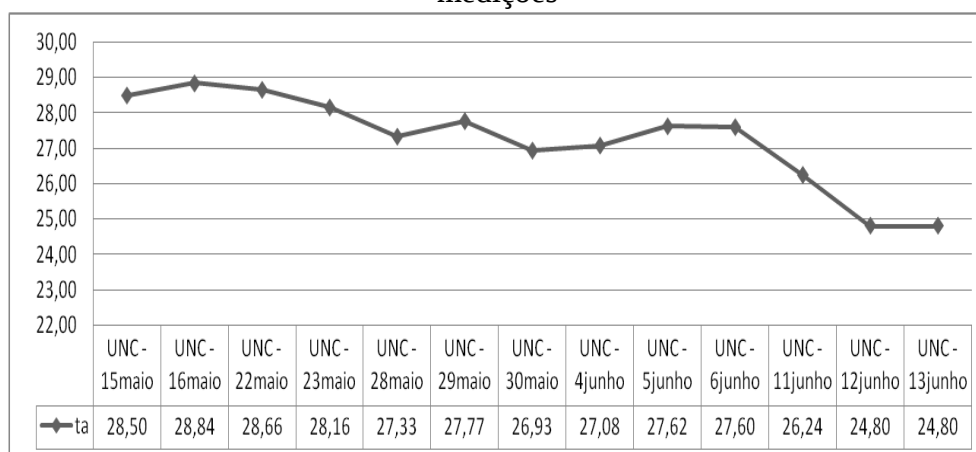
Tabela 12 - Média e desvio padrão das variáveis ambientais durante a atividade de ordenamento para os 13 dias de medições

	15/mai		16/mai		22/mai		23/mai		28/mai		29/mai		30/mai		04/jun		05/jun		06/jun		11/jun		12/jun		13/jun	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
ta (° C)	28,50	0,16	28,84	0,25	28,66	0,24	28,16	0,26	27,33	0,65	27,77	0,38	26,93	0,66	27,08	0,24	27,62	0,47	27,60	0,56	26,24	0,29	24,80	0,00	24,80	0,00
tu (° C)	25,53	0,12	25,52	0,10	25,66	0,27	25,26	0,23	25,03	0,34	24,99	0,38	24,14	0,51	24,01	0,19	24,15	0,19	23,66	0,19	23,99	0,28	23,30	0,07	23,28	0,13
trm (° C)	27,91	0,34	28,32	0,24	28,04	0,32	27,55	0,27	26,72	0,57	27,14	0,42	26,38	0,58	26,62	0,23	27,05	0,40	26,99	0,47	25,78	0,35	21,07	0,24	21,01	0,31
tg (° C)	28,29	0,21	28,65	0,23	28,45	0,25	27,96	0,25	27,11	0,61	27,55	0,36	26,74	0,63	26,92	0,21	27,39	0,43	27,38	0,51	26,07	0,30	23,58	0,07	23,53	0,12
UR (%)	78,98	0,63	76,68	1,07	78,71	0,84	79,35	0,56	83,09	2,73	79,87	1,18	79,49	1,24	77,62	1,00	75,08	2,85	72,03	4,08	82,98	1,12	88,04	0,48	87,88	0,92
Va (m/s)	0,70	0,00	0,66	0,05	0,76	0,05	0,84	0,09	0,65	0,05	0,72	0,13	0,72	0,04	0,70	0,00	0,51	0,02	0,63	0,05	0,62	0,04	0,76	0,05	0,72	0,04

Fonte: Elaboração Própria (2019)

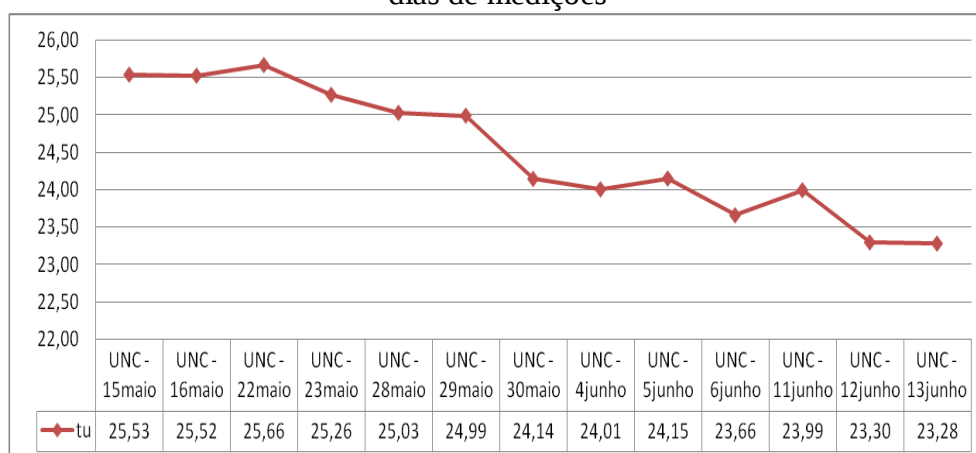
Com o objetivo de auxiliar a visualização, optou-se por fazer representações gráficas das médias das variáveis ambientais coletadas durante a atividade de ordenamento realizada pelos trabalhadores na UNC durante os treze dias de medições, que podem ser observadas a seguir:

Gráfico 15 - Temperatura média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



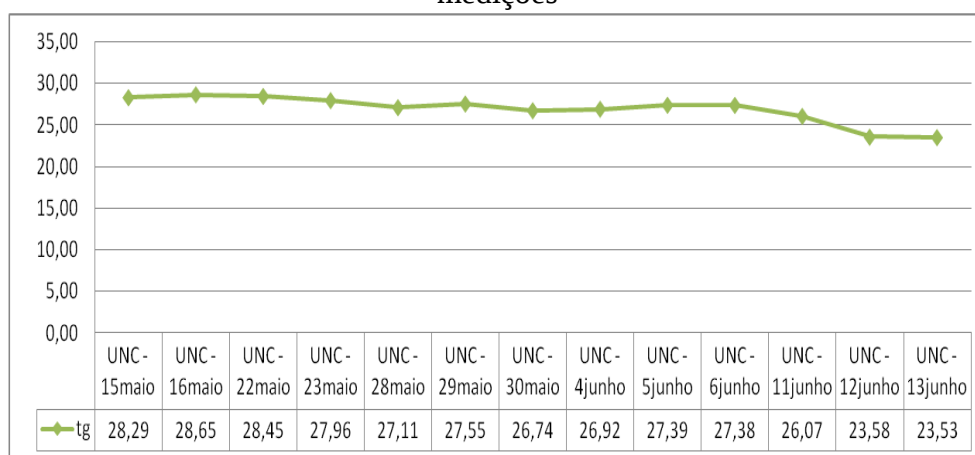
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 16 - Temperatura média de bulbo úmido durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



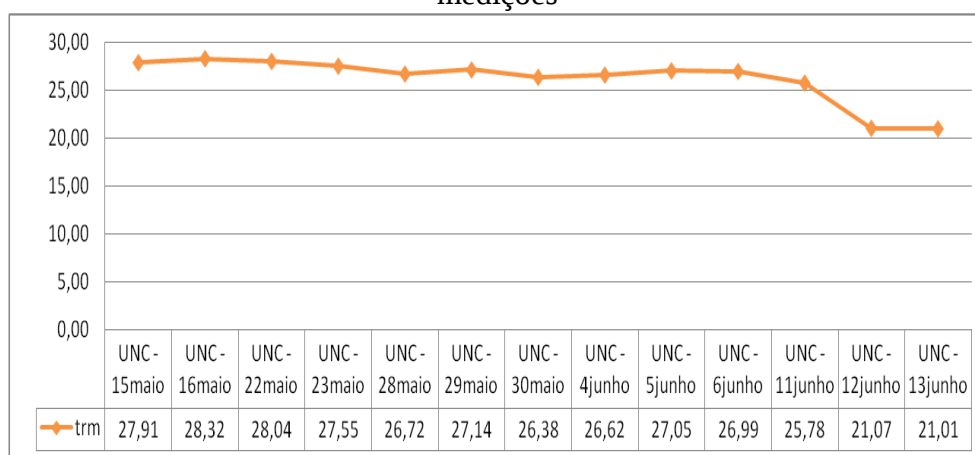
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 17 - Temperatura média de globo durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



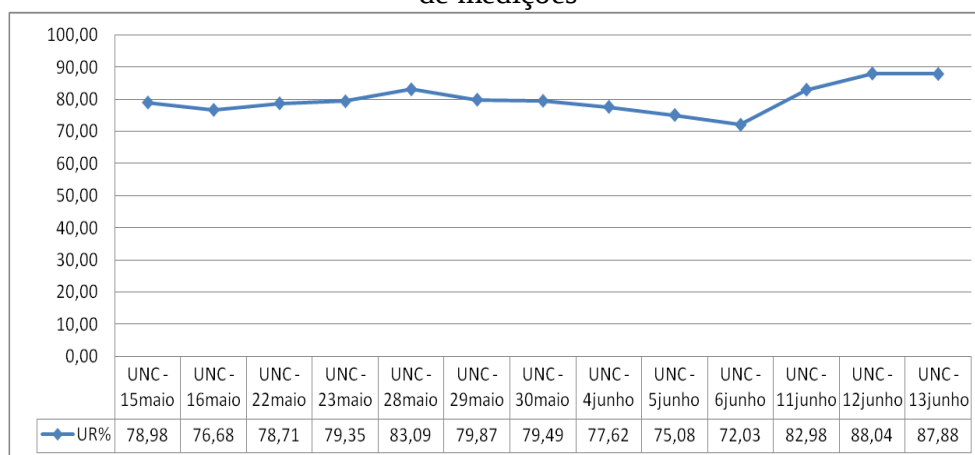
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 18 - Temperatura média radiante durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



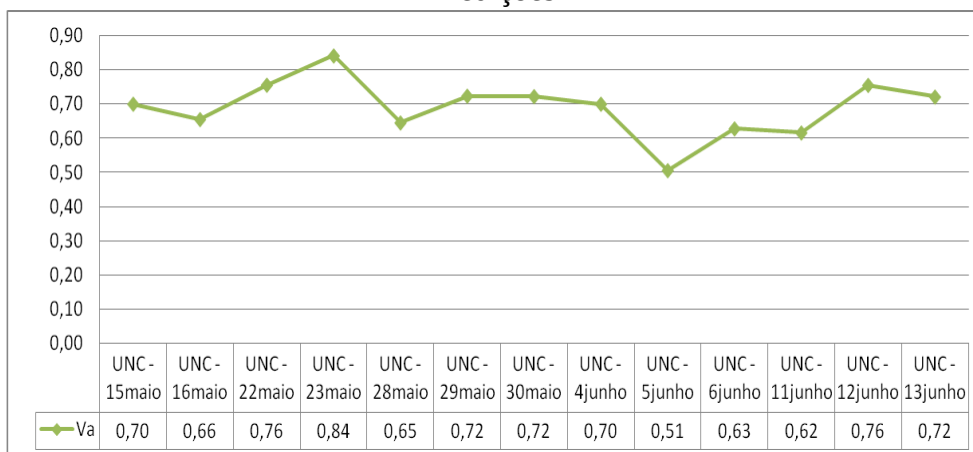
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 19 - Umidade relativa do ar média durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 20 - Velocidade média do ar durante a atividade de ordenamento nos 13 dias de medições



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Com relação à temperatura média do ar dos dias 15, 16, 22, 23, 28, 29, 30 de maio, 4, 5, 6 e 11 de junho os valores estiveram entre 26°C e 28°C. Os dias 12 e 13 de junho apresentaram valores próximos a 25°C.

Analisando-se a temperatura média de bulbo úmido para os treze dias de medições, os valores estavam entre 23°C a 25°C. Vale destacar que, os dias 12 e 13 de junho apresentaram os menores valores.

A temperatura média de globo nos dias 12 e 13 de junho teve os valores próximos 24°C. Para os demais dias de coleta foram obtidos valores entre 26°C a 28°C.

A temperatura média radiante nos dias 12 e 13 de junho apresentou valores próximos a 21°C. Para os outros dias de coleta os valores estiveram entre 25°C a 28°C.

Para a umidade relativa do ar média nos dias 12 e 13 de junho os valores estavam entre 87% e 88%. Já nos demais dias, os valores apresentavam-se entre 72% a 83%.

Por sua vez, a velocidade média do ar nos dias 12 e 13 de junho teve os valores de 0,76 m/s e 0,72 m/s. Os outros dias apresentaram os valores entre 0,51 m/s a 0,84 m/s.

