



Felipe Mendes da Cruz

Avaliação dos efeitos sinérgicos sobre os trabalhadores expostos a fatores de risco físico em simultâneo.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Felipe Mendes da Cruz

Avaliação dos efeitos sinérgicos sobre os
trabalhadores expostos a fatores de risco
físico em simultâneo.

Tese de Doutoramento
Engenharia Industrial e de Sistemas (PDEIS)

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Pedro Miguel Ferreira Martins Arezes
Professor Doutor Béda Barkokébas Junior

DECLARAÇÃO

Felipe Mendes da Cruz

Endereço eletrónico: felipemendeslsht@poli.br

Telefone: +55 81 988585344

Número do Bilhete de Identidade: FJ320822

Título da tese

Avaliação dos efeitos sinérgicos sobre os trabalhadores expostos a fatores de risco físico em simultâneo.

Orientadores:

Professor Doutor Pedro Miguel Ferreira Martins Arezes

Professor Doutor Béda Barkokébas Junior

Ano de conclusão: 2018

Designação do Ramos de Conhecimento do Doutoramento:

Engenharia de Produção e de Sistemas

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL OU PARCIAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITO DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE A DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 29 /09/ 2018.

Assinatura:



DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmando que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho,

Felipe Mendes da Cruz

Assinatura:



(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

AGRADECIMENTOS

Durante toda a jornada me perguntei se estava no caminho certo, se as escolhas que fiz foram corretas. Desenvolver a tese é mais que estudar um tema novo, ou escrever sobre algo ainda não explorado. Desenvolver uma tese é um trabalho de autoconhecimento. Superar os limites do conhecimento, do cansaço físico, cognitivo e emocional sem dúvidas é digno de comemoração. Mas o fato é que não se consegue superar limites sem ajuda. É por isso que agradeço ao Prof. Dr. Béda Barkokébas Jr. por toda orientação, paciência, dedicação e disponibilidade em me receber a qualquer hora e em qualquer lugar para discutir sobre o trabalho. Pelo incentivo e suporte nos momentos em que tudo parecia não avançar, mas acima de tudo pelo convívio e os ensinamentos que adquiri ao longo do processo. Agradeço também ao Prof. Dr. Pedro Arezes pela confiança em me receber e aceitar me orientar a distância. Agradeço por todas as orientações, sempre assertivas naquilo em que eu errava. Existem pessoas que simplesmente são extraordinárias. E professor Pedro é uma delas, seu exemplo e sua conduta são dignas de reverências. Agradeço a minha esposa por todas as madrugadas em claro e pelos finais de semana perdidos, todas as quedas, vontade de desistir e ataques de raiva. Coisas que só quem convive conosco sabe do que se trata. Sem ela tenho certeza que não teria chegado até aqui. Agradeço aos meus pais por todo sacrifício realizado em prol da minha educação. Dos castigos ao dinheiro do almoço. Se não fossem eles, eu nunca teria condições de construir as oportunidades que me trouxeram até este dia e sei que essa dívida eu nunca terei como pagar. Agradeço aos meus colegas do NSHT, por ler, reler e ler novamente as mesmas coisas, por dividirem a carga dos trabalhos de rotina comigo e terem paciência quando meu rendimento não estava bom. É nestas horas que percebo que trabalhar em equipe é um ato de caridade mútua e que quando não se tem amigos, também não conseguimos crescer como pessoas. Por fim agradeço a Deus por tudo que nos tem permitido vivenciar tanto as tristezas quanto as alegrias.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

“Onde houver dúvida, que eu leve a fé
Onde houver erro, que eu leve a verdade
Onde houver desespero, que eu leve a esperança
Onde houver tristeza, que eu leve alegria
Onde houver trevas, que eu leve a luz”.

Oração de São Francisco

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

Atualmente, é possível definir a saúde como o bem-estar físico, mental e social, em que o ser humano goza o grau máximo de saúde em determinado tempo e lugar. No entanto, para o ambiente de trabalho ser considerado salubre ele deve respeitar os limites de tolerância previstos pelas legislações e diretivas internacionais. No geral, a literatura evidencia que dois riscos ocupacionais combinados, podem produzir respostas orgânicas diferentes de quando considerados de forma isolada. À princípio, os mesmos teriam o potencial de ser mais nocivos à saúde do trabalhador, mesmo em baixos níveis. Tal fato possibilita a discussão sobre os métodos tradicionais de avaliação ocupacional, cujas metodologias consideram os fatores de riscos de forma isolada. Com isso, o objetivo do trabalho foi identificar os efeitos resultantes da exposição simultânea a fatores de risco físico sobre a saúde de operadores de equipamentos na indústria da construção civil, relativos aos aspectos fisiológicos e cognitivos, a fim de desenvolver uma metodologia para análise combinada dos fatores de risco físico. Para isto foram realizadas 50 medições ocupacionais de ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro em operadores de equipamentos da construção civil (ECC) durante a toda a jornada de trabalho. Também foram coletados dados de frequência cardíaca (FC) e desempenho em teste de atenção (TMR) durante a jornada de trabalho. Os dados foram tratados estatisticamente, cujos resultados mostram que o ruído possui o L_{avg} médio de 77,7 dB(A), enquanto o índice WBGT é de 26,0°C e a vibração de corpo inteiro possui AREN de 0,570 m/s². Esses valores indicam que as operações com ECC ocorrem com os fatores de risco abaixo dos limites de tolerância. Tendo em vista que para o ruído o limite é de 85,0 dB(A). Enquanto o para o estresse térmico é de 30,5°C e para as vibrações de corpo inteiro é de 1,15m/s². Os fatores de risco físico quando analisados em separado possuem fraca correlação estatística com as respostas orgânicas (FC e TMR). Contudo, quando analisados em simultâneo por meio de modelos de regressão linear múltipla (RLM) as respostas orgânicas podem ser explicadas pela combinação do ruído, das vibrações de corpo inteiro e do calor. Não foi possível perceber se os fatores de risco físico quando combinados tornavam-se mais agressivos do que quando avaliados em separado. O que foi possível constatar é que durante a jornada, a FC e o TMR variam em torno de valores médios. A sinergia entre os fatores de risco observados, não pôde ser relacionada a capacidade de ser mais agressivo ao ser humano durante a exposição, mas sim ao fato dos dados das respostas orgânicas obtidos só puderem ser explicados pela combinação dos mesmos. Ao ponto de quando o dado de um dos fatores ser retirado da análise, o modelo perder totalmente sua precisão e capacidade de explicação numérica das respostas orgânicas.

Palavras-chaves: ruído, vibração de corpo inteiro, estresse térmico, construção civil, operador de máquinas, frequência cardíaca, teste *Stroop*, efeitos combinados.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

Currently, it is possible to define health as physical, mental and social well-being, in which the human being enjoys the maximum degree of health at a given time and place. However, for the working environment to be considered salubrious it must respect the limits of tolerance provided by international laws and directives. Overall, the literature shows that two combined occupational hazards may produce different organic responses than when considered in isolation. At first, they would have the potential to be more harmful to worker health, even at low levels. This fact makes possible the discussion about the traditional methods of occupational evaluation, whose methodologies consider the risk factors in isolation. The objective of this study was to identify the effects of simultaneous exposure to physical risk factors on the health of equipment operators in the construction industry, related to physiological and cognitive aspects, to develop a methodology for the combined analysis of physical risk factors. For this, 50 occupational measurements of noise, heat and full body vibrations were performed on construction equipment operators (CEO) during the working day. Also collected heart rate (HR) data and performance in attention test (MRT) during the work day. The data were analyzed statistically, whose results show that the noise has the Lavg of 77.7 dB (A), while the index WBGT is 26.0°C and whole body vibration has AREN of 0.570 m/s². These values indicate that CEO operations occur with risk factors below the tolerance limits. Considering that the noise limit is 85.0 dB (A). While the for the heat stress is 30.5 ° C and for the whole-body vibrations is 1.15m/s². Physical risk factors when analyzed separately have a low statistical correlation with the physiological responses (HR and MRT). However, when analyzed simultaneously by multiple linear regression (MLR) models the physiological responses can be explained by the combination of noise, whole-body vibrations and heat. It was not possible to see if the physical risk factors when combined became more aggressive than when assessed separately. What was possible to verify is that during the day, the HR and TMR vary around average values. The synergy between the observed risk factors could not be related to the capacity to be more aggressive to humans during the exposure, but to the fact that the data of the physiological responses obtained can only be explained by the combination of the same. To the extent that when the data of one of the factors is removed from the analysis the model totally loses its accuracy and numerical explanation capacity of the physiological responses.

Keywords: noise, whole-body vibration, heat stress, construction, machine operator, heart rate, Stroop test, combined effects.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	XI
ÍNDICE GERAL.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XXI
SIGLAS e ABREVIATURAS.....	XXIII
Capítulo 1 – Introdução e Motivação.....	1
1.1 Contextualização.....	2
1.2 Problematização e justificativa.....	3
1.3 Hipótese.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo geral</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5 Estrutura do Trabalho.....	4
PARTE I – ENQUADRAMENTO TÉCNICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Capítulo 2 – Fatores de Riscos Físicos em Meio Ocupacional.....	9
2.1 Introdução.....	9
2.2 Fatores de riscos físicos.....	13
2.2.1 <i>Exposição ocupacional ao ruído</i>	13
2.2.1.1 <i>Introdução</i>	13
2.2.1.2 <i>Conceitos e definições</i>	15
2.2.1.3 <i>Fundamentação legal</i>	17
2.2.1.4 <i>Métodos de avaliação</i>	18
2.2.1.5 <i>Limite de tolerância</i>	19
2.2.1.6 <i>Legislação do Ministério do Trabalho – NR - 15 anexos 01 e 02</i>	19
2.2.2 <i>Exposição ocupacional às vibrações de corpo inteiro</i>	21

2.2.2.1 Introdução.....	21
2.2.2.2 Conceitos e definições.....	22
2.2.2.3 Fundamentação legal.....	23
2.2.2.4 Método de avaliação.....	24
2.2.2.5 Limite de tolerância.....	24
2.2.3 Estresse térmico ocupacional.....	25
2.2.3.1 Introdução.....	25
2.2.3.2 Conceitos e definições.....	26
2.2.3.3 Fundamentação legal.....	27
2.2.3.4 Método de avaliação.....	28
2.2.3.5 Limite de tolerância.....	31
2.3 Métodos combinados de avaliação e controle dos fatores de risco físico.....	32
2.4 Métodos Qualitativos.....	33
2.5 Métodos Quantitativos.....	34
Capítulo 3 – Fatores de Riscos na Indústria da Construção Civil.....	35
3.1 Riscos ocupacionais da construção civil.....	35
3.2 Riscos ocupacionais na operação de máquinas pesadas da construção civil.....	42
3.3 Principais acidentes e doenças ocupacionais dos operadores de Máquinas na construção civil.....	44
3.4 Principais medidas de controle dos fatores de riscos nas operações com máquinas pesadas na construção civil.....	45
Capítulo 4 – Efeitos da Exposição Simultânea a Fatores de Riscos Físicos.....	49
4.1 Resposta orgânica aos estímulos ambientais.....	49
4.2 Estímulos ambientais no exercício das atividades de trabalho.....	50
4.3 A homeostase e os riscos ocupacionais.....	51
4.3.1 Homeostase para o ruído.....	52
4.3.2 Homeostase para o estresse térmico.....	54
4.3.3 Homeostase para as vibrações ocupacionais.....	56
4.4 Efeitos combinados dos fatores de riscos físicos	58
4.4.1 Fundamentação teórica dos efeitos sinérgicos sobre o organismo.....	59
4.4.2 Métodos de ensaios aplicados para estudo dos efeitos sinérgicos.....	62
4.4.3 Principais variáveis dependentes estudadas.....	67