4.3.2 Análise das Variáveis pessoais

Na UNC de maneira similar a UC, a taxa metabólica dos trabalhadores foi determinada por meio da análise da atividade de ordenamento. Vale destacar que, ela foi a mesma para todos os trabalhadores da amostra, já que todos desenvolvem esta mesma atividade.

Nesta unidade os trabalhadores realizavam a atividade de ordenamento em pé, com movimentação leve dos braços, logo se adotou o valor de 130 W/m^2 ou $2,23 \text{ met}$, conforme estabelecido pela Tabela A2 da norma ISO 8996 (2004).

É importante destacar que a vestimenta é padrão para todos os trabalhadores, sendo a mesma da UC.

Assim, de acordo com as diretrizes da norma ISO 7730 (2005) o isolamento térmico das vestimentas foi determinado pela soma dos valores do isolamento para as peças de roupas individuais, como já exposto nas Tabelas (4) e (5) do tópico 4.2.2. Tendo, portanto, para a vestimenta com camisa de manga curta o valor de $0,63 \text{ clo}$, já se considerando camisa de manga longa o valor foi de $0,73 \text{ clo}$.

4.3.3 Análise da SW_{req} e w_{req}

Nesta seção apresentam-se os resultados para as médias e o desvio padrão da SW_{req} e w_{req} da UNC durante os treze dias de medições. De maneira que, como já foi dito anteriormente, os valores da SW_{req} e w_{req} foram obtidas a partir do balanço térmico da pessoa conforme a norma ISO 7933 (1989), utilizando para isso o *software Analysis CST* desenvolvido pelo LABEEE/NPC da UFSC. Dessa forma, as médias e o desvio padrão da SW_{req} e w_{req} considerando os treze dias de medições estão descritos na Tabela (13) a seguir.

Tabela 13 - Média e Desvio Padrão para a SW_{req} e w_{req} considerando os 13 dias de medições

Dias de coleta	$SW_{req} (\text{W/m}^2)$		w_{req}	
	Média	DP	Média	DP
15/mai	131,60	10,10	0,79	0,05
16/mai	135,46	11,26	0,79	0,05
22/mai	137,34	11,54	0,81	0,05
23/mai	126,21	10,19	0,77	0,06
28/mai	112,36	9,86	0,72	0,05
29/mai	119,69	10,78	0,74	0,06
30/mai	103,66	10,77	0,65	0,06
04/jun	106,90	7,11	0,67	0,05
05/jun	111,95	8,34	0,69	0,05
06/jun	108,63	7,15	0,65	0,05
11/jun	96,62	5,04	0,63	0,04
12/jun	77,28	5,81	0,56	0,05
13/jun	79,36	5,47	0,57	0,05

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Analisando em conjunto os dois critérios, a SW_{req} e a w_{req} , para avaliar situações de estresse térmico no ambiente em estudo, observa-se que os valores das médias para a SW_{req} correspondiam à faixa de 77, 28 W/m² a 137,34 W/m². Já os valores das médias da w_{req} estavam entre 0,56 a 0,81. Vale destacar ainda que os dias 12 e 13 de junho, dos treze dias de medições, tiveram os menores valores das médias de SW_{req} e w_{req} , uma vez que, esses dois dias apresentaram os menores valores para a temperatura média do ar (próximo de 25 °C). Portanto de acordo com as diretrizes da norma ISO 7933(1989), considerando que a taxa metabólica dos trabalhadores dessa unidade foi maior que 65 W/m² e eles são aclimatados, os trabalhadores encontravam-se em equilíbrio térmico e hídrico. Uma vez que a SW_{max} e w_{max} para a taxa metabólica dos trabalhadores maior que 65 W/m² e aclimatados são respectivamente 300 W/m² e 1,0 para situação de precaução.

4.3.4 Produtividade

A produtividade dos trabalhadores da UNC foi medida de maneira similar a UC, ou seja, durante a atividade de ordenamento, de modo que, esta atividade consiste na organização dos objetos na sequência em que serão entregues aos clientes pelos trabalhadores. Nesta unidade a atividade tem início por volta das 8 horas e dura em média 1 hora e 30 minutos. Assim, a produtividade de cada trabalhador foi medida por meio da unidade objeto ordenado/minuto. Essas produtividades estão apresentadas na Tabela (14).

Tabela 14 - Produtividade por trabalhador na unidade não climatizada durante os 13 dias de medições

PRODUTIVIDADE													
	15/MAIO	16/MAIO	22/MAIO	23/MAIO	28/MAIO	29/MAIO	30/MAIO	04/JUNHO	05/JUNHO	06/JUNHO	11/JUNHO	12/JUNHO	13/JUNHO
Trab 1	N	9	5	8	6	N	3	8	4	7	5	9	8
Trab 2	5	N	6	6	8	11	5	4	6	7	4	10	11
Trab 3	7	5	6	N	N	N	N	4	6	8	5	8	N
Trab 4	9	9	N	5	10	7	7	7	12	10	7	11	9
Trab 5	5	N	5	4	5	5	3	5	N	11	3	10	7
Trab 6	5	N	6	6	7	7	2	6	5	10	2	6	8
Trab 7	5	4	4	6	3	7	2	9	7	8	3	9	6
Trab 8	6	N	7	3	4	8	4	5	5	11	4	11	9
Trab 9	3	6	6	5	6	11	N	3	5	10	3	11	10
Trab 10	4	7	N	4	4	10	5	10	6	N	4	10	N
Trab 11	6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Trab 12	5	N	4	4	7	7	4	N	8	6	4	7	8
Trab 13	5	10	7	5	4	6	6	N	N	N	N	10	6
Trab 14	N	11	8	3	3	N	N	N	N	8	3	N	10
Trab 15	N	9	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Trab 16	N	5	6	5	4	9	4	7	4	6	5	6	9
Trab 17	N	5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Trab 18	N	4	4	N	6	4	5	8	4	9	6	8	9
Trab 19	N	4	4	6	5	7	7	6	7	13	4	13	10
Trab 20	N	4	5	7	11	6	4	1	6	1	2	10	9
Trab 21	N	4	N	N	5	N	11	11	6	11	5	11	13
Trab 22	N	7	N	N	8	7	8	N	8	N	N	9	8
Trab 23	N	6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Trab 24	N	10	10	8	12	8	6	7	11	7	8	12	10
Trab 25	N	9	5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Trab 26	N	8	6	8	4	7	8	6	5	6	7	8	8

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Analisando-se os dias 12 e 13 de junho, dias em que a temperatura média do ar apresentou valores mais baixos, com o intuito de investigar se essa diminuição teria reflexo nas produtividades dos trabalhadores, optou-se por realizar a média e o desvio padrão para duas situações, a primeira sem considerar esses dois dias e a segunda levando em conta apenas esses dois dias. Nas tabelas (15) e (16) tem-se esses resultados:

Tabela 15 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador na UNC *excluindo os dois dias* com temperatura média do ar mais baixa

PRODUTIVIDADE		
	MÉDIAS	DP
Trab 1	6,11	2,03
Trab 2	6,20	2,10
Trab 3	5,86	1,35
Trab 4	8,30	2,06
Trab 5	5,11	2,37
Trab 6	5,60	2,37
Trab 7	5,27	2,28
Trab 8	5,70	2,41
Trab 9	5,80	2,78
Trab 10	6,00	2,50
Trab 11	6,00	N
Trab 12	5,44	1,59
Trab 13	6,14	1,95
Trab 14	6,00	3,46
Trab 15	9,00	N
Trab 16	5,50	1,58
Trab 17	5,00	N
Trab 18	5,56	1,88
Trab 19	6,30	2,67
Trab 20	4,70	3,06
Trab 21	7,57	3,26
Trab 22	7,60	0,55
Trab 23	6,00	N
Trab 24	8,70	1,95
Trab 25	7,00	2,83
Trab 26	6,50	1,35

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Tabela 16 - Produtividade média e desvio padrão por trabalhador na UNC considerando *apenas os dois dias* com temperatura média do ar mais baixa

PRODUTIVIDADE		
	MÉDIAS	DP
Trab 1	8,5	0,71
Trab 2	10,5	0,71
Trab 3	8	N
Trab 4	10	1,41
Trab 5	8,5	2,12
Trab 6	7	1,41
Trab 7	7,5	2,12
Trab 8	10	1,41
Trab 9	10,5	0,71
Trab 10	10	N
Trab 11	N	N
Trab 12	7,5	0,71
Trab 13	8	2,83
Trab 14	10	N
Trab 15	N	N
Trab 16	7,5	2,12
Trab 17	N	N
Trab 18	8,5	0,71
Trab 19	11,5	2,12
Trab 20	9,5	0,71
Trab 21	12	1,41
Trab 22	8,5	0,71
Trab 23	N	N
Trab 24	11	1,41
Trab 25	N	N
Trab 26	8	0,00

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Observa-se na Tabela (15) que o cálculo para o desvio padrão dos trabalhadores 11, 15, 17 e 23 não pode ser realizado, visto que estes trabalhadores só compareceram a um dos dias de medições, inviabilizando este cálculo. Já na tabela (16) identifica-se que os

trabalhadores 11, 15, 17, 23 e 25 faltaram os dois dias em que a temperatura média do ar estava mais baixa que os demais dias. Já os trabalhadores 3, 10 e 14 faltaram um dos dias, impossibilitando o cálculo do desvio padrão.

Analisando o comportamento da produtividade considerando a temperatura média do ar, percebeu-se um cenário que merece atenção. Quando a temperatura média do ar ficou na faixa entre 26°C a 28°C a produtividade dos trabalhadores foi inferior aos dias 12 e 13 de junho, em que a temperatura média do ar ficou próxima de 25°C.

Dessa forma, percebe-se como a produtividade está relacionada com o conforto ou a falta dele vivenciado pelos trabalhadores nos seus locais de trabalho, o que fica comprovado pelo estudo de Costa (2015). Além disso, nos locais que são quentes e úmidos a realização do trabalho fica comprometida, diminuindo a produtividade e afetando também a saúde e segurança dos trabalhadores, conforme os estudos de Liang et al. (2011) e Venugopal et al. (2016).

Logo, fica evidente que o trabalho realizado em dias quentes reduz a produtividade, seja pela perda de horas de trabalho, redução da eficiência durante a realização das atividades ou ainda pelos dias que venham a ser perdidos pela falta do trabalhador ocasionada por doenças provenientes do calor, segundo as pesquisas de Zander e Mathew (2019); e Levi, Kjellstrom e Baldasseroni (2018).

É importante destacar que, no estudo de Kjellstrom et al. (2016) nos dias atuais a redução da produtividade em áreas quentes é de 10% e pode chegar a 30-40% até 2085. Portanto fica clara a necessidade de se fornecer condições térmicas favoráveis para os trabalhadores, para que estes possam desempenhar suas atividades em ambientes termicamente favoráveis.

4.3.5 Análise de Correlação

Realizou-se a correlação entre a produtividade dos trabalhadores, as variáveis ambientais, pessoais e a SW_{req} e w_{req} para a UNC. A variável pessoal taxa metabólica foi omitida do cálculo por ser a mesma para todos os trabalhadores. Adotou-se como indicador de umidade, a umidade relativa, já como indicador de radiação térmica a temperatura média radiante.

Inicialmente verificou-se a normalidade das variáveis. De maneira similar a UC, foi utilizado o teste chamado de *Shapiro-Wilk*, com nível de significância de 0,05. Tendo duas hipóteses para o estudo em questão:

- H_0 = Variáveis apresentam distribuição Normal
- H_1 = Variáveis não apresentam distribuição Normal.

O p-value de todas as variáveis analisadas é menor que 0,05, rejeita-se a hipótese nula de normalidade das variáveis. Assim, observa-se que as variáveis estudadas não apresentam uma distribuição normal para o nível de significância de 0,05 (Tabela 17).

Tabela 17 - Teste de normalidade das variáveis

VARIÁVEIS	TESTE DE NORMALIDADE	
	<i>Shapiro-Wilk</i>	
	Estatística	Valor p
SWreq	0,9830154	0,0068498
Wreq	0,9746111	0,0003405
ta (°C)	0,9032371	4,04E-11
UR (%)	0,9449168	1,04E-07
Va (m/s)	0,8946855	1,07E-11
trm (°C)	0,7508758	1,78E-18
Icl (clo)	0,6239478	2,54E-22
Produtividade (objeto ordenado/minuto)	0,9681101	4,32E-05

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como as variáveis não apresentam distribuição normal, para o cálculo da correlação adotou-se o coeficiente de correlação de postos de *Spearman*, realizado com o auxílio do *software R-Project*, com nível de significância de 0,05, de acordo com a Tabela 18.