4.5 Aspectos não explorados.....	75
4.6 Principais exames clínicos e biomédicos.....	75
4.7 Considerações finais.....	78
PARTE II – DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	
Capítulo 5 – Metodologia.....	83
5.1 Nota introdutória.....	83
5.2 Revisão de literatura.....	83
5.3 Estudo de campo.....	86
<i>5.3.1 Definição da amostra.....</i>	<i>87</i>
<i>5.3.2 Estrutura da recolha de dados.....</i>	<i>88</i>
<i>5.3.3 Recolha dos dados.....</i>	<i>89</i>
<i>5.3.3.1 Variáveis independentes.....</i>	<i>89</i>
<i>5.3.3.2 Variáveis dependentes.....</i>	<i>91</i>
5.4 Tratamento estatístico e análise dos dados.....	92
Capítulo 6 – Resultados e Discussão.....	95
6.1 Nota introdutória.....	95
6.2 Análise descritiva dos dados.....	95
<i>6.2.1 Análise das variáveis independentes – Fatores de risco físico.....</i>	<i>96</i>
<i>6.2.2 Análise das variáveis dependentes</i>	<i>105</i>
6.3 Análise da Correlação entre os dados dos fatores de risco físico e os dados das Variáveis dependentes.....	110
6.4 Análise por Regressões Lineares Múltiplas (RLM).....	112
6.5 Análise estatística da sinergia dos limites de tolerância durante a exposição simultânea a múltiplos fatores de riscos.....	113
Capítulo 7 – Conclusões e Trabalhos Futuros.....	123
7.1 Conclusões.....	123
7.2 Perspectiva de trabalhos futuros.....	125
Bibliografia.....	129
Apêndice – Análise estatística dos dados	

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Propagação sonora.....	15
Figura 2 – Comprimento de onda.....	16
Figura 3 – Soma de ondas sonoras.....	16
Figura 4 – Sonômetro.....	18
Figura 5 – Audiodosímetro.....	19
Figura 6 – Sistema mola massa.....	22
Figura 7 – Aceleração angular.....	23
Figura 8 – Representação dos eixos.....	24
Figura 9 – Limite de tolerância para vibrações de corpo inteiro.....	25
Figura 10 – Taipei Finance Center, Taiwan.....	35
Figura 11 – Ponte da Normandia, França.....	36
Figura 12 – Ocupação de empregos formais na indústria da construção civil no Brasil...	37
Figura 13 – Cabos elétricos expostos a impactos mecânicos.....	39
Figura 14 – Quadro elétrico sem proteção.....	39
Figura 15 – Funcionários realizando atividade em altura.....	40
Figura 16 – Funcionários realizando serviços de montagem do telhado sem linhas de vida e pontos de ancoragem.....	41
Figura 17 – Operação de terraplanagem.....	42
Figura 18 – Obra de talvegue.....	43
Figura 19 – Serviços de escavação.....	43
Figura 20 – Principais máquinas pesadas da construção civil.....	44
Figura 21 – Metodologia para seleção dos artigos durante a revisão de literatura.....	85
Figura 22 – Fluxo cronológico da recolha dos dados de campo.....	87
Figura 23 – Metodologia para recolha dos dados.....	88
Figura 24 – Audiodosímetro na zona auditiva do operador.....	89
Figura 25 – Medidor de vibrações de corpo inteiro HAVpro.....	90
Figura 26 – Medidor de estresse térmico utilizado.....	90
Figura 27 – Diagrama dos métodos de recolha dos dados ao longo do tempo.....	91
Figura 28 – Display do teste <i>Stroop</i> utilizado.....	92

Figura 29 – Oxímetro utilizado	92
Figura 30 – Formulário de medições utilizado para recolha das variáveis independentes.	93
Figura 31 – Formulário de medições para recolha das variáveis dependentes.....	94
Figura 32 – Legenda para leitura dos gráficos boxplot.....	96
Figura 33 – Diagrama boxplot dos fatores de riscos físicos (ruído, calor e vibrações de corpo inteiro)	98
Figura 34 – Diagrama tipo boxplot dos níveis de L_{avg} (dB(A)) por tipo de máquina da construção civil referentes a uma jornada de 8 horas de trabalho.....	100
Figura 35 – Diagrama tipo boxplot dos níveis de WBGT ($^{\circ}$ C) por tipo de máquina da construção civil para uma jornada de 8 horas de trabalho.....	102
Figura 36 – Diagrama tipo boxplot dos níveis de AREN (m/s^2) agrupados por tipo de máquina da construção civil, para uma jornada de 8 horas de trabalho.....	104
Figura 37 – Diagrama tipo boxplot dos valores médios das respostas orgânicas dos operadores de máquinas durante uma jornada de 8 horas de trabalho. (a) Tempo Médio de Resposta – TMR(s) e (b) Frequência Cardíaca – FC(bpm).....	107
Figura 38 - Variação dos dados do TMR durante a jornada de trabalho.....	108
Figura 39 - Variação dos valores da FC durante a jornada de trabalho.....	109
Figura 40 – Correlação entre os dados dos fatores de risco físicos (L_{avg} , WBGT e AREN) e o Tempo Médio de Resposta – TMR.....	110
Figura 41 – Correlação entre os dados dos fatores de risco físicos (L_{avg} , WBGT e AREN) e frequência cardíaca – FC dos operadores de máquinas na construção civil, para uma jornada de 8 horas de trabalho.....	111
Figura 42 – Critério para análise estatística do intervalo de dados.....	114
Figura 43 – Condições projetadas em relação TMR dos operadores de equipamentos da construção civil – ECC.....	116
Figura 44 – Condições projetadas com os menores valores necessários para existência de diferença estatística entre as mesmas.....	117
Figura 45 – Zona de efeitos sinérgicos dos fatores de riscos físicos sobre o TMR dos operadores de equipamentos da construção civil.....	118
Figura 46 – Condições projetadas em relação a FC dos operadores de equipamentos da construção civil.....	119

Figura 47 – Condições projetadas com diferença estatística em relação a FC dos operadores de equipamentos da construção civil.....	120
Figura 48 - Zonas de efeitos combinados dos fatores de riscos físicos sobre a FC dos operadores de equipamentos da construção civil.....	122

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais normas/diretrizes sobre o ruído.....	17
Tabela 2 – Limites de tolerância para o ruído.....	20
Tabela 3 – Normas e diretrizes para avaliação do estresse térmico.....	28
Tabela 4 – Valores de metabolismo por tipo de atividade.....	29
Tabela 5 – Limites de tolerância para exposição ao estresse térmico.....	31
Tabela 6 – Métodos qualitativos para avaliação dos riscos.....	33
Tabela 7 – Limites de tolerância.....	34
Tabela 8 – Estudos sobre os efeitos combinados.....	61
Tabela 9 – Resumo das variáveis dependentes estudadas.....	74
Tabela 10 – Relação das variáveis pesquisadas e dos efeitos estudados.....	86
Tabela 11 – Dados registrados - Fatores de risco físico.....	96
Tabela 12 – Análise descritiva dos dados – Fatores de risco físico.....	98
Tabela 13 – Dados registrados - Respostas orgânicas dos trabalhadores.....	105
Tabela 14 – Análise descritiva dos dados - Respostas orgânicas.....	106
Tabela 15 – Equações de RLM para operadores de equipamentos da construção civil	113
Tabela 16 – Critério para construção das 9 condições projetadas.....	115
Tabela 17 – Valores de TMR e FC calculados por meio das equações de RLM a partir de condições projetadas dos fatores de riscos físicos para os operadores de equipamentos da construção civil.....	116

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

SIGLAS e ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIG	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
AIHA	<i>American Industrial Hygiene Association</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AREN	Aceleração Resultante Normalizada
BPM	Batimento por Minuto
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CE	Comunidade Européia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DATAPREV	Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social
dB	Décibel
FC	Frequência Cardíaca
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ILO	<i>International Labour Organization</i>
IMD	<i>International Institute for Management Development</i>
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Lavg	<i>Average Level</i>
MF	Ministério da Fazenda
MPS	Ministério da Previdência Social do Brasil
MPT	Ministério Público do Trabalho
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma Regulamentadora

OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial de Saúde
PORDATA	Base de Dados Portugal Contemporâneo
TMR	Tempo Médio de Resposta
WBGT	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

Capítulo 1. Introdução e Motivação

1.1 Contextualização

Os fatores de risco físico e suas combinações são responsáveis pela manifestação das doenças no trabalho. Logo, para se evitar tais ocorrências, os aspectos do ambiente laboral devem ser observados de forma sistêmica, considerando que as variáveis exercem influência em simultâneo sobre a saúde das pessoas. Para construção desse entendimento, é necessário compreender que o trabalhador está exposto de forma simultânea aos fatores de risco ocupacional, durante o qual o seu organismo reage de forma diferente a essas condições.

Nesse contexto, a incidência das doenças do trabalho precisa ser avaliada, não mais como o resultado da exposição isolada aos fatores de risco de forma isolada, mas sim como o produto dos elementos presentes no ambiente de trabalho, que influenciam nas respostas fisiológicas do trabalhador e que tem o potencial de desencadear doenças. Tal ponto de vista é construído a partir da observação da relação do indivíduo e seu ambiente laboral, onde exista dois ou mais fatores de riscos atuando em simultâneo sobre o organismo do trabalhador.

No geral, a literatura evidencia que dois riscos ocupacionais combinados, podem produzir respostas fisiológicas diferentes de quando considerados de forma isolada conforme estudado por Manninen (1984), Manninen (1985), Santos et al. (2005), Ljungberg (2007), Muzammil et al. (2007), Kurtz et al. (2012), entre outros. À princípio, os fatores de riscos combinados teriam o potencial de ser mais nocivos à saúde do trabalhador, mesmo em baixos níveis. Tal fato possibilita a discussão sobre os métodos tradicionais de avaliação ocupacional, cujas metodologias consideram os fatores de riscos de forma isolada. Tal análise tem como origem a visão cartesiana da ciência, que estabelece a divisão do objeto de estudo em partes menores para realização de análises. Segundo os adeptos dessa visão, isso facilita o estudo do problema e a elaboração de soluções. Entretanto, tal visão é insuficiente para explicar as relações de causa e efeito de determinados fenômenos, principalmente quando envolvem a interação de múltiplas variáveis, em que cada uma possui certo nível de contribuição para a manifestação do evento estudado.

Em contrapartida, a visão sistêmica sobre a exposição ocupacional coloca em questão os limites de tolerância praticados na atualidade, tendo em vista a associação de múltiplos fatores de riscos nos locais de trabalho.

Diante desses fatos, a motivação em entender a significância da ação combinada dos fatores de riscos no organismo humano, em avaliar os fatores de risco físico de forma integrada, e em definir

método de análise e interpretação para exposições em simultâneo, que possa fundamentar novos parâmetros normativos, foram os desafios enfrentados por esta dissertação.