Tabela 18 - Correlação entre a produtividade, as variáveis ambientais, pessoais e a SW_{req} e

VARIÁVEIS	W_{req}	
	Coeficiente de Correlação de <i>Spearman</i>	
	Rho de <i>Spearman</i>	Valor p
SWreq	-0,184	0,005
wreq	-0,194	0,003
ta (°C)	-0,176	0,007
UR (%)	0,073	0,270
Va (m/s)	0,162	0,014
trm (°C)	-0,176	0,007
Icl (clo)	0,233	< 0,001

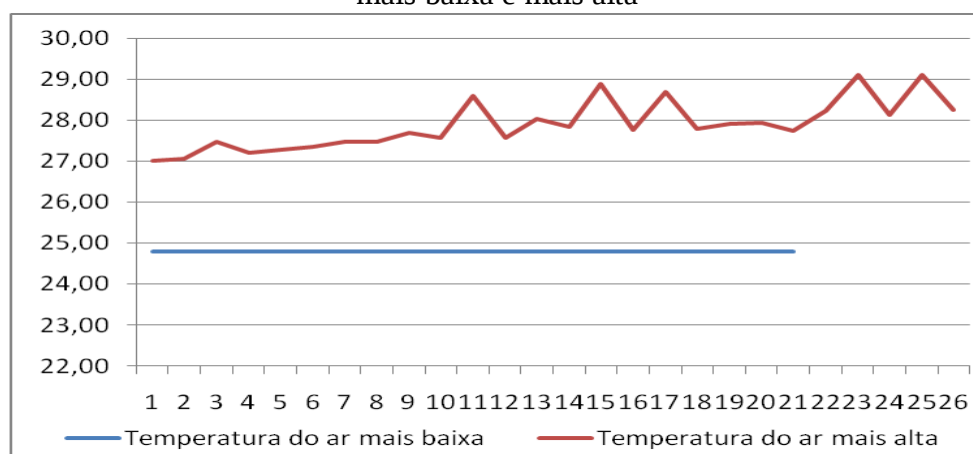
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Identifica-se que como o valor p da variável umidade relativa do ar é maior que 0,05 (nível de significância adotado nesta pesquisa) esta não apresentava correlação com a produtividade. Todas as demais variáveis apresentaram correlação com a produtividade.

Analisando o rho de *Spearman*, observa-se que todas as variáveis apresentaram com a produtividade uma correlação fraca. De modo que, a SW_{req} , a w_{req} , temperatura do ar, temperatura média radiante apresentaram correlação inversamente proporcional, ou seja, quando qualquer uma dessas variáveis aumentar a produtividade vai diminuir.

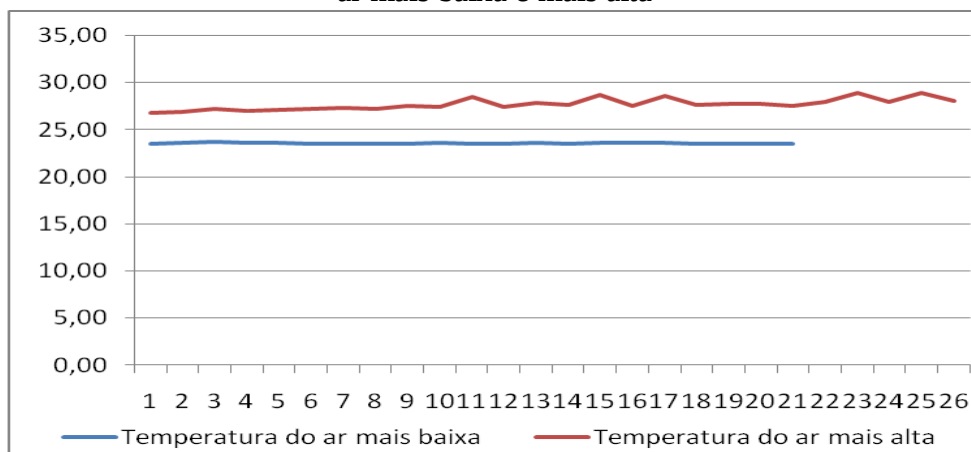
Assim, como já dito anteriormente a produtividade é uma variável que depende de vários fatores, mesmo esta apresentando uma correlação fraca com as variáveis ambientais e pessoais, identifica-se que a produtividade não é independente das condições termoambientais. Diante desse cenário, percebe-se a necessidade de se investigar melhor a ligação entre a produtividade e estas variáveis, utilizando-se para isso, alguns gráficos, onde será comparado a UNC com temperatura do ar mais baixa e com a temperatura do ar mais alta a partir das médias das variáveis por trabalhador.

Gráfico 21 - Comparação da temperatura do ar entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta



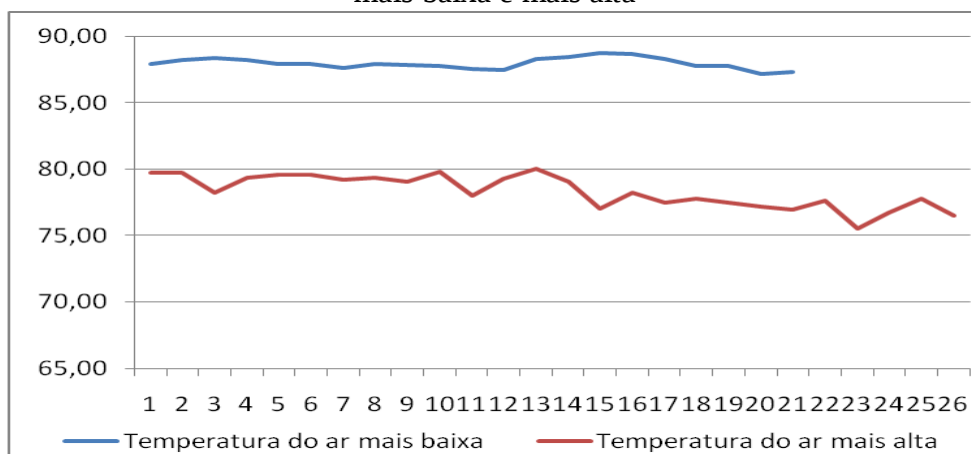
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 22 - Comparação da temperatura de globo entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta



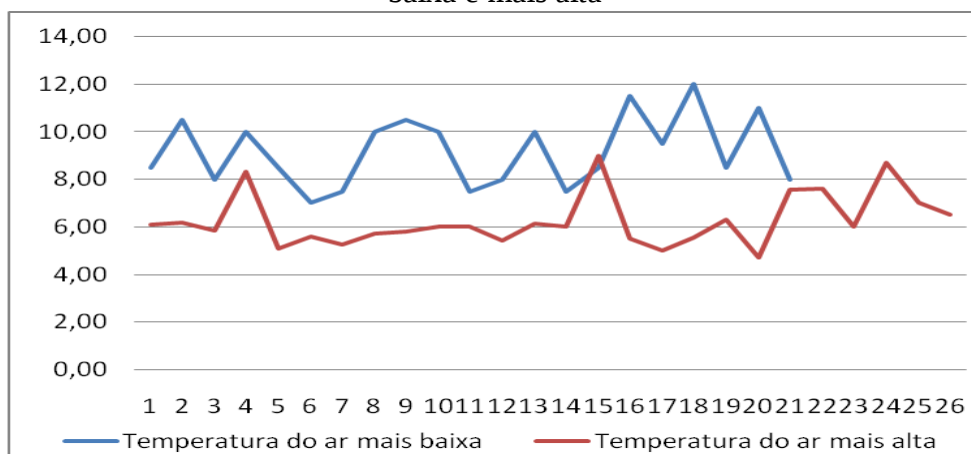
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 23 - Comparação da umidade relativa entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 24 - Comparação da produtividade entre a unidade com temperatura do ar mais baixa e mais alta



Fonte: Elaboração Própria (2019)

É importante destacar que nos dias em que a temperatura do ar encontrava-se mais baixa, quatro trabalhadores não compareceram ao trabalho, sendo eles: o trabalhador 11, 15, 17, 23 e 25. Por isso, as curvas dos gráficos considerando a temperatura do ar mais baixa são menores que da temperatura do ar mais alta.

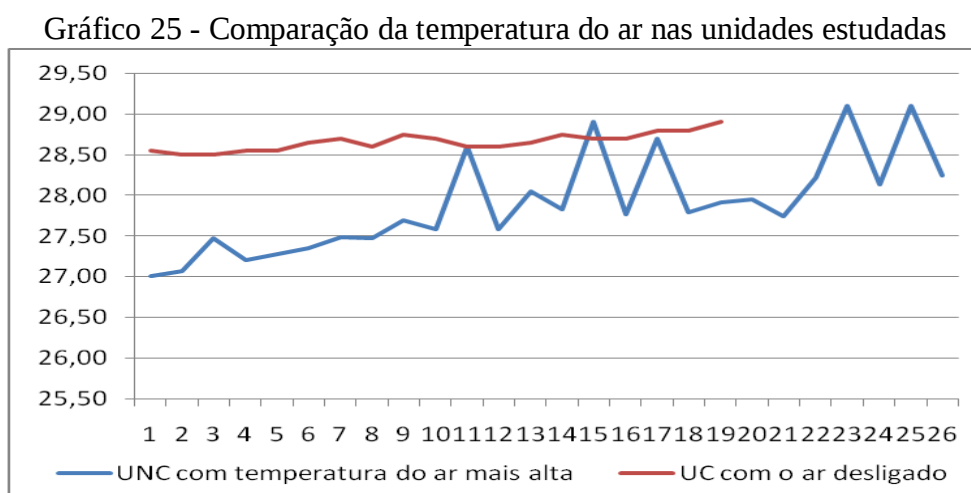
Considerando a produtividade média dos trabalhadores que executavam a atividade de ordenamento e que participaram da pesquisa, quando a unidade apresentava temperaturas do ar e de globo mais altas, constatou-se uma tendência a ser inferior ao ambiente com temperatura do ar e de globo mais baixa.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE NAS DUAS UNIDADES

Diante dos resultados encontrados para a correlação considerando a produtividade, variáveis ambientais, pessoais e os métodos de avaliação térmica para a UC e UNC, optou-se por investigar o comportante da produtividade considerando suas condições termoambientais. Para isso, foi realizada uma comparação entre essas duas unidades em quatro diferentes situações, que serão trabalhadas a seguir.

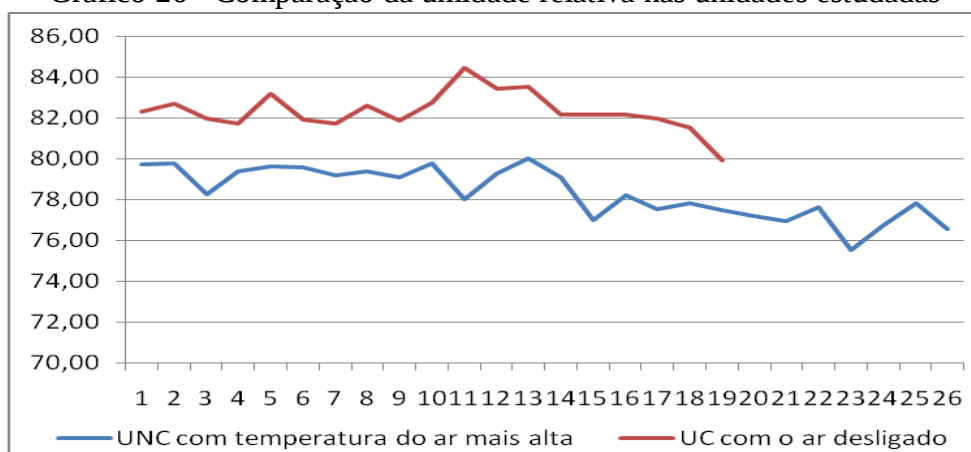
1. UNC apresentando temperaturas do ar mais altas e a UC com sistema de ar condicionado desligado

Nesse cenário para observar a associação entre a produtividade e as condições termoambientais realizou-se alguns gráficos a partir das médias das variáveis por trabalhador retratados a seguir:



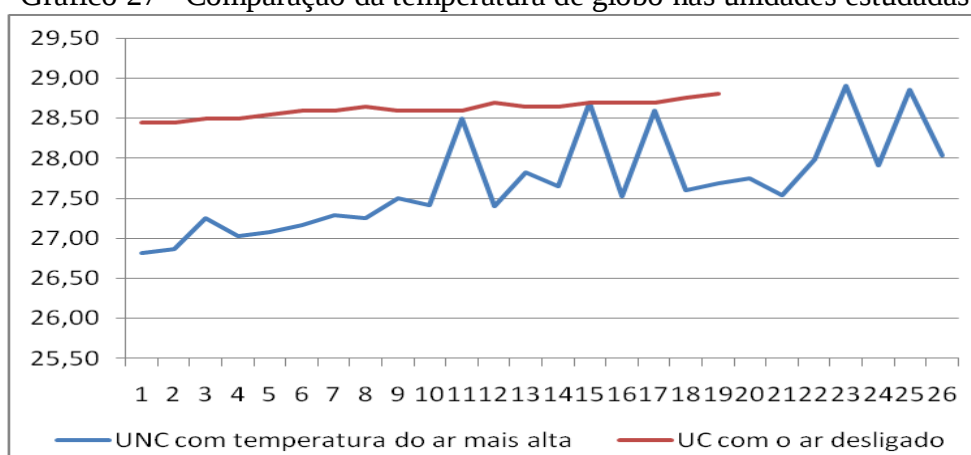
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 26 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas



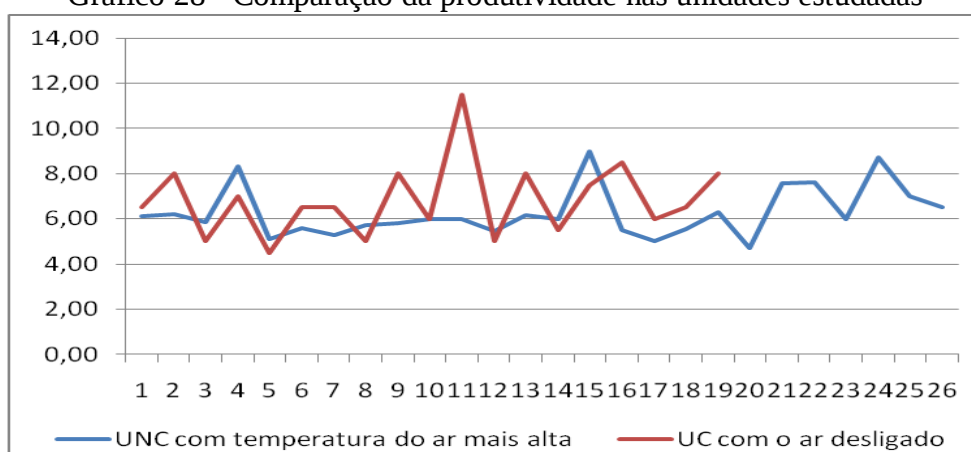
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 27 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 28 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas



Fonte: Elaboração Própria (2019)

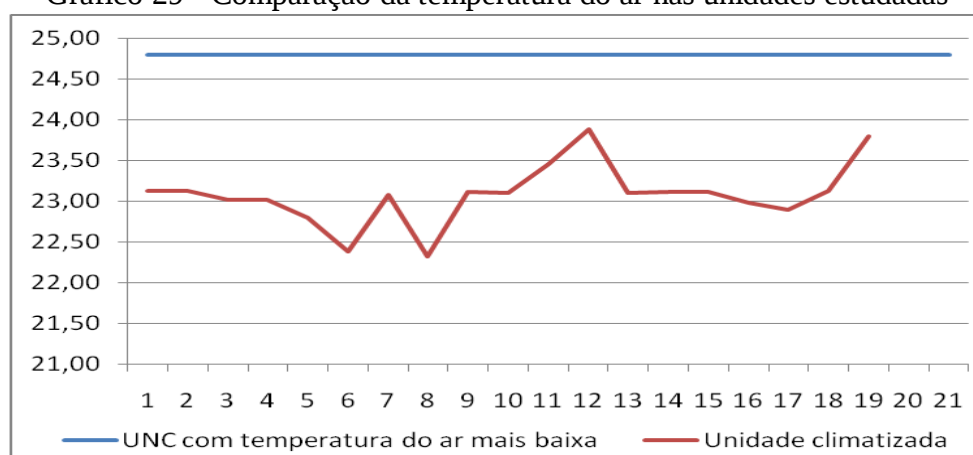
Comparando a produtividade dos trabalhadores na UNC com temperatura do ar mais alta com aquela dos trabalhadores que atuavam na UC com o sistema de ar condicionado desligado, não houve uma clara diferença de valores. Logo, mesmo com diferenças na

execução das atividades (já que os trabalhadores executavam as atividades de pé, com movimentação leve dos braços na UNC e na UC executavam sentados, com uma movimentação leve das mãos) foram observados valores semelhantes nos dois ambientes. As semelhanças na produtividade média acompanharam os valores semelhantes das variáveis que determinavam as condições termoambientais nas unidades (como se pode observar nos gráficos comparativos de cada uma dessas variáveis).

2. UNC apresentando temperaturas do ar mais baixas e a UC com o sistema de ar condicionado ligado

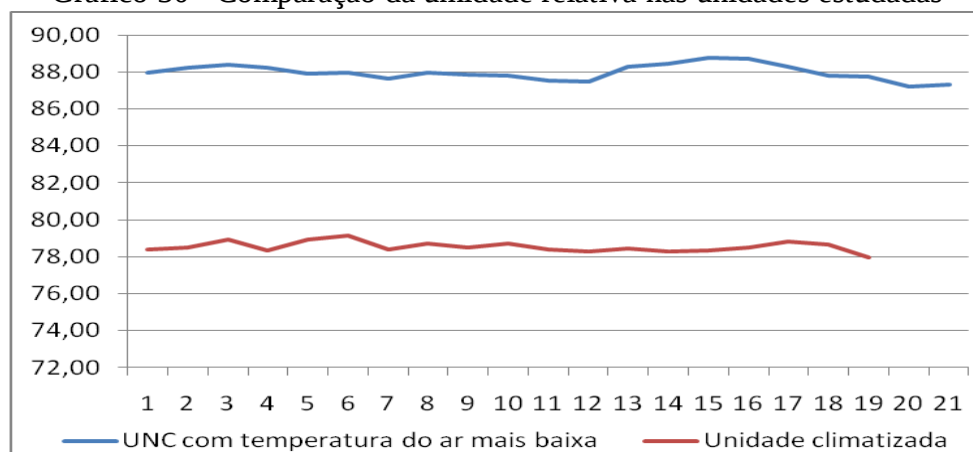
Com os gráficos a partir das médias das variáveis por trabalhador, foi possível observar a associação entre a produtividade e as condições termoambientais.

Gráfico 29 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas



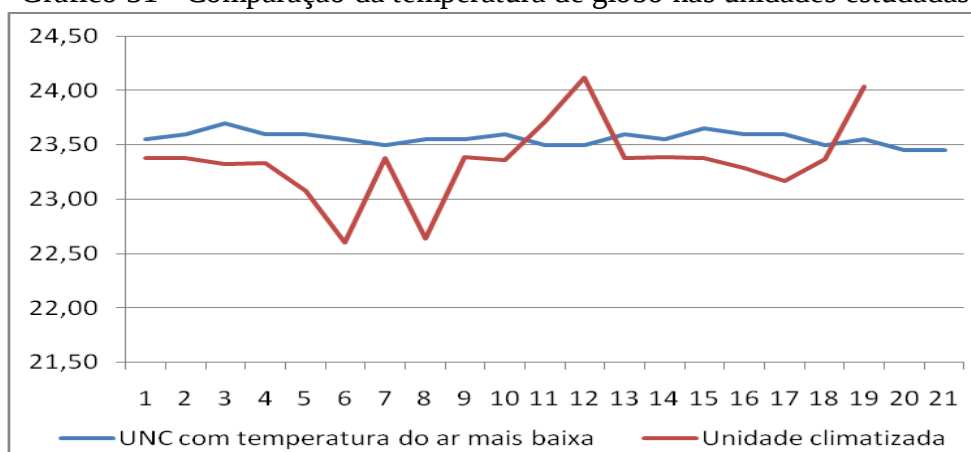
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 30 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas



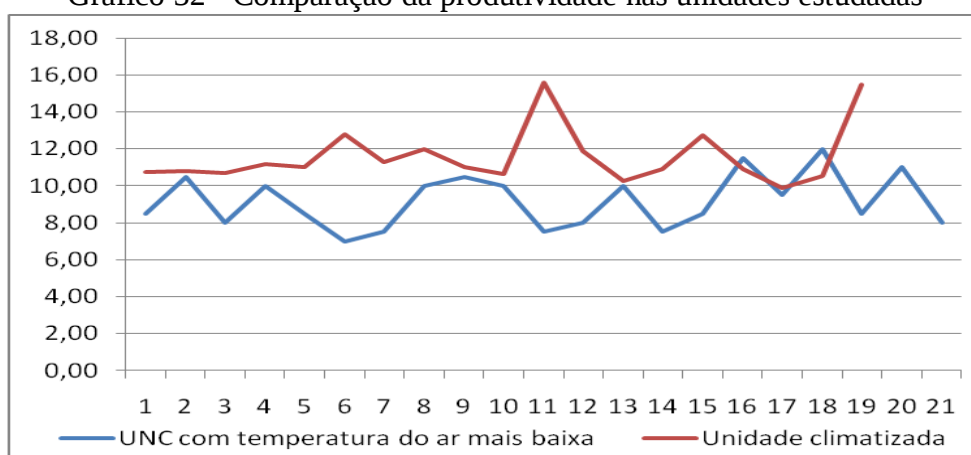
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 31 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 32 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas



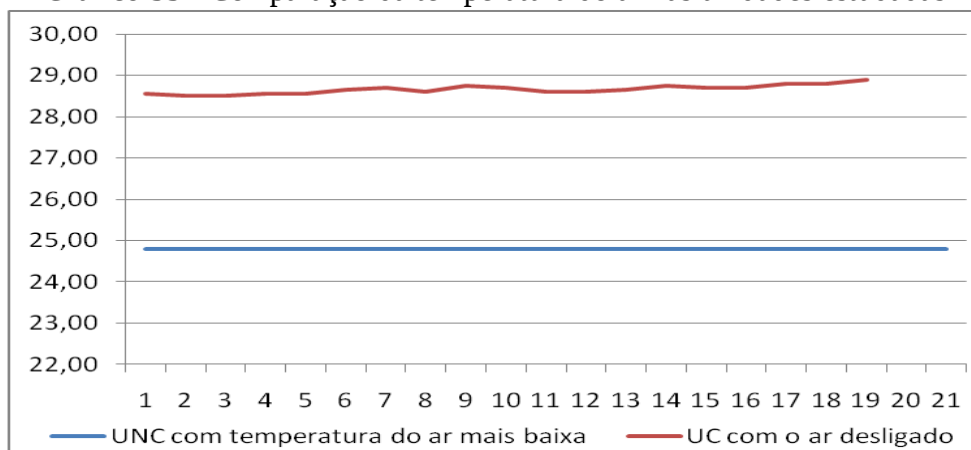
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Observa-se que tanto a temperatura do ar como a umidade relativa e a temperatura de globo na UNC com temperatura do ar mais baixa foram superiores as da UC com sistema de ar condicionado ligado, reforçando a sensação de calor. Verifica-se ainda, que a produtividade média dos trabalhadores foi maior no ambiente com temperaturas menores, ou seja, na UC.

3. UNC apresentando temperaturas do ar mais baixas e a UC com o sistema de ar condicionado desligado

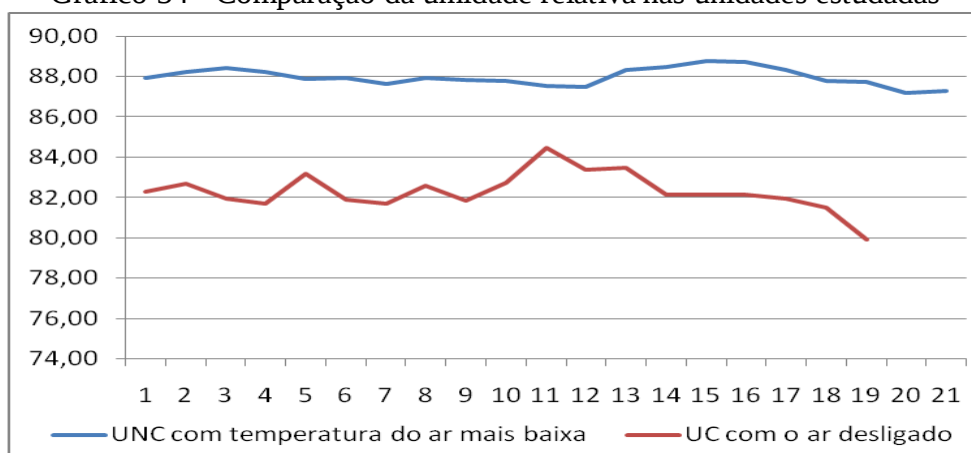
Para investigar a associação entre a produtividade e as condições termoambientais nessa situação optou-se por fazer representações gráficas a partir das médias das variáveis por trabalhador como apresentado na sequência.

Gráfico 33 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas



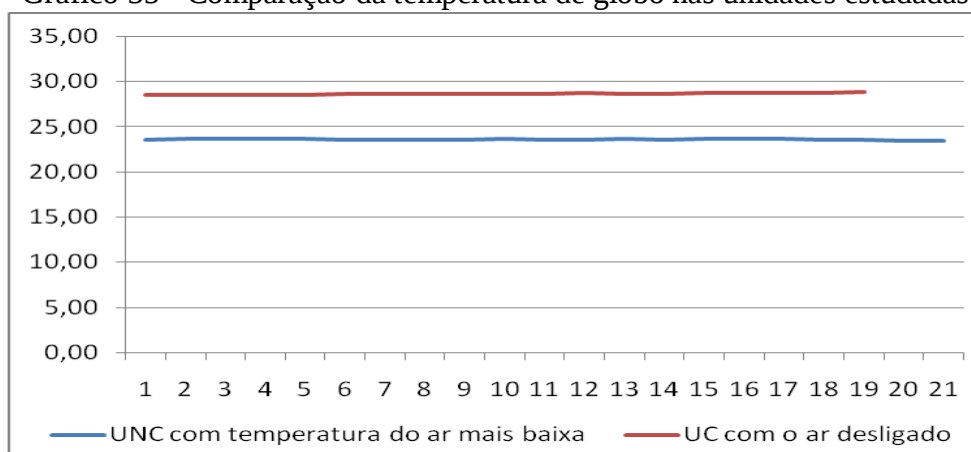
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 34 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas



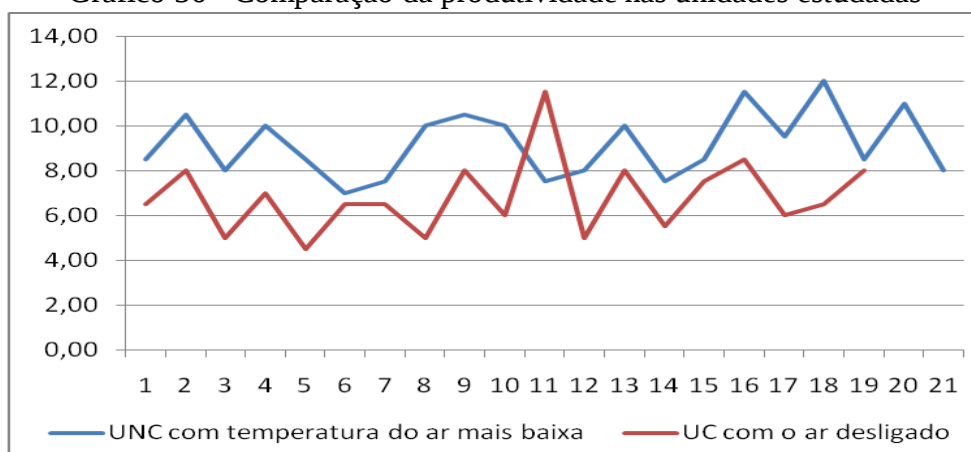
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 35 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 36 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas



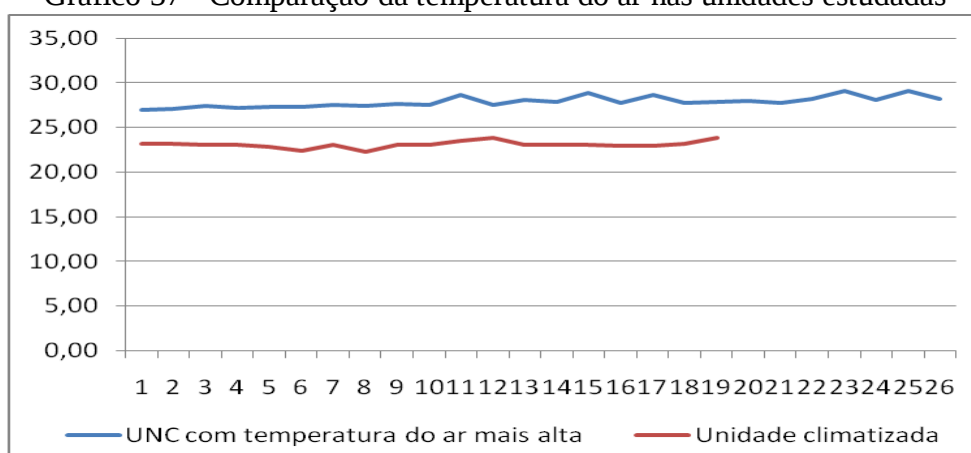
Fonte: Elaboração Própria (2019)

A temperatura do ar e a temperatura de globo na UC com o sistema de ar condicionado desligado foram maiores que as da UNC com temperatura do ar mais baixa, implicando sensação de calor. Novamente, a produtividade média dos trabalhadores se revelou maior com as temperaturas mais baixas, ou seja, na UNC.

4. UNC apresentando temperaturas do ar mais altas e a UC com o sistema de ar condicionado ligado

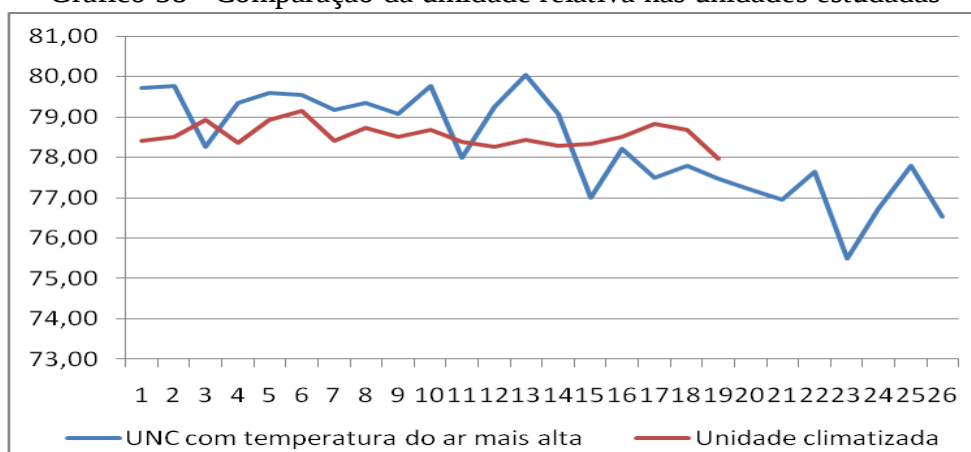
Averiguando a associação entre a produtividade e as condições termoambientais para esse cenário realizou-se representações gráficas a partir das médias das variáveis por trabalhador mostradas a seguir.

Gráfico 37 - Comparação da temperatura do ar nas unidades estudadas



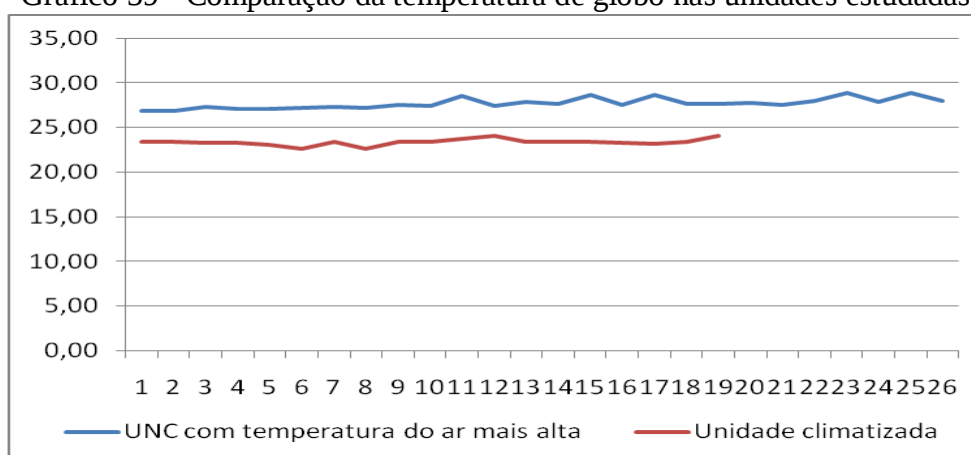
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 38 - Comparação da umidade relativa nas unidades estudadas



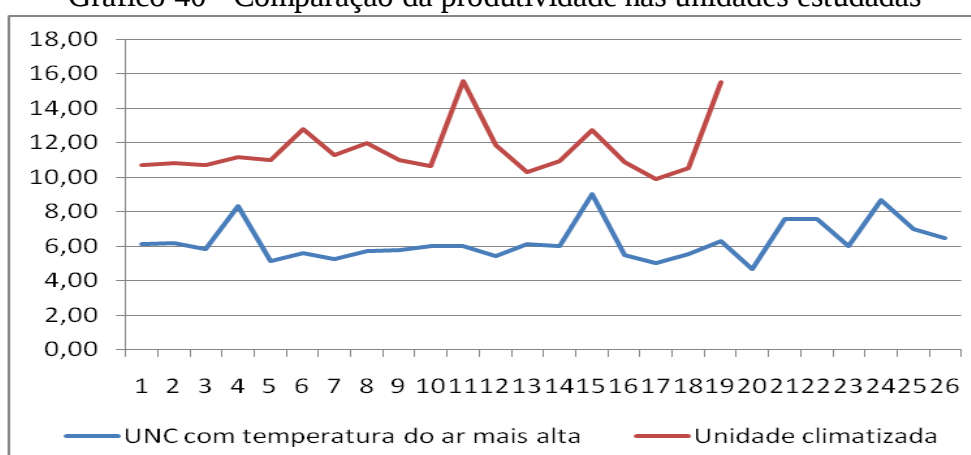
Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 39 - Comparação da temperatura de globo nas unidades estudadas



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Gráfico 40 - Comparação da produtividade nas unidades estudadas



Fonte: Elaboração Própria (2019)

As temperaturas do ar e de globo na UNC com temperatura do ar mais alta foram maiores que as da UC com o sistema de ar condicionado ligado, reforçando a sensação de

calor. A produtividade média novamente foi maior na unidade com as menores temperaturas, neste caso, a UC.

Portanto, analisando-se esses quatro cenários percebe-se que para situações com condições termoambientais extremas foi visível a redução da produtividade para praticamente todos os trabalhadores.

Vale destacar ainda, que não houve correlação forte entre a produtividade, as variáveis e os métodos de avaliação térmica da UNC e da UC, porque boa parte dos dados são de condições termoambientais mais próximas.

4.5 MODELAGEM MATEMÁTICA

Para a construção desse modelo, identificou-se quais condições termoambientais influenciavam a produtividade dos trabalhadores durante a atividade de ordenamento das duas unidades estudadas. De maneira que, as variáveis pessoais não foram inseridas no cálculo, pois o isolamento térmico das vestimentas apresentou correlação fraca e o metabolismo é o mesmo para todos os trabalhadores de cada unidade. Assim, utilizou-se o *software R-Project*, para a obtenção de um modelo de regressão linear múltiplo.

Inicialmente, definiu-se a variável dependente produtividade e as variáveis independentes: temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

Obteve-se assim o seguinte modelo:

$$Prod = 35,86 - 0,7387t_a - 2,4756.V_a - 0,0866.UR \quad (55)$$

Para investigar se todos os coeficientes do modelo são iguais a zero, realizou-se o Teste F, com nível de significância de 0,05. Com a seguinte Hipótese nula: $H_0: b_0 = b_1 = b_2 = b_3$, o resultado do Teste F, como também o coeficiente de determinação (R^2) é apresentado no Quadro (5):

Quadro 5 - Medidas de ajuste do modelo

Medida	Valor
Coeficiente de determinação (R^2)	0,4741
Estatística do teste F	134,7
Valor p do teste F	$< 2,2. 10^{-16}$

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como o valor p do teste $< 0,05$, rejeita-se a hipótese nula, então é possível formular um modelo de regressão linear que relacione a produtividade e pelo menos uma das três variáveis ambientais.