Historicamente, a pessoa considerada sadia referia-se a pessoa livre de doenças, refletindo na priorização em tratar doenças, ao invés de prevenir doenças. Com a criação da Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1946, houve avanços na definição de saúde, que passou a ser definida como sendo o “Estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não somente a ausência de doenças” (OMS, 2010). Posteriormente, a Declaração Universal dos Direitos Humanos, proclamada pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 1948, assegurou como direito humano a saúde e o bem-estar, bem como o direito de toda pessoa a desfrutar do mais elevado nível de saúde física e mental.

Atualmente, é possível definir a saúde como o bem-estar físico, mental e social, em que o ser humano goza o grau máximo de saúde em determinado tempo e lugar. Só através do estudo dos ambientes de trabalho e seus diversos aspectos é que se consegue conferir a sociedade esse completo bem-estar.

Segundo Arezes & Carvalho (2016), a prevenção de acidentes e doenças é um fio condutor em todos os aspectos da sociedade. No entanto, manter as pessoas seguras e saudáveis, tanto nos locais de trabalho como em outras atividades diárias, ainda é um desafio contínuo. Quando se trata de ambientes de trabalho, o conhecimento de fatores humanos e fatores de risco devem fazer parte da gestão da segurança como uma área interdisciplinar preocupada com a compreensão das situações reais de trabalho e variáveis potenciais. Essa abordagem multidisciplinar e integrada garantirá a segurança, a saúde e o bem-estar de todos os colaboradores.

Neste contexto, a proteção da saúde do trabalhador é fundamentada legalmente em diversos documentos internacionais. No caso do Brasil, por exemplo, a Constituição Brasileira e as Normas Regulamentadoras instituídas pela Portaria 3.214 do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE de 1978 passaram a reger tal definição em seu território.

Para o ambiente de trabalho ser considerado salubre ele deve respeitar os limites de tolerância previstos pelas legislações e diretivas internacionais. Tais limites são fundamentais para a criação de medidas de controle ocupacional. No entanto, a legislação nacional e internacional não prevê limites de tolerância para os riscos (combinados ou associados), como por exemplo, os fatores de riscos ruído, calor e vibração possuem pontos de convergência relativos aos efeitos sobre o organismo, e não são considerados pelas referidas legislações.

1.2 Problematização e justificativa

Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), as doenças ocupacionais e os acidentes de trabalho a nível mundial são responsáveis por um prejuízo financeiro estimado de 2.800.000.000.000 de dólares, e esse valor é perdido de forma direta sem contar as perdas indiretas (OIT, 2013). Em relação ao Brasil, os dados do Instituto Nacional do Seguro Social do Brasil - INSS apontam para um gasto anual de R\$20.000.000.000 entre 2012 e 2017, com pagamentos de benefícios acidentários, como auxílio-doença, aposentadoria por invalidez, pensão por morte e auxílio-acidente – sequelas (MPT & OIT, 2017).

Essa perda, estimada pelos órgãos reguladores, reflete a necessidade do aprofundamento das investigações no tocante as causas dos acidentes e das doenças ocupacionais. As doenças ocupacionais estão relacionadas com exposições aos fatores de risco ambientais, que dependendo do seu nível de concentração ou intensidade, associados a um tempo de exposição, têm o potencial de causar dano à saúde das pessoas (Brasil, 2014). Dessa forma, desde o século XVII, a ciência denominada Higiene Industrial ou Higiene Ocupacional tem o objetivo de avaliar os riscos ocupacionais e, conjuntamente com estudos médicos, é responsável pela fixação dos limites de tolerância aos agentes ambientais.

O limite de tolerância é definido pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), como o nível máximo de intensidade ou concentração de um determinado fator de risco ocupacional, cujo a maior parte dos trabalhadores pode se expor sem acarretar danos à saúde. Atualmente, as normas da ACGIH são referências quando o assunto são os limites de tolerância para agentes ocupacionais, tornando-se o principal guia de consulta utilizado no mundo (ACGIH, 2017).

Entretanto, os métodos de avaliação ocupacional não levam em consideração, a possibilidade de o indivíduo estar exposto a mais de um fator de risco ocupacional, em simultâneo. A atuação simultânea de fatores de riscos ocupacionais pode provocar alterações nos limites de tolerância, alterando a condição de um ambiente de trabalho, o qual poderia ser aparentemente salubre.

Diante da possível potencialização dos efeitos no organismo do trabalhador, devido à ação combinada dos riscos, torna-se necessário a investigação de critérios, parâmetros e metodologias de avaliação ocupacional, que abordem a exposição simultânea a múltiplos fatores de risco.

1.3 Hipótese

Existe efeito sinérgico resultante da exposição ocupacional combinada a agentes de risco físico, quando comparado com o efeito que resultaria da análise individual de cada um dos fatores de risco em separado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Identificar os efeitos resultantes da exposição simultânea a fatores de riscos físicos sobre a saúde de operadores de máquinas na indústria da construção civil, relativos aos aspectos fisiológicos e cognitivos, a fim de desenvolver uma metodologia para análise combinada dos fatores de risco físico.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analisar a relação dos efeitos dos fatores de risco físico com a frequência cardíaca (FC) e o tempo médio de resposta (TMR) dos operadores das máquinas da construção civil;
- Avaliar a exposição ocupacional dos operadores de máquinas ao ruído, calor e vibração de corpo inteiro durante sua jornada completa de trabalho;
- Desenvolver um modelo estatístico capaz de estimar a relação dos fatores de risco físico (ruído, vibração de corpo inteiro e calor) em simultâneo com o desempenho do tempo médio de resposta (TMR) e a frequência cardíaca (FC) dos operadores das máquinas;
- Comparar as respostas obtidas no experimento com os dados encontrados na literatura referente ao tema.

1.5 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 abrange os aspectos que motivaram o desenvolvimento da tese, sendo apresentado o contexto em que o trabalho foi concebido, a fundamentação do problema que foi investigado, a hipótese que orientou o desenvolvimento da pesquisa, os objetivos gerais e específicos da investigação e a estrutura da tese.

No capítulo 2 intitulado “Fatores de Riscos Físicos” apresenta de forma detalhada os riscos ocupacionais estudados, sendo explorado seus conceitos e fundamentação legal prevista pelos órgãos reguladores em nível mundial, europeu e brasileiro. Além disso, são abordados os limites

de tolerância praticados, assim como os métodos tradicionais para avaliação dos fatores de riscos físicos e suas implicações.

No capítulo 3 intitulado “Fatores de Riscos Físicos na Construção Civil” é abordada a visão geral da cadeia da indústria da construção civil, apresentando os impactos econômicos do setor, bem como os dados sobre a acidentalidade e a saúde ocupacional. Esse capítulo também apresenta, de forma geral, as etapas do processo e suas atividades, enfatizando os fatores de riscos físicos na operação de máquinas e equipamentos, objeto de estudo.

O capítulo 4, “Efeito da Exposição Simultânea a Fatores de Riscos Físicos”, trata da resposta orgânica do corpo humano quando estimulado por fatores de risco ocupacional. Sendo apresentado os principais estímulos ambientais nos locais de trabalho, os mecanismos de resposta orgânica, as ações de homeostase do corpo humano, os efeitos combinados estudados pela literatura, e os exames clínicos aplicados pelos estudos relacionados a esse tema.

O capítulo 5, “Metodologia”, apresenta a estrutura dos procedimentos metodológicos da tese, sendo apresentados os requisitos utilizados para a construção do experimento, as técnicas aplicadas para medição dos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e vibração de corpo inteiro), e o método de análise estatística dos dados.

O capítulo 6, “Resultados e Discussão”, aborda os resultados, a análise e discussão completa dos dados obtidos por meio do experimento realizado em campo, trazendo as considerações necessárias a compreensão do presente tema, bem como as dificuldades e os elementos relevantes para o desenvolvimento da tese.

O capítulo 7, “Conclusões e Trabalhos futuros”, elenca as conclusões, reflexões e propostas de trabalhos futuro, tendo por base os resultados encontrados.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

PARTE I

**ENQUADRAMENTO TÉCNICO E REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

Capítulo 2. Fatores de Risco Físicos em Meio Ocupacional

2.1 Introdução

O presente capítulo tem como finalidade abordar os aspectos associados a natureza dos fatores ocupacionais de risco físico. Para um melhor entendimento da natureza e das características de tais fatores, esse capítulo apresenta de forma objetiva os conceitos e definições pertinentes ao assunto, sua fundamentação legal (nacional e internacional) e os métodos de medição previstos pelos órgãos regulamentadores para tais fatores.

Conforme dados da Organização Internacional do Trabalho – OIT os acidentes e doenças ocupacionais, em nível mundial, são responsáveis por um impacto econômico de 2.800.000.000.000 de dólares (OIT, 2013). Esses prejuízos em decorrência de um acidente de trabalho, segundo Barkokébas Júnior et al. (2009) podem ser maiores devido aos desdobramentos dos custos indiretos. Esses desdobramentos afetam diretamente os três pilares de sustentação da economia, sendo eles a sociedade, a empresa e o trabalhador.

Os custos, conforme projeção da OIT (2013), estão associados a um quantitativo equivalente a 860 milhões de pessoas acometidas por acidentes de trabalho ou por doenças de cunho ocupacional. Tal quantitativo corresponde a 1,7 vezes a população da Europa de acordo com os registros da Base de Dados Portugal Contemporâneo (PORDATA). Essa proporção demonstra a relevância dos acidentes/doenças ocupacionais em termos de perda de mão de obra a nível mundial (Pordata, 2016).

Dessa forma, esses acidentes e doenças ocupacionais, quando não levam o indivíduo à morte, geram uma população doente e com dificuldades para trabalhar e que, por sua vez, impactam na economia. Azevedo et al. (2016), em sua pesquisa sobre os impactos econômicos das dores crônicas, comprovam que os prejuízos que decorrem do tratamento de pessoas com tais doenças chegam, apenas em Portugal, a 1.883,30 € por pessoa, totalizando um valor global de 4.611,69 M€, quando somada a população total de afetados.

O mesmo estudo ainda demonstra que 42,7% desses custos são diretos, enquanto que 57,3% são indiretos (Azevedo et al., 2016). Cabe salientar que as dores crônicas, segundo (Rumin & Schmidt, 2008), podem ser originadas a partir de exposições ocupacionais cujo controle do ambiente de

trabalho não tenha sido bem-sucedido. Nesse contexto, segundo Chohan & Bilga (2011) a investigação dos ambientes de trabalho e a análise das causas das doenças é o principal ponto de partida para a criação de medidas efetivas de controle que podem evitar o surgimento de doenças crônicas.

No que diz respeito ao Brasil, os dados apontam para 700 mil acidentes e doenças em decorrência da exposição ocupacional (OIT, 2013). Segundo Barkokébas Júnior et al. (2009), em estudos desenvolvidos na indústria da construção civil no estado de Pernambuco, as medidas para se eliminar os riscos de acidentes e doenças ocupacionais precisam de investimentos na fase de identificação e análise dos riscos, permitindo o dimensionamento adequado das medidas de controle.

Segundo Santana et al. (2006), em seu estudo desenvolvido no Brasil tendo por base os pedidos de benefícios, os custos indiretos relacionados ao trabalho podem chegar a 8,5 milhões de reais com aproximadamente meio milhão de dias perdidos por ano. Tal fato evidencia a necessidade de investimentos na eliminação das causas dos acidentes/doenças do trabalho para o equilíbrio do sistema previdenciário brasileiro.