Com o objetivo de averiguar se cada coeficiente do modelo pode ser igual à zero, foi realizado o Teste T, com nível de significância de 0,05. Com a Hipótese nula para cada coeficiente do modelo: $H_{01} = b_0 = 0$; $H_{02} = b_1 = 0$; $H_{03} = b_2 = 0$; $H_{04} = b_3 = 0$. O resultado do teste de significância, como também as estimativas dos coeficientes estão retratados a seguir:

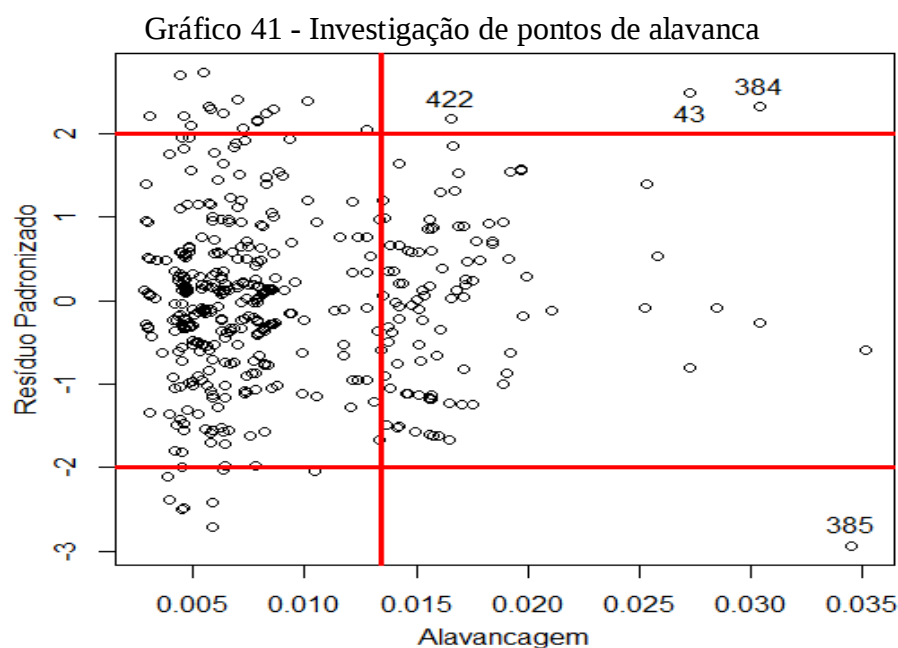
Quadro 6 - Resultado do teste de significância e estimativas dos coeficientes

Termos	Estimativas	T	Valor p
Intercepto	35,86	9,937	$< 2 \cdot 10^{-16}$
t_a	-0,7387	-10,47	$< 2 \cdot 10^{-16}$
V_a	-2,4756	-2,283	0,0229
UR	-0,0866	-2,428	0,0156

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como o valor $p < 0,05$, rejeita-se a hipótese nula, logo tanto a temperatura do ar, como a velocidade do ar e a umidade relativa apresentaram efeitos significativos. Assim, todas as variáveis permanecem no modelo.

No sentido de investigar pontos de alavanca, já que podem distorcer as estimativas, pois tem grande influência na estimação e se mostram fora da tendência geral dos dados, gerou-se o Gráfico (41).



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Excluindo os quatro pontos de alavanca identificados, sendo eles: 422, 43, 384 e 385, obteve-se o modelo de regressão linear ajustado. Com o intuito de averiguar se todos os coeficientes desse modelo ajustado eram iguais a zero, realizou-se o Teste F, com nível de significância de 0,05. Considerando-se a Hipótese nula: $H_0: b_0 = b_1 = b_2 = b_3$, o resultado do Teste F, como também o coeficiente de determinação (R^2) é apresentado no Quadro (7):

Quadro 7 - Medidas de ajuste do modelo ajustado com a retirada dos pontos de alavanca

Medida	Valor
Coeficiente de determinação (R^2)	0,4915
Estatística do teste F	143,1
Valor p do teste F	$< 2.10^{-16}$

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como o valor p do teste $< 0,05$, então rejeita-se a hipótese nula. Sendo assim, é possível formular um modelo de regressão linear ajustado que relacione a produtividade e pelo menos uma das três variáveis ambientais.

Na sequência, para se verificar cada coeficiente do modelo ajustado pode ser igual à zero, foi realizado o Teste T, com nível de significância de 0,05. Com a Hipótese nula: $H_{01} = b_0 = 0$; $H_{02} = b_1 = 0$; $H_{03} = b_2 = 0$; $H_{04} = b_3 = 0$. O resultado do teste de significância, como também as estimativas dos coeficientes estão retratados no Quadro (8):

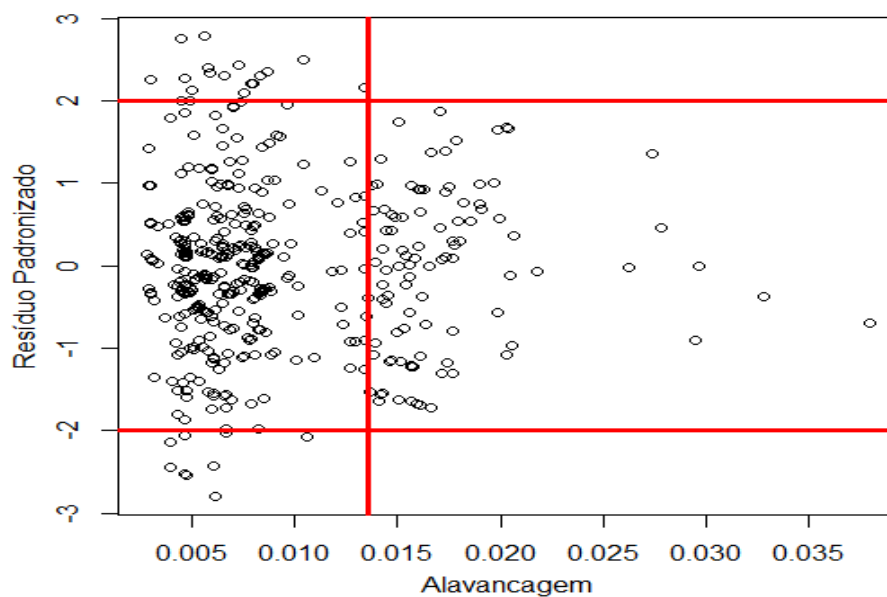
Quadro 8 - Estimativas e significância dos coeficientes com o modelo ajustado sem pontos de alavanca

Termos	Estimativas	T	Valor p
Intercepto	37,92	10,442	$< 2.10^{-16}$
t_a	-0,76	-10,896	$< 2.10^{-16}$
V_a	-2,155	-2,005	0,04552
UR	-0,108	-2,989	0,00296

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Para averiguar possíveis pontos de alavanca no modelo ajustado, realizou-se o Gráfico (42):

Gráfico 42 - Investigação dos pontos de alavanca para o modelo ajustada

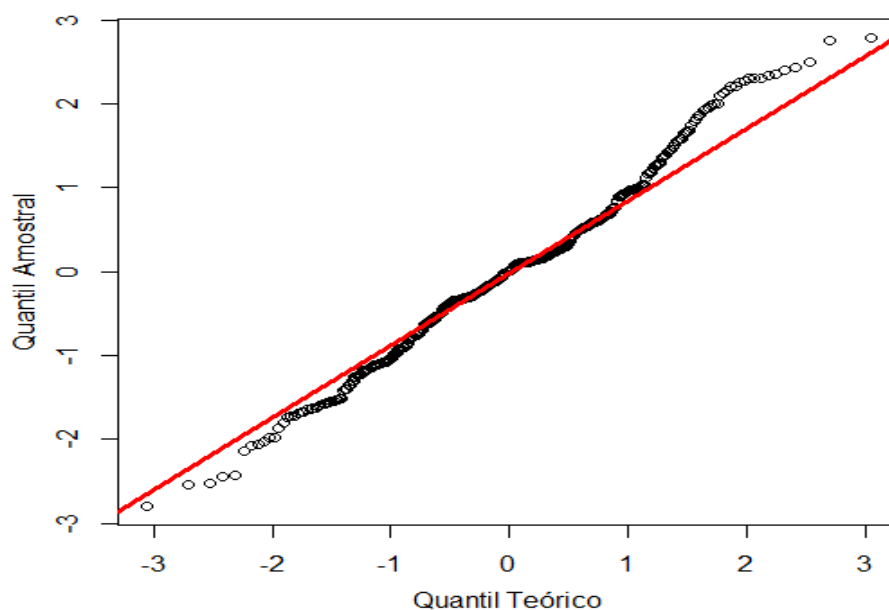


Fonte: Elaboração Própria (2019)

O modelo linear utilizado foi então, o modelo ajustado sem os quatro pontos de alavanca. Os gráficos de diagnóstico apresentados posteriormente foram desse modelo.

Com o intuito de investigar se a distribuição dos resíduos possuía comportamento de uma distribuição normal, construiu-se o Gráfico Q-Q Plot (43). De forma que, quanto mais alinhados estiverem os pontos, maior será a aproximação para a distribuição normal.

Gráfico 43 - Avaliação da normalidade dos resíduos padronizados



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Analisando-se o gráfico (43) de acordo com a distribuição dos pontos ao longo da reta, não fica claro se esses resíduos apresentam distribuição normal. Para melhor averiguar essa

situação realizou-se o teste de *Jarque-Bera*, com nível de significância de 0,05. Adotou-se a Hipótese nula: Resíduos normais. O resultado está apresentado no Quadro (9).

Quadro 9 - Resultado do teste de normalidade

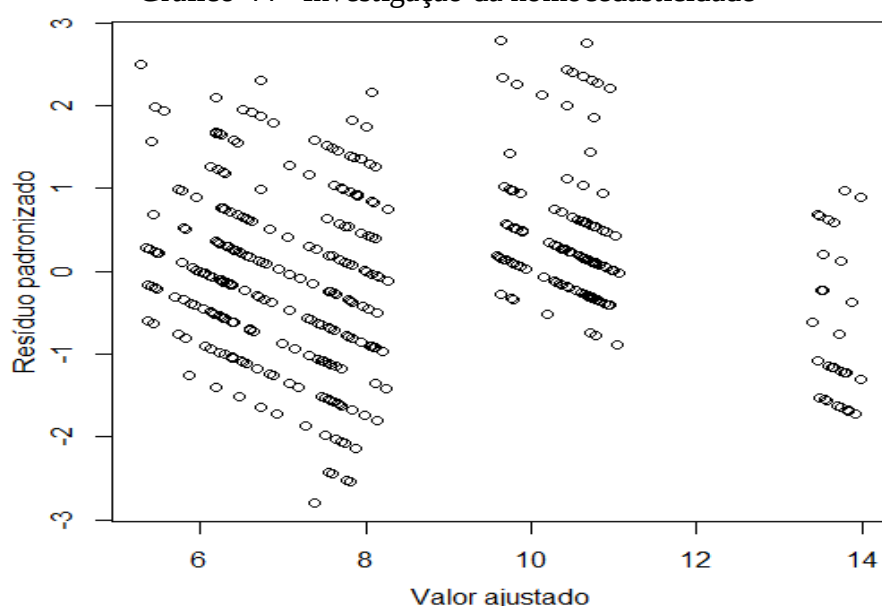
Medida	Teste de Jarque-Bera
Qui-quadrado	0,0091
Valor p	0,9238

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como o valor $p > 0,05$, aceita-se a hipótese nula. Portanto, esses resíduos apresentam distribuição normal.

Outro pressuposto que merece atenção é a homocedasticidade (Gráfico 44), isto é, variância constante ou homogeneidade de variâncias. Que acontece quando os resíduos encontram-se mais homogêneos e menos dispersos em torno da reta de regressão do modelo.

Gráfico 44 - Investigação da homocedasticidade



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Para melhor averiguar a homocedasticidade realizou-se o teste da variância não constante, com nível de significância de 0,05. Adotou-se a Hipótese nula: A variância é constante. Tendo o resultado retratado no Quadro (10).

Quadro 10 - Resultado do teste de homocedasticidade

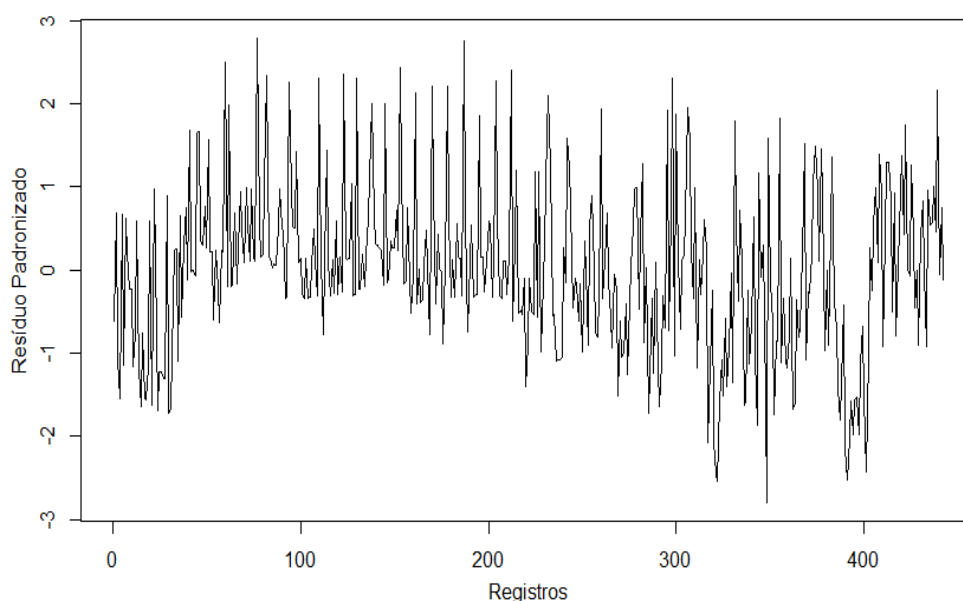
Medida	Teste de variância não constante
Qui-quadrado	3,3536
Valor p	0,187

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Como o valor $p > 0,05$, aceita-se a hipótese nula. Portanto, é possível considerar a variância como constante.

Averiguando a correlação serial, construiu-se o Gráfico (45).

Gráfico 45 - Investigação da correlação serial



Fonte: Elaboração Própria (2019)

O Gráfico (45) dos resíduos não mostra variações sistemáticas que permitam refutar a hipótese de independência dos erros padronizados. Um cálculo do coeficiente de autocorrelação apresentou um valor de 0,29, o que representa um nível fraco de associação de dos resíduos de registros distintos.

Para se investigar a multicolinearidade, que acontece quando as variáveis estão correlacionadas, utilizou-se o fator de variância inflacionado (VIF). Os valores dessa medida para as três variáveis são mostrados no Quadro (11).

Quadro 11 - Fator de variância inflacionado

Variáveis independentes	VIF
Temperatura do ar	2,66
Velocidade do ar	3,00
Umidade relativa	1,48

Fonte: Elaboração Própria (2019)

Observa-se que para nenhuma das variáveis o valor do VIF foi superior a 10, o que indicaria multicolinearidade.

Como o diagnóstico do modelo não indicou qualquer problema com os pressupostos requeridos para validade do modelo, temos que esse pode ser considerado válido. Como o

coeficiente do modelo ajustado foi 0,4915, isso implica em dizer que, as três variáveis independentes explicam 49,15% da variação da produtividade.

O modelo linear ajustado apresenta a equação:

$$Prod = 37,92 - 0,76t_a - 2,155.V_a - 0,108.UR \quad (56)$$

O modelo ajustado indica que os trabalhadores que estiveram sob temperaturas do ar mais altas tiveram menores valores de produtividade. Os ambientes que também tiveram valores de umidade mais alta também tenderam a apresentar menores valores de produtividade. Porém, algo inesperado ocorreu com relação à velocidade do ar. O ambiente com velocidade do ar mais alta tendeu a apresentar níveis de produtividade mais baixa. Essa tendência pode ser justificada por:

- i. Na UNC o efeito da radiação térmica pode ter sido mais forte que o da velocidade do ar, tendendo a reduzir a produtividade;
- ii. O efeito da sensação térmica na UC. Em ambientes frios, o aumento da velocidade do ar aumenta a convecção e com ela a sensação de frio, levando o sistema de termorregulação a atuar, implicando um esforço adicional ao trabalhador, impactando na redução da produtividade.

Interpretando-se o modelo ajustado percebe-se que, o aumento de 1°C da temperatura do ar, implica em uma redução de 0,76 da produtividade; o acréscimo de 1% da umidade relativa, resulta em uma diminuição de 0,108 na produtividade; e ainda o aumento de 1m/s na velocidade do ar, acarreta uma redução de 2, 155 na produtividade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como os trabalhadores passam uma parte bastante significativa dos seus dias nos ambientes de trabalho é de suma importância que exista uma relação positiva entre os trabalhadores e esses ambientes laborais. Assim, ambientes térmicos favoráveis contribuem para um bom desempenho por parte dos trabalhadores, conforme foi observado após revisão sistemática da literatura sobre essa temática.

Nesse sentido, esta dissertação investigou a influência das condições termoambientais e pessoais na produtividade de trabalhadores em uma empresa de logística na Paraíba. Essas condições foram analisadas em um ambiente climatizado e em outro não climatizado, bem como suas produtividades durante a atividade de ordenamento. Realizou-se também um estudo comparativo entre as produtividades destas unidades e ainda um modelo matemático ajustado para a produtividade em função das condições termoambientais de ambas as unidades pesquisadas.

Vale salientar que, as variáveis pessoais, resistência térmica da vestimenta e taxa metabólica em função da produtividade não foram consideradas e também não aparecem no modelo matemático. A resistência térmica da vestimenta por que na unidade climatizada não apresentou correlação com a produtividade, e na unidade não climatizada apresentou correlação fraca. Quanto à taxa metabólica, foi a mesma para cada unidade.

Para analisar as condições termoambientais da UC utilizaram-se o PMV e PPD de acordo com as diretrizes da norma ISO 7730 (2005). Nos dois primeiros dias de medições (15 e 16 de maio) verificou-se desconforto térmico ocasionado por frio. Depois, a central de ar condicionado foi desligada com autorização da empresa por dois dias (22 e 23 de maio), constatando-se desconforto térmico, porém neste caso por calor. Nos demais dias de medições se verificaram condições de conforto térmico.

Analizando a produtividade dos trabalhadores na UC constatou-se que na faixa de temperatura média do ar entre 23°C e 24°C a produtividade foi maior do que a dos dias em que a central de ar condicionado foi desligada, quando a temperatura média do ar estava acima de 28°C. Isso se explica pela relação que existe entre o conforto térmico e a produtividade, pois quando os ambientes encontram-se termicamente confortáveis o organismo dos trabalhadores não precisa de mais energia para realizar o balanço térmico, logo sua produtividade é melhor. Esse fato fica evidente nos estudos encontrados por meio da revisão sistemática realizada nesta pesquisa.

Ainda com relação à produtividade precisa-se destacar que quando a temperatura média do ar encontrava-se acima de 19°C, a produtividade dos trabalhadores se comportava de maneira similar aos dias em que a faixa de temperatura média do ar estava entre 23°C e 24°C. Isso pode ser justificado, uma vez que, todos os trabalhadores por serem do sexo masculino, apresentam menor sensação térmica ao frio, visto que, alguns funcionários foram indagados de maneira informal sobre a temperatura e os mesmos relataram estarem termicamente confortáveis. Assim, esses resultados corroboram os estudos de Nematchoua et al. (2019) e Chang e Kajackaite (2019).

Para averiguar as condições termoambientais na UNC empregaram-se SW_{req} e w_{req} conforme as diretrizes da norma ISO 7933 (1989), as quais revelaram que os trabalhadores se encontravam em equilíbrio térmico e hídrico.

Observando o comportamento da produtividade dos trabalhadores desta unidade, conclui-se que quando a temperatura média do ar ficava próxima de 25°C a produtividade era maior do que a dos demais dias de medições em que a temperatura média do ar ficava na faixa entre 26°C a 28°C. Isso pode ser justificado pelo fato de que quanto mais a temperatura do ar aumenta, mais esforço o sistema de termorregulação precisa realizar para manter o balanço térmico, diminuindo assim o desempenho dos trabalhadores. Essa conclusão evidencia como as condições termoambientais dos ambientes de trabalho exercem influência na produtividade dos trabalhadores, confirmando os estudos encontrados na literatura.

Analisando as condições termoambientais e a produtividade dos trabalhadores das duas unidades, concluiu-se que quando as condições termoambientais eram mais severas notava-se a redução da produtividade para praticamente todos os trabalhadores.

Diante dessa conclusão um modelo de regressão linear múltiplo foi desenvolvido, o qual demonstrou que a produtividade da amostra utilizada nesta pesquisa pode ser prevista em função da temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar.

Constatou-se que o modelo encontrado ratifica os resultados da análise da produtividade considerando as condições termoambientais de ambas as unidades, já que demonstra a relação de redução da produtividade quando ocorre aumento da temperatura do ar e da umidade relativa. Porém, o comportamento da variável velocidade do ar surpreendeu, visto que, o aumento da velocidade do ar, favoreceu a redução da produtividade.

Como justificativa para esse comportamento observa-se que, na UNC o efeito da radiação térmica pode ter sido mais forte que o da velocidade do ar, tendendo a reduzir a produtividade; e ainda o efeito da sensação térmica na UC. Em ambientes frios, o aumento da velocidade do ar aumenta a convecção e com ela a sensação de frio, levando o sistema de

termorregulação a atuar, implicando um esforço adicional ao trabalhador, impactando na redução da produtividade.

Portanto, analisando a produtividade dos trabalhadores das duas unidades, percebe-se a importância de fornecer um ambiente termicamente favorável para a maioria dos trabalhadores, uma vez que, mesmo nas melhores condições de conforto térmico ainda haverá pessoas insatisfeitas (ISO 7730, 2005).

Embora a UNC apresente ventiladores espalhados pelo setor e os trabalhadores se encontrem em equilíbrio térmico e hídrico, constatou-se que quando a temperatura do ar diminuía a produtividade de praticamente todos os trabalhadores melhorava. Logo, poderiam ser instalados mais ventiladores e exaustores com o objetivo de aumentar a taxa de renovação do ar quente por ar com temperatura mais amena e consequentemente melhorar a produtividade.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade nessa investigação que diz respeito à influência das condições termoambientais e pessoais na produtividade sugere-se para pesquisas futuras:

- Avaliar as demais atividades realizadas nas unidades pesquisadas, para melhor averiguar essa relação entre as condições termoambientais e pessoais na produtividade, se possível ampliar o tempo de coleta de dados;
- Analisar as condições termoambientais e pessoais das mesmas unidades durante o verão, por ser a estação que apresenta as maiores temperaturas do ar;
- Analisar as condições termoambientais e pessoais de outras unidades da empresa ao longo do Brasil, de modo a compará-las com esses resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- AKIMOTO, T. et al. Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 45-50, 2010.
- ANACLETO, A. M. C. **Temperatura e sua medição**. 218 f. Dissertação (Mestrado em Física para o Ensino) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.
- ANDREASI, W. A. **Método de avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Standard 55: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2010.
- ARAÚJO, Angélica. O. **O perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas**. 223 f. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- ARAÚJO, Artur. T. **Conceitos de calor e temperatura sob a ótica do momento pedagógico de problematização inicial**. 212 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- AZIZPOUR, F. et al. Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: A case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC). **Energy and Buildings**, v. 64, p. 317-322, 2013.
- BAPTISTA, F. M. **Ventilação de Cozinhas Profissionais** (Ambiente Térmico e Qualidade do Ar). 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- BARROS, B.; CUNHA, M.; VILLAROUÇO, V. Ambientes de sala de aula: Um estudo comparativo entre condições humanas e índices ergonômicos normatizados em um objeto de estudo. **Revista Ação Ergonômica**, v. 10, n. 1, 2015.
- BERNOLAK, I. Effective measurement and successful elements of company productivity: The basis of competitiveness and world prosperity. **International Journal of Production Economics**, v. 52, n. 1-2, p. 203-213, 1997.
- BLUYSSSEN, P. M. (2010). Towards new methods and ways to create healthy and comfortable buildings. **Building and Environment**, v. 45, n. 4, p. 808-818, 2010.
- CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Revista saúde e pesquisa**, v. 4, n. 2, p. 278-288, 2011.
- CARVALHAIS, C. A. A. **Contribuição para o estudo da tolerância humana a ambientes térmicos extremos: ensaios de validação de câmara climática**. 162 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

CASTILLA, M. et al. A comparison of thermal comfort predictive control strategies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 10, p. 2737-2746, 2011.

CHANG, C. H.; BERNARD, T. E.; LOGAN, J. Effects of heat stress on risk perceptions and risk taking. **Applied Ergonomics**, v. 62, p. 150-157, 2017.

CHANG, T. Y.; KAJACKAITE, A. Battle for the thermostat: Gender and the effect of temperature on cognitive performance. **PLoS ONE**, v. 14, n. 5, p. 1-10, 2019.

CLAPP, A. J. et al. Palatability ratings of different beverages of heat exposed workers in a simulated hot industrial environment. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 26, n. 1, p. 57-66, 2000.