Assim como no Brasil, a nível mundial as perdas econômicas em decorrência dos acidentes são elevadas. Além de custos para a empresa e o trabalhador, os custos para a sociedade são também importantes, uma vez que a mesma sofre o impacto direto no sistema previdenciário. Cabe salientar que, quando a estrutura previdenciária sofre impactos elevados são geradas perdas nos investimentos em outros segmentos da sociedade (Santana et al., 2006).

Neste contexto, analisado as informações geradas pelo Ministério da Previdência Social do Brasil, os dados publicados em 2014, demonstram que o país perdeu entre os anos de 2012 e 2014 o equivalente a 0,006% do seu Produto Interno Bruto – PIB desse mesmo ano (MF/INSS/DATAPREV, 2015). Tal dado corresponde a aproximadamente 102 milhões de dólares, o quais poderiam ser empregues em outra finalidade, inclusive no tratamento de doenças.

Projeções realizadas pelos estudos de De Souza et al. (2011) demonstram que o custo da medicação para o tratamento de uma pessoa com câncer gira em torno dos R\$ 12.048,50 por ano. Comparando os números do que é perdido com o pagamento de benefícios é possível constatar que esses recursos poderiam ser utilizados no tratamento contra o câncer de aproximadamente 30 mil pessoas por ano. Tal comparação ilustra o quanto é caro para a sociedade arcar com as consequências dos acidentes e doenças do trabalho.

Todas essas perdas computadas colocam o sistema administrativo de qualquer país em crise. Park (2009), em estudos desenvolvidos na Ásia, demonstra que nos países cuja perspectiva de vida é elevada e que a natalidade é baixa, o sistema previdenciário tende a entrar em colapso. Essa condição é agravada em decorrência de uma série de fatores, entre eles os acidentes de trabalho, haja vista que as pessoas que perdem a capacidade para o trabalho perdem o poder de contribuição financeira.

Varoufakis (2015) afirma que os trabalhadores são responsáveis pelo “aquecimento” da economia através da movimentação financeira oriunda do poder de compra. Quando ocorre a redução dessa massa trabalhadora, os impactos são refletidos sobre os diversos mercados, afetando a economia de uma maneira geral. Esse efeito colabora com a visão defendida por Barkokébas Jr. et al. (2009) de que as empresas, a sociedade e os trabalhadores pagam de forma direta e indireta os custos dos acidentes e doenças ocupacionais.

Estudos desenvolvidos por D’Errico et al. (2002) na construção civil italiana apontam que por cada trabalhador excluído do mercado de trabalho por conta de acidentes de trabalho é gerado um impacto na arrecadação tributária, gerando além da sobrecarga do sistema a redução na oferta de força trabalhadora. Tal preocupação também foi mencionada por Rydlewska-Liszkowska, (2008) em estudos desenvolvidos na Finlândia. Com a condição atual do número de acidentes e doenças ocupacionais no Brasil e no mundo se faz necessário o aprimoramento na criação de medidas de controle para eliminação e minimização dos riscos.

Outro ponto de vista interessante a se elucidar será a redução da produtividade das empresas em decorrência dos acidentes de trabalho. Segundo o relatório do IMD, (2016), os países mais competitivos e mais produtivos têm em comum a característica do investimento no controle de perdas dentre elas as relacionadas ao acidente de trabalho e às doenças ocupacionais. Tal relatório coloca o Brasil na 57^o posição do ranking de competitividade mundial, demonstrando com isso a necessidade de estudos voltados para essa área.

Tais circunstâncias demonstram como as empresas acabam tendo perdas relevantes em seus processos. Outro dado importante é que as perdas indiretas para as companhias, podem chegar até 5 vezes mais, segundo dados obtido por López-Alonso et al. (2015) e Rzepecki, (2012). Esses entre outros aspectos corroboram para necessidade de um estudo mais preciso dos ambientes de trabalho, com o intuito de identificar condições que coloquem risco para a saúde ocupacional.

Se para as empresas o prejuízo é elevado, para o trabalhador as consequências são inestimáveis. Tal comprovação é oriunda do pensamento de que a dor e o sofrimento são elementos subjetivos

conforme estudado por Birch, (2011) e que o ser humano possui uma susceptibilidade individual, o que varia de acordo com o estado e a gravidade da exposição de cada trabalhador.

Nesse contexto, o ser humano pode ter a sua saúde afetada de diversas formas. Segundo Cegolon et al. (2010) as doenças podem ser geradas por exposições a agentes bacterianos, virais e etc., podem ser psicossomáticas, mas também podem ser desencadeadas por exposições a energias e substâncias acima da capacidade limite do corpo. Klusackova et al. (2008), estudando o desenvolvimento da asma ocupacional, mostrou que algumas pessoas podem apresentar mais resistência ao surgimento de doenças, devido principalmente a sua condição imunológica, hábitos alimentares e estilo de vida.

Em linhas gerais e dentro de um contexto ocupacional, as doenças se manifestam, segundo Bellia et al. (2007), em decorrência dos tempos de exposições e os níveis em que são encontrados os fatores de riscos no ambiente de trabalho, sejam eles físicos ou químicos. Segundo o item 9.1.5 da NR-9, os fatores de riscos físicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

Esta disposição encontra fundamentação clínica em vários estudos, como por exemplo os estudos desenvolvidos por Manninen (1984) e Ljungberg (2007). Esses autores analisaram exposições combinadas a vários fatores de risco ambientais de natureza física. E observaram a alteração do limiar de audição de indivíduos expostos a condições ambientais com níveis de ruído acima de 85 dB(A).

As alterações na frequência cardíaca, pressão sanguínea e fadiga muscular de trabalhadores também foram encontradas por Manninen (1985) e Muzammil et al. (2007) que também analisaram exposições combinadas a vários fatores de risco ambientais de natureza física.

Mudanças no tônus muscular e frequência cardíaca também foram encontrados por Kurtz et al. (2012) em estudos envolvidos com operadores de ferramentas de percussão e operadores de máquinas na indústria da construção civil.

Estudos desenvolvidos por Santos et al. (2005) ainda demonstram os efeitos nocivos da poeira mineral e dos vapores orgânicos sobre a saúde humana. Tal nocividade pode ser encontrada na indústria de construção civil, onde seus trabalhadores também se encontram expostos a tipos de riscos diariamente.

Nesse contexto, os estudos da exposição ocupacional com ênfase na prevenção de acidentes/doenças são fundamentais para a criação de medidas de controle e o aprimoramento

desses estudos possibilitam o desenvolvimento de novas ferramentas de avaliação e diagnóstico para o controle da exposição ocupacional.

2.2 Fatores de riscos físicos

Os subitens tratam dos fatores de risco físico objeto de estudo desta tese, definições, formas de avaliação, fundamentação legal e os limites de tolerância estabelecidos pelas diretivas internacionais.

2.2.1 Exposição ocupacional ao ruído

2.2.1.1 Introdução

No segmento industrial de uma maneira geral, o ruído é considerado por Picu, (2009) e Reinhold et al. (2014), como sendo o fator de risco físico mais comum dentre os demais, podendo desencadear doenças ocupacionais não só no sistema auditivo como gerar efeitos chamados extra-auditivos (alterações sobre a memória, irritabilidade, mudanças no funcionamento gastrointestinal), corroborando para um aumento do nível do estresse e redução da qualidade de vida dos indivíduos expostos rotineiramente a esse fator.

Segundo Arezes & Miguel (2005) estudando 516 trabalhadores industriais expostos a níveis de ruído acima dos níveis de ação, demonstraram que programas de conservação auditiva adequados para a redução da surdez ocupacional devem levar em consideração outras variáveis além do nível de pressão sonora ou os efeitos sobre o aparelho auditivo.

Segundo dados estatísticos de 2014, a surdez ocupacional afeta mais de 5% da população mundial. Ou seja, 360 milhões de pessoas tem perda de audição incapacitante (WHO, 2014).

Os locais de trabalho evoluíram tecnologicamente ao longo do tempo. As mudanças são fruto do desenvolvimento da inteligência humana na implantação de técnicas e máquinas mais eficientes para execução das atividades industriais. Estudos desenvolvidos na China demonstram a influência das inovações tecnológicas sobre a aceleração do crescimento econômico e as mudanças provocadas nas estruturas da indústria chinesa (Li et al. 2014). Tais mudanças permitiram o surgimento de novas variáveis na relação de trabalho. O aumento dos trabalhadores expostos ao ruído ocupacional é uma das consequências ligadas a ampliação das máquinas nas linhas fabris. (Boiarynova, 2016).

Segundo Brueck et al. (2013) entre as décadas de 70 e 90 houve a redução de 0,3 dB(A) do ruído nos ambientes de trabalho de duas indústrias de automóveis estudadas, provocado pelas

mudanças operacionais e de equipamentos no chão de fábrica. No entanto, o número real de funcionários com exposição acústica superior a 90 dB(A) aumentou devido ao crescimento de empregados nas mesmas. Assim como a exposição ao ruído, também ocorreu um aumento da exposição aos demais fatores de riscos físicos existentes nas duas indústrias estudadas.

Na indústria da construção civil brasileira esse número pode chegar a 63%, segundo dados obtidos por Dias et al. (2006). Neste setor industrial não existem estudos precisos sobre os afastamentos provocados por doenças relacionadas ao aparelho auditivo, mas sabe-se que aproximadamente 1.708.000 de trabalhadores estão empregados nesse setor, se expondo aos fatores de riscos físicos como o ruído, vibrações e estresse térmico (IBGE, 2015).

Analisando essa circunstância de forma paralela, é possível constatar que os trabalhadores da construção civil se encontram imersos em um ambiente de trabalho com o potencial para o desenvolvimento de doenças ocupacionais associadas ao aparelho auditivo. Segundo Barkokébas Júnior et al. (2009) o risco ocupacional pode se tornar tolerável se as medidas de controle estiverem devidamente dimensionadas para a exposição ocupacional.

Em pesquisas realizadas em pessoas por Manninen (1984) e Seidel et al. (1988), foi constatado que a perda do limiar de audição ocorre de forma significativa a partir dos 85 dB(A). E em estudos desenvolvidos por Cruz et al. (2013), durante a fase de fundações, a execução das estacas originam faixas de ruído variando entre 87 e 110 dB(A). Tal dado coloca a área do estaleiro de obras como um todo em condição potencial para a exposição ao risco.

Dados obtidos por Sellappan & Janakiraman (2014) e Aboobackr et al. (2014) apresentam as faixas de ruído em obra variando entre 80 e 100 dB(A) ao longo de todas as fases de execução. Tal condição é provocada principalmente pela circulação de máquinas pesadas e funcionamento de ferramentas manuais e de bancada. Este dado corrobora a ideia de que nos canteiros de obra o ruído está presente em todas as suas fases.

Também noutros setores a exposição ao ruído ocupacional tem uma importante dimensão. Por exemplo, segundo Barkokébas Júnior et al. (2013) em estudos desenvolvidos com motoristas de ônibus foi possível verificar que os operadores se encontram expostos diariamente a ruídos variando entre 80 e 87 dB(A). Esta exposição terá influência no aumento da sensação de desconforto da execução das atividades conforme evidenciado por aqueles autores.

Assim como na construção civil e no setor de transportes, os segmentos da indústria de base (metalurgia e siderurgia) possuem ruídos caracterizados como contínuos, variando entre 80 e 120 dB(A), variando de setor ou natureza do processo enfatizando (Citrîñâ et al., 2016).