CLEMENTS-CROOME, D. J. **Creating the productive workplace**. 1. ed. London and New York: E&FN Spon, 2002.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1988.

COSTA, E. R. Q. M. **Influência do ambiente térmico na amplitude do sinal eeg em atividades sedentárias**. 309 f. Tese (Doutorado em Segurança e Saúde Ocupacionais) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.

COSTA, E. et al. Hot thermal environment and its impact in productivity and accidents. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OCCUPATIONAL SAFETY AND HYGIENE, 2011, GUIMARÃES. **Anais eletrônicos...** Guimarães, 2011. Disponível em: < <https://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/emilia.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

COUTINHO, A. S. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho**. 2. ed. João Pessoa: Universitária/UFPB/PPGEP, 2005.

DEAR, K. Modelling Productivity Loss from Heat Stress. **Atmosphere**, v. 9, n. 7, p. 1-9, 2018.

DIANAT, I.; VAHEDI, A.; DEHNAVI, S. Association between objective and subjective assessments of environmental ergonomic factors in manufacturing plants. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 54, p. 26-31, 2016.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: a review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2626-2640, 2010.

DUL, J. WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. Tradução: Itiro Iida. 2 ed. rev. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2004.

ELY, V. H. M. B.; TURKIENICZ, B. Método da grade de atributos: avaliando a relação entre usuário e ambiente. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 2, p. 77-88, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE CORREIOS E TELEGRÁFOS. CORREIOS. **A empresa**. Disponível em: < <http://www.correios.com.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**: analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FELIX, V. B.; MOURA, D.; PEREIRA, M. L.; TRIBESS, A. Avaliação de conforto térmico em ambientes cirúrgicos utilizando método de Fanger e temperaturas equivalentes. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 69-78, 2010.

FERNANDES, N. G. S.; SILVA, I. C. S. Proposta de condições de conforto térmico adequada aos trabalhadores do Centro de Entrega de Encomendas de uma Empresa Postal na Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2016.

FIELD, A. **Descobrimos a estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FROTA A. B; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo : Studio Nobel, 2001.

GALLOIS, N. S. P. **Análise das condições de stress e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 1, p.183-184, 2014.

GENG, Y.; JI, W.; LIN, B.; ZHU, Y. The impact of thermal environment on occupant IEQ perception and productivity. **Building and Environment**, v. 121, p. 158-167, 2017.

GOHR, C. F. et al. Um método para a revisão sistemática da literatura em pesquisas de engenharia de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_186_058_22376.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

GOMES, A. B. **Avaliação experimental de condições de conforto térmico em automóveis de passeio utilizando manequim**. 81 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GOMES, L. C. A ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1030-1073, 2012.

GOMES, N. C. A. **Os Efeitos do Ambiente Térmico**: Avaliação Subjetiva e Numérica. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade do Minho, Guimarães, 2015.

GOSLING, M.; ARAÚJO, G. C. D. Saúde física do trabalhador rural submetido a ruídos e à carga térmica: Um estudo em operadores de tratores. **O mundo da saúde**, v. 32, n. 3, p. 275-286, 2008.

GRANDI, M. S. **Avaliação da percepção da sensação térmica em uma sala de controle**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GREGIO, N. O. **Termodinâmica, um tutorial para entendimento do conceito de entropia**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, 2016.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 581-591, 2002.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2005.

ILANGKUMARAN, M. et al. Risk analysis and warning rate of hot environment for foundry industry using hybrid MCDM technique. **Safety Science**, v. 72, p. 133-143, 2015.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. Tempo. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8996**: Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate. Genebra, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9920**: Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genebra, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7933**: Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Genebra, 1989.

ISMAIL, A. R. et al. Optimization of temperature level to enhance worker performance in automotive. **American Journal of Applied Sciences**, v. 7, n. 3, p. 360-365, 2010.

ISMAIL, A. R. et al. Relationship between thermal comfort and driving performance among Malaysian bus driver. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 10, n.17, p. 7406-7411, 2015.

JANG, M. S.; KOH, C.D.; MOON, I.S. Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 55-61, 2007.

KENEFICK, R. W.; SAWKA, M. N. Hydration at the work site. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 26, n. 5, p. 597S-603S, 2007.

KJELLSTROM, T. et al. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. **Annual Review of Public Health**, v. 37, p. 97-112, 2016.

KRISHNAMURTHY, M. et al. Occupational Heat Stress Impacts on Health and Productivity in a Steel Industry in Southern India. **Safety and Health at Work**, v. 8, n. 1, p. 99-104, 2017.

KUZNIK, F.; VIRGONE, J.; JOHANNES, K. In-situ study of thermal comfort enhancement in a renovated building equipped with phase change material wallboard. **Renewable Energy**, v. 36, n. 5, p. 1458-1462, 2011.

LAMBERTS, R. et al. **Conforto e Stress Térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2016a.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2016b.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied Ergonomics**, v. 42, n. 1, p. 29-36, 2010.

LAO, J. et al. Working smart: An exploration of council workers' experiences and perceptions of heat in Adelaide, South Australia. **Safety Science**, v. 82, p. 228-235, 2016.

LEVI, M.; KJELLSTROM, T.; BALDASSERONI, A. Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. **Medicina del Lavoro**, v. 109, n. 3, p. 163-179, 2018.

LIANG, C. et al. A new environmental heat stress index for indoor hot and humid environments based on cox regression. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2472-2479, 2011.

LIPCZYNSKAA, A.; SCHIAVONB, S.; GRAHAMB, L. T. Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics. **Building and Environment**, v. 135, p. 202-212, 2018.

LUIZETTO, L. E. F. **Conforto térmico em ambientes de escritório**. 66 f. Monografia (MBA em Gerenciamento de Facilidades) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MARCHI, S. R. **Análise da influência da cor no potencial de aproveitamento da luz natural no ambiente construído**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MATEO-CECILIA, C. et al. Creating Office Spaces in the Mediterranean. The importance of well-being, health and performance of office users. **Informes de la Construcción**, v. 70, n. 549, p. 1-12, 2018.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MORGADO, M.; TEIXEIRA, L.; TALAIA, M. Creating productive workers in industrial context from the Definition of Thermal Comfort. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 6, n. 2, p. 75-84, 2015.

NEMATCHOUAA, M. K. et al. Influence of indoor environmental quality on the self-estimated performance of office workers in the tropical wet and hot climate of Cameroon. **Journal of Building Engineering**, v. 21, p. 141–148, 2019.

OLIVEIRA, A. V. F. M. **Estudo de ambientes térmicos frios: desenvolvimentos experimentais e avaliação de condições de trabalho**. 375 f. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Mecânica na especialidade de Climatização e Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2006.

PARSONS, K. **Human Thermal Environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

PEKURI, A.; HAAPASALO, H.; HERRALA, M. Productivity and Performance Management – Managerial Practices in the Construction Industry. **International Journal of Performance Measurement**, v. 1, p. 39-58, 2011.

PRADHAN, B. et al. Assessing Climate Change and Heat Stress Responses in the Tarai Region of Nepal. **Industrial Health**, v. 51, n. 1, p. 101-112, 2013.

RAFAEL, F. J. **Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e temperatura**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

RINIOLO, T. C.; SCHMIDT, L. A. Chronic heat stress and cognitive development: An example of thermal conditions influencing human development. **Developmental Review**, v. 26, n. 3, p. 277-290, 2006.

RODRIGUES, F. A. G. **Conforto e Stress Térmico: uma Avaliação em Ambiente Laboral**. 202 f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.

RUAS, A. C. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SANTOS, J. P. O. **Relatório de Atividades Profissionais**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores) – Universidade do Minho, Braga, 2013.

SHELLEN, L. et al. The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions — Gender differences in thermophysiology, thermal Comfort and productivity during convective and radiant cooling. **Physiology & Behavior**, v. 107, n. 2, p. 252-261, 2012.

SCHMITZ, L. K. **Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários**. 298f. Tese (Doutorado em Geografia) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SEPPANEN, O.; FISK, W. J.; FAULKNER, D. Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling in office building. **Healthy Buildings 2003: energy-efficient healthy buildings: proceedings of ISIAQ 7th International Conference**. Singapore, 2003. v. 3. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/3j82f642>>. Acesso em: 20 out. 2017.

SEPPANEN, O.; FISK, W. J.; LEI, Q. H. Effect of temperature on task performance in office environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COLD CLIMATE HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING, 5., 2006, Moscow. **Anais eletrônicos...** Moscow, 2006. Disponível em: <<http://escholarship.org/content/qt45g4n3rv/qt45g4n3rv.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2017.

SHAHZAD, S. S. et al. Energy efficiency and user comfort in the workplace: Norwegian cellular vs. British open plan workplaces. **Energy Procedia**, v. 75, p. 807-812, 2015.

SHEFFIELD, P. E. et al. Current and future heat stress in Nicaraguan work places under a changing climate. **Industrial Health**, v. 51, n. 1, p. 123- 127, 2013.

SHEN, D.; ZHU, N. Influence of the temperature and relative humidity on human heat acclimatization during training in extremely hot environments. **Building and Environment**, v. 94, p. 1-11, 2015.

SILVA, A. N. B. **Arquivos funcionais em universidades públicas sob o foco da ergonomia do ambiente construído**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ergonomia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

SILVA, L. B. **Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados e cobrança da caixa econômica federal do estado de Pernambuco**. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA, P. C. P. **Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE**. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Processos e Gestão da Construção) – Universidade do Minho, Guimarães, 2006.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SOUSA, A. M. C. O. **Ambiente Térmico em Espaços não Climatizados e a sua Influência na Produtividade e Sinistralidade Laboral: Uma Aplicação ao Sector Mineiro**. 321 f. Tese (Doutorado em Segurança e Saúde Ocupacionais) – Universidade do Porto, Porto, 2013.

SPECTOR, J. T. et al. Associations between heat exposure, vigilance, and balance performance in summer tree fruit harvesters. **Applied Ergonomics**, v. 67, p. 1-8, 2018.

TANABE, S.; HANEDA, M.; NISHIHARA, N. Workplace productivity and individual thermal satisfaction. **Building and Environment**, v. 91, p. 42-50, 2015.

TARANTINI, M.; PERNIGOTTO, G.; GASPARELLA, A. A Co-Citation Analysis on Thermal Comfort and Productivity Aspects in Production and Office Buildings. **Buildings**, v. 7, n. 36, p. 1-17, 2017.

TENG, H. S. S. Qualitative productivity analysis: does a non-financial measurement model exist? **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 2, p. 250-256, 2014.

UDREA, I. et al. Thermal comfort analyses in naturally ventilated buildings. **Mathematical Modelling in Civil Engineering**, v. 10, n. 3, 2014.

VASCONCELOS, C. S. F.; VILLAROUÇO, V.; SOARES, M. M. Avaliação Ergonômica do Ambiente Construído: Estudo de caso em uma biblioteca universitária. **Revista Ação Ergonômica**, v. 4, n. 1, p. 5-25, 2009.

VENUGOPAL, V. et al. Occupational Heat Stress Profiles in Selected Workplaces in India. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 89, p. 1-13, 2016.

VERGARA, L. G. L. **Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do hospital Universitário de Florianópolis**. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

XAVIER, A. A. P. **Predição de Conforto Térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – teoria física aliada a estudos de campo**. 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

WANG, X. et al. Investigating the effect of indoor thermal environment on occupants' mental workload and task performance using electroencephalogram. **Building and Environment**, v. 158, p. 120–132, 2019.

WITKOWSKA1, A.; GLADYSZEWSKA-FIEDORUK, K. Analysis of thermal comfort in education building in surveys. **E3S Web of Conferences**, v. 44, n. 189, p. 1-7, 2018.

WITTERSEH, T.; WYON, D. P.; CLAUSEN, G. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. **Indoor Air**, v. 14, n. 8, p. 30-40, 2004.

YEGANEH, A. J. et al. Correlation of ambient air temperature and cognitive performance: A systematic review and meta-analysis. **Building and Environment**, v. 143, n. 1, p. 701-716, 2018.

ZANDER, K. K. et al. Heat stress causes substantial labour productivity loss in Austratlia. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 7, p.647-651, 2015.

ZANDER, K. K.; MATHEW, S. Estimating economic losses from perceived heat stress in urban Malaysia. **Ecological Economics**, v. 159, p. 84–90, 2019.

ZHAO, J.; ZHU, N.; LU, S. Productivity model in hot and humid environment based on heat tolerance time analysis. **Building and Environment**, v. 44, n. 11, p. 2202-2207, 2009.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática**. 4. ed. São Paulo: AMGH Editora LTDA, 2012.