Cabe salientar que, para neutralizar as exposições ocupacionais, o uso de medidas preventivas de cunho coletivo e individual são preponderantes, considerando que pela legislação brasileira, nomeadamente NR-9 (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais) e a NR-06 (Equipamentos de Proteção Individual) a adoção de tais medidas quando devidamente especificadas reduzem a exposição do trabalhador ao risco tornando a atividade segura (Brasil, 2011b).

Nesse contexto, é possível verificar que o ruído é um fator preocupante nos diversos segmentos industriais sendo seu estudo fundamental para criação de medidas de controle. Com o objetivo de conduzir o leitor a um entendimento claro sobre o ruído, é apresentado de seguida alguns conceitos referentes a tal fator de risco.

2.2.1.2 Conceitos e definições

O som por definição da física clássica é entendido como o fenômeno causado pela variação da pressão ou da velocidade de moléculas em um meio fluido sendo uma energia transmitida pela colisão destas molécula (Gerges, 1992). Todo som que se torna desagradável ou indesejável ao receptor é denominado ruído.

Para um melhor entendimento, a figura 1 ilustra a agitação das moléculas de ar quando submetidas a uma vibração qualquer provocada por um autofalante. Segundo Isbell (2005) a agitação provoca o deslocamento de uma molécula de ar em direção a outra. Tal aproximação entre moléculas é denominada “zona de sobrepressão sonora”.

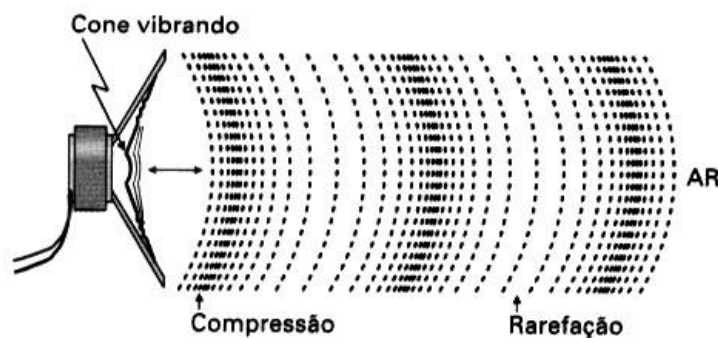


Figura 1 – Propagação sonora (reproduzido de Westphal, 2016).

Peters et al. (2011) demonstra os processos de modelagem este fenômeno através de um gráfico pressão versus distância explicando que as zonas de pressão sonora se repetem de forma harmônica conforme a figura 2. Com o tempo o estudo desse comportamento permitiu classificar o som como um fenômeno ondulatório.

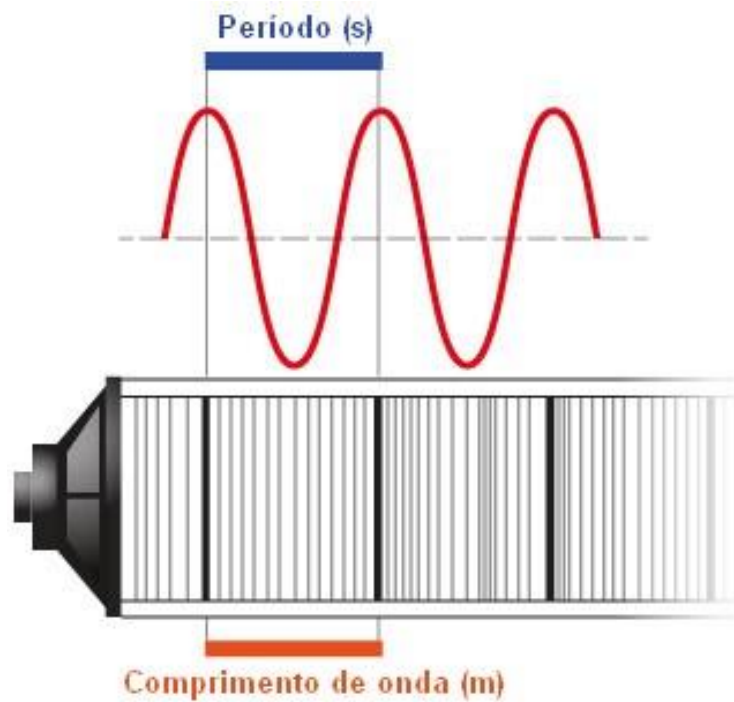


Figura 2 – Comprimento de onda (adaptado de Lorenzi & Chaix, 2016).

Segundo Fuchs (2013) e South (2013), a manifestação harmônica ou padronizada das moléculas no ar é considerada como uma onda pura denominada de tom puro por Pinch & Bijsterveld (2012). Nesse contexto, esse tipo de fenômeno é classificado com som.

O ruído pela definição de Nicchi (2014) é a descaracterização do comportamento harmônico pela adição de comprimentos de onda de naturezas diferentes, configurando uma manifestação sem padrão na propagação das moléculas no meio. A figura 3 ilustra a característica de um ruído emitido por uma máquina qualquer.

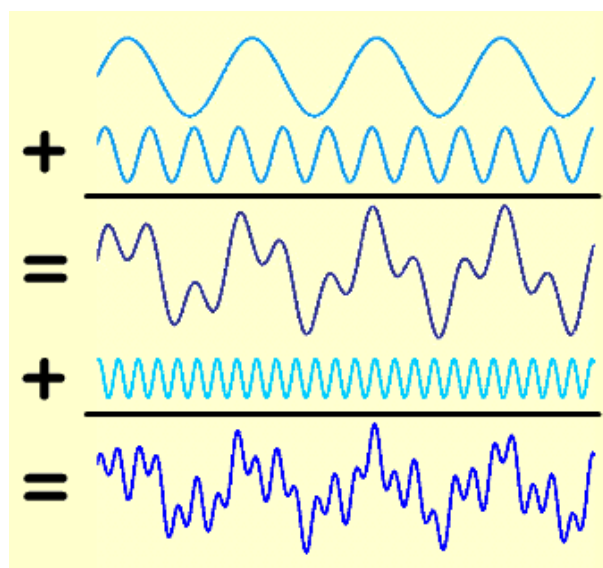


Figura 3 – Soma de ondas sonoras (reproduzido de Fonseca et al., 2002).

Nesse contexto, o ruído se caracteriza pela mistura de sons que dependendo das suas faixas de amplitude e frequência, podem causar reflexos sobre a saúde humana (Gerges, 1992). Para um melhor entendimento cabe explicar os conceitos de amplitude e frequência.

Segundo Kim (2010), a amplitude é a diferença entre os pontos máximos (crista) e mínimos (vale) da propagação. No caso particular da onda sonora, é a diferença entre a pressão sonora de equilíbrio e a pressão máxima ou mínima. Quanto maior for a amplitude do comprimento de onda maior será a sensação de volume sonoro, ou seja, mais alto é o ruído. Já para frequência, Allard & Atalla (2009) explicam que essa variável corresponde a distância entre cristas consecutivas, ou seja, quanto menor a distância entre cristas, maior é o número de repetições da crista dentro de uma determinada faixa de tempo gerando a sensação sonora de ruído agudo, enquanto que o oposto promove a sensação sonora de um ruído grave.

O ouvido humano percebe sons cuja faixa de frequência varia entre 20 Hz (ciclos/s) e 20.000 Hz. Acima ou a abaixo desse intervalo o som é considerado inaudível. Já para as escalas de amplitude a mesma está relacionada diretamente com o nível de pressão sonora – NPS em dB.

Nesse contexto, quanto maior o nível de pressão sonora maior será a influência sobre a saúde do indivíduo e como consequência o risco de manifestação de doença ocupacional. A partir desse ponto de vista o estudo da legislação possibilita o entendimento dos limites de tolerância fixados pelas instituições para uma exposição ocupacional segura.

2.2.1.3 Fundamentação legal

A necessidade da criação de regulamentos, segundo Sirvinskas (2007), surge para o aprimoramento e ajuste da vida em sociedade, permitindo que o tratamento dos problemas se ocorra sem prejuízo mútuo. Nesse contexto, no tocante ao ruído é possível evidenciar uma série de regulamentos e diretrizes que orientam os indivíduos para o controle da exposição ocupacional ao ruído. A tabela 1 elenca as principais diretrizes internacionais a esse respeito.

Tabela 1 - Principais normas/diretrizes sobre o ruído.

Documento	Tipo	Ambito
Convenção n°. 148 da OIT	Diretriz	Mundial
Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Resolução n° 01/1990).	Resolução	Brasil
Instituto Nacional de Seguridade Social – INSS (Instrução Normativa n° 20).	Instrução	Brasil

Tabela 1 - Principais normas/diretrizes sobre o ruído (continuação).

Documento	Tipo	Ambito
Legislação do Ministério do Trabalho NR – 15 anexo 01 e 02	Lei	Brasil
NBR – 10151	Norma Técnica	Brasil
Lei Estadual n. 12.789/05)	Lei	Estado de Pernambuco
Portaria nº 922/2006	Lei	Brasil
DIRECTIVA 2003/10/CE	Diretriz	Europa
ANSI 1.25 (1991)	Norma Técnica	Americana
ANSI 1.4 (1983)	Norma Técnica	Americana
ANSI 1.40 (1984)	Norma Técnica	Americana
IEC 804 (1985)	Norma Técnica	Mundial
IEC 651 (1993)	Norma Técnica	Mundial
Código Civil Brasileiro (Lei n. 10.406/02)	Lei	Brasil

Em linhas gerais, as normas referidas na tabela 1 tratam basicamente da metodologia de como o ruído deve ser coletado e analisado segundo os crivos técnicos, bem como os limites máximos em que o indivíduo pode se expor sem gerar consequências a saúde.

Para um melhor entendimento dos textos legais e normativos, os mesmos foram divididos em métodos de avaliação e limites de tolerância conforme descrito nos subitens a seguir.

2.2.1.4 Métodos de avaliação

Segundo Tanaka et al. (2016), Gong (2015) e Wissmann (2014) a avaliação do ruído pode se dar de maneira pontual (ambiental) ou ocupacional. No primeiro método, Zannin, (2013) explica que deve ser utilizado o sonômetro (figura 4) posicionado de maneira estratégica a uma distância aproximada de 1 metro da fonte ruidosa. Essa técnica segundo Jain (2012) é usualmente aplicada para estudos de conforto acústico e em estudos de aperfeiçoamento no uso de materiais isolantes.



Figura 4 – Sonômetro (reproduzido de base de imagens do NSHT, 2017).

O segundo método, faz uso do audiodosímetro (figura 5) instalado no trabalhador. Sua principal finalidade é a avaliação da exposição ocupacional do trabalhador. Para esse método o ruído é integrado no tempo pelo equipamento para determinação da dose de exposição, bem como o nível médio da pressão sonora na qual o profissional se expôs ao longo da jornada de trabalho (Neitzel et al., 2016)



Figura 5 – Audiodosímetro (reproduzido de base de imagens do NSHT, 2017).

Essa separação das metodologias orienta para o uso da dosimetria ocupacional quando se busca investigar problemas relativos ao ruído nos ambientes de trabalho. Tendo em vista essa peculiaridade do ruído ocupacional é que se definiu a dosimetria como o método de quantificação do fator de risco físico ruído para essa pesquisa.

2.2.1.5 Limite de tolerância

Os limites de tolerância segundo a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH*, (2015) são considerados os níveis máximos em que o indivíduo pode se expor sem que acarrete danos à sua saúde. Dessa forma, as diversas instituições que regulam tais limites também incorporaram aos seus textos os padrões preconizados pela ACGIH.

As informações que se seguem referem-se principalmente à legislação brasileira, a qual além de incorporar os padrões do ACGIH, é a lei em vigência no local onde os dados da tese foram coletados.

2.2.1.6 Legislação do Ministério do Trabalho NR – 15 anexos 01 e 02

Do ponto de vista ocupacional, a NR-15 - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho (Brasil, 2011b) que trata sobre as atividades e operações insalubres traz em seus anexos 1 e 2

os conceitos de ruído contínuo ou intermitente e o ruído de impacto, sendo este definido como aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo.

A mesma norma também define que os tempos de exposição não devem exceder limites de tolerância fixados pelo anexo 01 da NR-15 (tabela 2).

Tabela 2 – Limites de tolerância para o ruído segundo a NR-15.

NÍVEL DE RUÍDO dB(A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 Horas
86	7 Horas
87	6 Horas
88	5 Horas
89	4Horas e 30 minutos
90	4 Horas
91	3 Horas e 30 minutos
92	3 Horas
93	2 Horas e 40 minutos
94	2 Horas e 15 minutos
95	2 Horas
96	1 Hora e 45 minutos
98	1 Hora e 15 minutos
100	1 Hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

O Anexo 02 da NR-15 estabelece que o limite de tolerância para ruído de impacto será de 130 dB (linear) e que as atividades ou operações que exponham os trabalhadores, sem proteção adequada, a níveis de ruído de impacto superiores a 140 dB(LINEAR), medidos no circuito de resposta para impacto, ou superiores a 130 dB(C), medidos no circuito de resposta rápida (FAST), oferecerão risco grave e iminente.

Dessa forma, pode-se observar que a NR – 15, visa determinar parâmetros mínimos para condição ambiental de trabalho sendo necessárias análises mais detalhadas acerca do ruído para se determinar estratégias de ações mais eficientes para o controle da exposição ocupacional.

Neste contexto, o valor de 85 dB(A) para 8 horas de exposição foi considerado o nível de referência do ruído ocupacional para o desenvolvimento da pesquisa.

2.2.2 Exposição ocupacional às vibrações de corpo inteiro

2.2.2.1 Introdução

Estudos desenvolvidos na Itália por Perticaroli et al. (2008), demonstraram que 20% dos trabalhadores italianos encontram-se expostos a vibrações ocupacionais, seguido pelo ruído (19%) e 18% relativos a poeiras, fumos e névoas. Suas principais reclamações são estresse (26,9%), dores nas costas (17,8%), fadiga geral (11,9%), dores musculares nos membros superiores (6,8%), cefaleia (6,1%), problemas visuais nos membros inferiores (4,3%) irritabilidade e problemas auditivos (2,3%). Esses dados demonstram o quão os trabalhadores são suscetíveis as variáveis ambientais presentes nos locais de trabalho.

As doenças ocupacionais associadas às vibrações mecânicas, segundo Mandal & Srivastava (2010) e Trans et al. (2009), normalmente estão relacionados com o uso de ferramentas manuais vibrantes ou com postos de trabalhos vibrantes. Cada uma dessas condições é avaliada de forma diferente, tendo em conta que os modos de operação são diferentes e as estruturas do corpo humano também são diferentes.

Segundo South (2013), as vibrações relacionadas com equipamentos vibrantes produzem seus efeitos principalmente sobre a mão e braços do operador. Devido a esta peculiaridade, os estudos dessas vibrações são denominados de vibrações de mão-e-braço. Tal exposição possui uma metodologia específica conforme previsto pela norma ISO 5349-1/2001 (International Organization for Standardization, 2016).

Já para as vibrações relativas aos postos de trabalho vibrantes, Raffler et al. (2016), demonstram que os efeitos produzidos dependendo do posicionamento do corpo, afetam principalmente as estruturas de pernas e tronco. Devido a essa característica, os estudos dessas vibrações são classificados com vibrações de corpo inteiro. Tal condição tem a sua base técnica na norma ISO 2631/1997 (International Organization for Standardization, 2017).

Para fins de aplicação da presente dissertação serão abordados o método e a legislação aplicada às vibrações de corpo inteiro, considerando que o trabalho foi desenvolvido com operadores de máquinas.

2.2.2.2 Conceitos e definições

A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui uma vibração natural. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. A energia vibratória é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos (Li et al., 2015).

Ao contrário de outros agentes, onde o trabalhador é sujeito passivo, expondo-se aos riscos, no caso das vibrações, deve haver contato entre o trabalhador e o equipamento ou máquina que transmita a vibração (Mandal & Srivastava, 2010).

De forma mais clara, se faz necessário entender que um corpo que oscila entre um ponto e outro possui energia. Como por exemplo, um assento de um determinado posto de trabalho. Quando o corpo de uma pessoa senta nesse local, parte do movimento é absorvido pela estrutura orgânica. Cabe salientar que, dependendo da energia transferida a mesma pode estar acima da capacidade de absorção do corpo provocando lesões na musculatura, ossos, vasos sanguíneos, etc. (Tamrin et al., 2014). A figura 6 ilustra o efeito desse amortecimento.

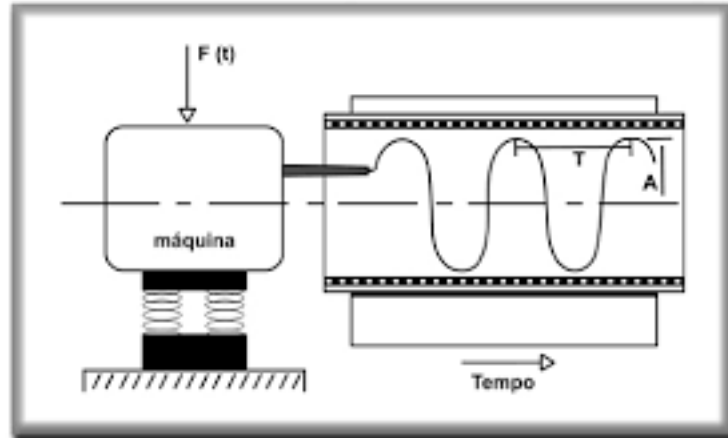


Figura 6 - Sistema mola massa (reproduzido de PUC RIO, 2016).

Essa oscilação, quando analisado o movimento harmônico, possui uma relação direta com as funções do círculo trigonométrico. Se pegarmos um ponto na função ela está ligada diretamente a um deslocamento dentro do círculo trigonométrico. O deslocamento dentro do círculo provoca um deslocamento angular e esse deslocamento angular possui uma aceleração. (Quilles et al., 2004)

Logo essa aceleração é o objeto de observação para fins de diagnóstico quanto a exposição ocupacional (figura 7).

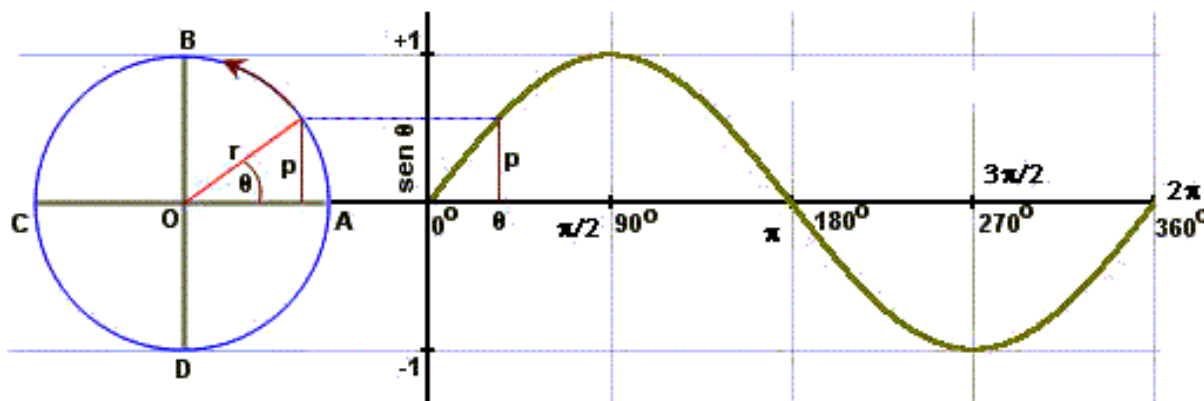


Figura 7 - Aceleração angular (reproduzido de Quilles et al., 2004).

Segundo Cunha & Giampaoli (2012) e a norma ISO 2631-1 (1997), a Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (*aren*), corresponde a Aceleração Resultante de Exposição - ARE, convertida para uma jornada padrão de 8 horas diárias para fins de comparação com o limite de exposição.

A aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) é dado pela seguinte fórmula:

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{480}} \quad (m/s^2) \quad (\text{Equação 1.})$$

Sendo:

aren = Aceleração resultante de exposição normalizada

are = Aceleração resultante de exposição

T = Tempo de duração, em minutos, da jornada de trabalho.

Após normalização, os valores projetados foram comparados com o previsto pela Legislação Brasileira.

2.2.2.3 Fundamentação legal

A Norma Regulamentadora nº 15 estabelece que os Limites de Tolerância que devem ser adotados para avaliação de vibração ocupacional estão estabelecidos na norma ISO 2631-1 (Vibração de corpo inteiro). Considerando que o item 9.3.5.1, alínea c da NR 9 determina que:

“Deverão ser adotadas as medidas necessárias e suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que foram verificadas uma ou mais das seguintes situações: c) quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores

excederem os valores de limites previstos na NR 15 ou, na ausência destes, os valores de limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnicos legais estabelecidos;”

2.2.2.4 Método de avaliação

Os métodos de avaliação, segundo Coyte et al. (2016) e Burgess-Limerick & Lynas (2016), variam de acordo com a parte do corpo que está sendo exposta. Quando a estrutura exposta forem os membros superiores esse método será chamado de avaliação de mão-braço. Quando a estrutura exposta for o tronco, e os membros inferiores, esse método será chamado de avaliação de corpo inteiro.

Para fins da realização da dissertação as exposições a vibrações ocupacionais foram medidas para o corpo inteiro visto que durante a operação de uma máquina pesada o trabalhador se expõe a vibração proveniente do posto de trabalho sendo transmitida através do assento. Tal condição é característica da exposição a vibrações de corpo inteiro. A figura 8 ilustra as posições preconizadas pela norma ISO 2631-1 para avaliação da vibração de corpo inteiro. Cabe salientar que os eixos apresentados representam o sentido em que ocorrem as variações de aceleração.

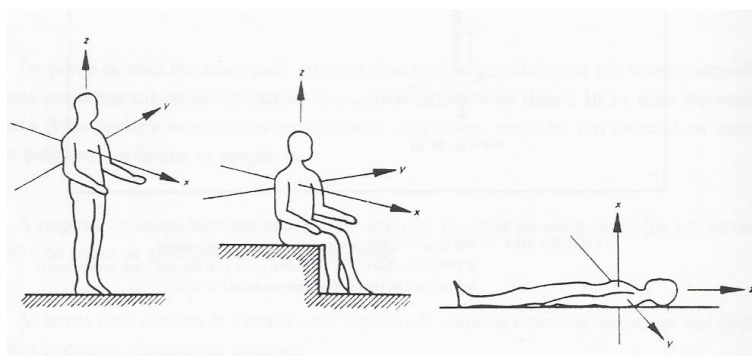


Figura 8 - Representação dos eixos (adaptado de ISO 2631-1, 1997).

2.2.2.5 Limite de tolerância

Diante do método de avaliação da exposição a vibração de corpo inteiro é necessário compreender que a aceleração medida exerce influência direta sobre a estrutura musculoesquelética do indivíduo exposto. Tal influência, assim como para os outros agentes ocupacionais, dependendo do tempo de exposição, pode causar danos irreversíveis na saúde (Raffler et al., 2016).

Nesse contexto, os limites de tolerância adotados para o presente estudo foram os limites preconizados pelos órgãos normativos internacionais, haja vista que os mesmos também possuem peso de lei no território brasileiro. A figura 9 ilustra os Limites de Tolerância de vibração ocupacional da ACGIH e da norma ISO 2631.

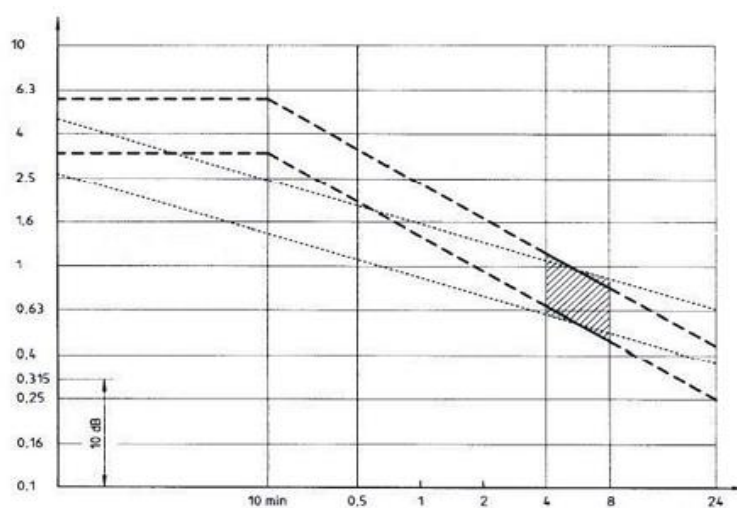


Figura 9 – Limite de tolerância para vibrações de corpo inteiro (reproduzido de ISO 2631-1997(E)).

As vibrações ocupacionais, diferentemente do ruído, possuem característica singular ligada ao fato do trabalhador só se expor durante o manuseio ou operação de uma máquina vibrante. Dessa forma, é previsto que o trabalhador realiza pausas ao longo da atividade. Tal condição precisa ser levada em consideração para o estudo da exposição ocupacional para evitar a leitura equivocada do limite de tolerância (Wenemark et al., 1996).

Nesse contexto, as avaliações de vibração de corpo inteiro desta dissertação seguiram os parâmetros e os limites de tolerância estabelecidos pela norma ISO 2631-1997, que é a principal norma reguladora para esse tipo de fator de risco físico.

2.2.3 Estresse térmico ocupacional

2.2.3.1 Introdução

Nas atividades industriais, as exposições a fontes de calor são causadoras de uma série de efeitos ao organismo relacionados à fadiga muscular, aumento da perda hídrico-salina, alterações na frequência cardíaca, etc. Essas condições são geradoras de distúrbios orgânicos com potencial para o desenvolvimento de doenças ocupacionais (Lindsley & Cadorette, 2015).

Estudos realizados nos Estados Unidos demonstram que o estresse térmico exerce influência sobre a taxa de mortalidade de trabalhadores. Tal taxa é, aproximadamente, 2 vezes maior para o segmento da construção civil e 5 vezes maior para os trabalhadores da agroindústria, ambos em relação aos demais segmentos industriais norte-americanos (Gubernot et al., 2015).

Esse efeito possui explicação médica haja vista que o estresse térmico é responsável pela perda hídrico-salina do organismo, afetando diretamente as fibras musculares fragilizando as mesmas, provoca também alterações na pressão sanguínea, frequência cardíaca (Tang et al., 2016) e impactos sobre o sistema endócrino (Lajkó et al., 2012). Esses efeitos provocam a depreciação do organismo humano reduzindo a sua expectativa de vida.

De forma análoga, Maric et al. (2015) em estudos laboratoriais com soldados, percebeu que os voluntários quando expostos ao ambiente térmico 40°C apresentaram desempenho pior em testes cognitivos complexos (memória de reconhecimento espacial) e simples (tempo de reação e precisão de respostas) em relação a exposição ao ambiente térmico de 20°C.

Dessa maneira, a exposição ocupacional ao calor necessita de investigações mais detalhada para criação de meios de controle para que tais circunstâncias não se concretizem.

Para um melhor entendimento sobre os aspectos técnicos que envolvem a exposição ao calor, se fazem necessárias explicações acerca das definições pertinentes ao estudo da tese e que se descrevem de seguida.

2.2.3.2 Conceitos e definições

Segundo King & Chawla, (1984) e Sato (2004), a energia que se transfere do corpo de maior temperatura para o corpo em temperatura mais baixa recebe o nome de calor. Dessa forma calor é uma forma de energia em trânsito, determinada pela diferença de temperatura entre dois sistemas.

Durante o estudo do ambiente térmico se faz necessário levar em consideração o chamado ciclo de exposição. Tal ciclo é definido por Darnedde' & Gilbert, (1991) e Sheffield et al. (2013), como o conjunto de situações às quais o trabalhador é submetido do ponto de vista térmico, levando em consideração a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, carga solar, vestuário e as atividades físicas desenvolvidas de forma contínua durante a jornada de trabalho.

O estudo desses ciclos permite uma melhor leitura dos pontos com maior temperatura ambiente. A identificação desses pontos orienta a escolha dos locais a serem medidas as temperaturas para o estudo do estresse térmico.

O nível do estresse térmico pode ser definido, entre outros índices, pelo Índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG), do inglês *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Segundo Darnedde' & Gilbert, (1991) e Vangelova et al. (2006) , tal índice reflete não só a temperatura ambiente como também leva em consideração a umidade relativa do ar e o calor radiante do local.

Além da temperatura do ambiente de trabalho, é necessário entender que o organismo humano também gera calor. Segundo Wright et al. (2012) essa variação de calor interna é denominada de taxa metabólica. Tal taxa varia de acordo com a carga de movimentação ou energia por parte do trabalhador imposta na execução da tarefa. Nesse contexto, atividades leves tendem a taxas metabólicas menores, enquanto que atividades pesadas tendem a taxas metabólicas maiores.

O entendimento sobre a temperatura e sobre o metabolismo do indivíduo permite compreender a importância da seleção do chamado ponto de medição. Tal ponto, segundo Bhanarkar et al. (2005), é definido como o ponto físico para o posicionamento do equipamento de medição. Para sua determinação devem ser levados em consideração os locais em que o trabalhador exerça suas atividades sendo levantadas as distâncias das fontes térmicas e a taxa metabólica do trabalhador no exercício da tarefa.

Com o estudo dos elementos apresentados se tem as informações necessárias para a caracterização da denominada situação térmica. Essa situação é classificada por Darnedde' & Gilbert (1991) e Bhanarkar et al. (2005) como sendo cada parte do ciclo de exposição em que as condições do ambiente podem ser consideradas estáveis, ou seja, durante o desenvolvimento das tarefas o mesmo indivíduo pode estar em situações térmicas distintas. Diante do exposto, é possível caracterizar o chamado limite de exposição. Esse limite segundo Brasil (2011a) e a norma ISO 7243:2017, é considerado o máximo nível de IBUTG (WBGT) relativo a taxa metabólica do indivíduo que representa as condições sob as quais a exposição não acarretará efeitos adversos a sua saúde.

2.2.3.3 Fundamentação legal

Os fundamentos técnicos e legais podem ser encontrados em diretrizes internacionais e nacionais. Para a construção dos parâmetros utilizados na presente dissertação foram utilizadas as diretrizes preconizadas pelo conjunto de normas e legislações elencadas na tabela 3.

Em linhas gerais, tais normas tratam dos aspectos metodológicos para avaliação da exposição ocupacional ao estresse térmico apresentando os critérios de estratégia de amostragem, as configurações do equipamento e a metodologia de análise e interpretação dos resultados.

Tabela 3 - Normas e diretrizes para avaliação do estresse térmico.

DOCUMENTO	TIPO	ÂMBITO
NHO-06 - Norma para avaliação da exposição ocupacional ao calor - FUNDACENTRO	Norma Técnica	Brasil
Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents – biological exposure indices – ACGIH 2017	Norma Técnica	Mundial
Documentation of threshold limit and biological exposures indices - ACGIH	Norma Técnica	Mundial
Technical Review – Heat Stress – BRUEL & KJAER	Norma Técnica	Mundial
ISO 7243 - Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)	Norma Técnica	Mundial
ISO 7726 - Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities	Norma Técnica	Mundial
ISO 8996 - Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate	Norma Técnica	Mundial
Instruction CPL 2-2.20B – Capítulo 3, “Heat stress” - OSHA	Norma Técnica	Mundial
Criteria for Recommended Standard – Occupational exposure to hot environments - NIOSH	Norma Técnica	Mundial
Ergonomics Guild to Assessment of Metabolic and Cardiac Cost of Physical Work - AIHA	Norma Técnica	Mundial
Atividades e Operações insalubres – NR-15, Anexo III.	Lei	Brasil

O estudo das diretrizes relacionadas anteriormente possibilitou a construção do estudo desenvolvido ao longo da dissertação, principalmente no tocante a definição dos limites de tolerâncias de exposição ocupacional quanto no método de medição em campo. Esses aspectos serão detalhados mais adiante.

2.2.3.4 Método de avaliação

O critério para avaliação da exposição ocupacional a ambientes quentes, segundo Darnedde' & Gilbert, (1991) deve levar em consideração não só a temperatura ambiental como também a umidade relativa do ar e a temperatura radiante e a velocidade do ar no ambiente de trabalho. Tal condição encontra subsídio legal nas diretivas do NIOSH, da ACGIH e da AIHA. Tendo em vista que a pesquisa está foi desenvolvida no Brasil, também foram levadas em conta as determinações previstas pela legislação brasileira tanto do Ministério de Trabalho e Emprego – MTE (NR-15) quanto da FUNDACENTRO (NHO-06).

Nesse contexto, a avaliação da exposição ocupacional tem por base o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG ou WBGT), conforme as equações 2 e 3.

Para ambientes internos:

$$WBGT = 0,7.Tbn + 0,3.Tg \quad \text{(Equação 2.)}$$

Para ambientes externos:

$$WBGT = 0,7.Tbn + 0,2.Tbs + 0,1.Tg \quad \text{(Equação 3.)}$$

Onde:

Tbn – Temperatura de bulbo úmido natural

Tbs – Temperatura de bulbo seco

Tg – Temperatura de Globo

Wright et al. (2012) em seu estudo explica que os valores de WBGT devem ser analisados tendo por base a taxa metabólica do organismo durante a execução de uma tarefa. Onde essa taxa metabólica é determinante para a definição do limite de tolerância para exposição ao estresse térmico. Nesse contexto, a tabela 4 reproduzida de FUNDACENTRO (2001), apresenta os valores da ISO 8996:2004 referentes a taxa metabólica por tipo de atividade. Cabe salientar que esses parâmetros são estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais citadas anteriormente.

Tabela 4 - Valores de metabolismo por tipo de atividade (reproduzido de NHO 06 - FUNDACENTRO, 2001).

Atividade	Taxa Metabólica (Kcal/h)	Taxa Metabólica (W/m²)
SENTADO		
Trabalho Leve de Mãos e Braços	210	136
Trabalho Moderado de Braços e Pernas	215	139
EM PÉ		
Em repouso	115	74
Trabalho leve em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	150	97
Trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175	113
Trabalho moderado de braços e tronco	225	146
Trabalho pesado de braços e troncos	365	236
EM PÉ, EM MOVIMENTO		
Andando no plano		
2km/h	170	110

Tabela 4 - Valores de metabolismo por tipo de atividade (reproduzido de NHO 06 - FUNDACENTRO, 2001) (continuação).

Atividade	Taxa Metabólica (Kcal/h)	Taxa Metabólica (W/m²)
3km/h	217	140
4km/h	255	165
5km/h	309	200
Subindo Rampa (3km/h)		
A 5° de inclinação	302	195
A 10° de inclinação	425	275
A 15° de inclinação	603	390
Descendo Rampa (5km/h)		
A 5° de inclinação	201	130
A 10° de inclinação	178	115
A 15° de inclinação	186	120
Subindo escadas (80 degraus/minuto – Altura do Degrau – 0,17m)	681	440
Subindo escada com carga moderada	725	469
Descendo escada (80 degraus/minuto – Altura do Degrau – 0,17m)	240	155
Trabalho moderado de braços	275	178
Trabalho moderado de levantar ou empurrar	300	194
Trabalho de empurrar carrinhos de mão, em nível, com carga	335	217
Trabalho de carregar pesos ou com movimentos vigorosos com os braços	425	275
Trabalho de levantar, empurrar ou arrastar pesos	450	291
Transportando carga no plano (4km/h)		
Peso de 10 kg	286,1	185
Peso de 30 kg	386,6	250
Peso de 50 Kg	556,7	360
Correndo		
9km/h	675	437
12km/h	750	485
15km/h	850	550

Com o levantamento do ciclo de trabalho desenvolvido pelo indivíduo, Dianat et al. (2016) determinam a quantificação do nível de WBGT nos pontos em que o trabalhador realiza suas atividades, sendo quantificado também o tempo de duração da tarefa e a estimativa da taxa metabólica de acordo com os parâmetros fixados pela tabela 4.

De posse dos dados, as normas determinam o cálculo do metabolismo médio e do WBGT médio. Segundo Chinnadurai et al. (2016), a determinação desses níveis consiste no cálculo da média ponderada dessas variáveis em relação ao tempo de permanência do indivíduo na execução da tarefa. Nesse contexto, as equações 4 e 5 refletem o cálculo do metabolismo médio e do WBGT médio respectivamente.

$$M_{\text{médio}} = \frac{M_1.t_1 + M_2.t_2 + \dots + M_n.t_n}{60} \quad (\text{Equação 4.})$$

$$WBGT_{\text{médio}} = \frac{IBUTG_1.t_1 + IBUTG_2.t_2 + \dots + IBUTG_n.t_n}{60} \quad (\text{Equação 5.})$$

A determinação das duas variáveis apresentadas na equação 3 e 4 são decisivas para continuidade da avaliação da exposição ocupacional.

2.2.3.5 Limite de tolerância

Com os cálculos do metabolismo médio e do WBGT médio é possível determinar o limite de tolerância para exposição ao calor. Nesse contexto, Habibi et al. (2015) demonstram que quanto maior for carga metabólica de um indivíduo, menor deverá ser a temperatura do ambiente em que o mesmo esteja inserido para fins de garantia do equilíbrio térmico. Diante do exposto, as normas nacionais e internacionais determinam para as faixas de metabolismo, o máximo de WBGT (tabela 5) que pode existir no ambiente sem comprometer a saúde das pessoas expostas.

Tabela 5 - Limites de tolerância para exposição ao estresse térmico (adaptado de NHO 06 - FUNDACENTRO, 2001).

METABOLISMO MÉDIO (kcal/h)	WBGT MÉDIO (°C)	METABOLISMO MÉDIO (kcal/h)	WBGT MÉDIO
125	32,0	268	28,4
128	31,9	272	28,3
132	31,8	277	28,2
136	31,7	282	28,1
139	31,6	286	28,0
143	31,5	290	27,9
146	31,4	295	27,8
150	31,3	299	27,7
154	31,2	303	27,6
157	31,1	307	27,5
162	31,0	311	27,4
165	30,9	316	27,3
169	30,8	321	27,2
173	30,7	327	27,1
176	30,6	333	27,0
181	30,5	338	26,9
184	30,4	344	26,8
188	30,3	350	26,7
192	30,2	356	26,6
196	30,1	361	26,5
200	30,0	367	26,4

Tabela 5 - Limites de tolerância para exposição ao estresse térmico (adaptado de NHO 06 - FUNDACENTRO, 2001) (continuação).

METABOLISMO MÉDIO (kcal/h)	WBGT MÉDIO (°C)	METABOLISMO MÉDIO (kcal/h)	WBGT MÉDIO
204	29,9	373	26,3
209	29,8	379	26,2
213	29,7	385	26,1
219	29,6	391	26,0
222	29,5	397	25,9
227	29,4	400	25,8
231	29,3	406	25,7
236	29,2	416	25,6
240	29,1	425	25,5
244	29,0	434	25,4
247	28,9	443	25,3
250	28,8	454	25,2
255	28,7	470	25,1
259	28,6	500	25,0
263	28,5	-	-

Os limites de tolerância para exposição ao estresse térmico, conforme evidenciado anteriormente estão relacionados com a taxa metabólica do indivíduo, ou seja, com a sua carga de trabalho. Nesse contexto, Mukherjee et al. (2003) determinam que para motoristas em geral a atividade é considerada leve.

2.3 Métodos combinados de avaliação e controle dos fatores de risco físico

Na literatura existe pouco conteúdo que relacione diretamente o estudo combinado de métodos de avaliação dos fatores de riscos físicos. Normalmente, o habitual é a aplicação das metodologias em separado conforme evidenciado por Burgess-Limerick & Lynas (2016), Lajkó et al. 2012) e Nicchi (2014) em estudos desenvolvidos em segmentos diversos.

As avaliações da exposição em simultâneo de indivíduos à fatores de riscos físicos, foram discutidas por outros autores em pesquisas realizadas em laboratório conforme abordado por Kurtz et al. (2012), Ljungberg (2007), Manninen (1985), Manninen (1984) e Muzammil et al. (2007). Para um melhor entendimento do estudo combinado dos fatores de riscos físicos, serão apresentados os principais métodos de avaliação para tais fatores, sendo os mesmos separados em métodos qualitativos e métodos quantitativos.

2.4 Métodos Qualitativos

Durante a avaliação de um local de trabalho existem variáveis que podem ser quantificadas e outras que apresentam dificuldades para sua determinação numérica (Kim et al., 2014). Nos aspectos relativos a segurança do trabalho não é diferente. Segundo Marinacci et al. (2005), existem riscos que não podem ser quantificados como o risco elétrico ou o contato com partes móveis de uma máquina. Nesse contexto, o uso de ferramentas qualitativas para avaliação que auxiliem na tomada de decisão é necessário para determinação de medidas de controle.

Na literatura a aplicação de métodos qualitativos é largamente utilizada no gerenciamento dos riscos operacionais. Tulashie et al. (2016), Su et al. (2015), McNeil et al. (2015) aplicaram ferramentas qualitativas em seus estudos tanto em pequenas escalas quanto em grandes escalas e obtiveram resultados satisfatórios no controle da exposição ocupacional a fatores de riscos que não podem ser quantificados.

Segundo Schaefer et al. (2015), as ferramentas de gerenciamento de risco são utilizadas para identificação de perigos, análise de riscos e avaliação dos riscos (tabela 6). A aplicação de forma sistemática dessas ferramentas auxilia no processo de determinação das medidas de controle a serem aplicadas ao processo produtivo.

Tabela 6 - Métodos qualitativos para avaliação dos riscos (adaptado de Schaefer et al., 2015).

Ferramenta	Aplicação
Técnica de Incidentes Críticos (TIC)	Identificação de perigo
What-If (Wi)	
Análise Preliminar de Riscos (APR)	Técnicas de Análise de Riscos
Análise de Modos de Falha e Efeitos (AMFE)	
Análise de Operabilidade de Perigos (HAZOP)	
Análise de Árvore de Eventos (AAE)	Técnicas de Avaliação de Riscos
Análise por Diagrama de Blocos (ADB)	
Análise de Causas e Consequências (ACC)	
Análise de Árvore de Falhas (AAF)	

Os métodos relacionados anteriormente já foram aplicados nos últimos 10 anos por diversos autores como Pasman (2015), Rausand (2011), Nolan (2014), Vincoli (2014), Ericson (2005), e entre outros, cujo campo de aplicação variou desde a indústria de base até a construção civil apresentando resultados eficientes no controle e minimização dos risco operacionais de uma maneira geral. Porém, segundo Pasman, (2015) e Rausand (2011) demonstraram em estudos aplicados, que para os fatores de riscos físicos a melhor alternativa é a quantificação dos mesmos através dos procedimentos preconizados pelas normas e diretivas existentes.

2.5 Métodos Quantitativos

Com a própria terminologia elucidada o processo de quantificação é converter a variável presente no ambiente para uma escala numérica. Segundo Ljungberg (2007) e Muzammil et al. (2007) as formas de energia com ruído, calor, radiação, etc. possuem escalas de medição bem definidas e equipamentos normatizados para esse tipo de avaliação.

Diferentemente das variáveis qualitativas a avaliação tendo por base um método quantitativo neutraliza os aspectos relativos subjetividade do avaliador (Manninen, 1984). Porém, o rigor na aplicação dos métodos é condição preponderante para uma avaliação precisa da exposição ocupacional.

Como a presente dissertação está direcionada para a avaliação da exposição dos fatores de riscos físicos ruído, estresse térmico e vibração de corpo inteiro, os métodos qualitativos que foram empregues no estudo já foram mencionados anteriormente nesse capítulo, mas seus aspectos de medição e limites de tolerância estão organizados na tabela 7 de forma resumida.

Tabela 7 - Limites de tolerância.

Fator de Risco	Método de Quantificação	Limite de Tolerância
Ruído	Dosimetria	85 dB(A)
Calor	WBGT	30,5°C*
Vibração de Corpo Inteiro	Aceleração Média Resultante	1,15 m/s ²

* Para uma taxa metabólica de 181 kcal/hora e uso de vestuário leve.

Capítulo 3. Fatores de Riscos na Indústria da Construção Civil

3.1 Riscos ocupacionais da construção civil.

A indústria da construção está entre os ramos de atividade mais antigos do mundo, que com o tempo passou por grades processos de transformação. As áreas de projetos, tecnologia de materiais, equipamentos e gestão de pessoas incorporaram novas técnicas e metodologias de trabalho. Essas mudanças, permitiram que a construção atingisse maiores níveis de desempenho, segurança e qualidade nas instalações e estruturas.

Segundo Campos, (2002) nos últimos 200 anos, grandes obras foram construídas e se tornaram símbolos de diversas cidades espalhadas pelo mundo. As quais se sobressaem pela beleza, pelo tamanho, pelo custo, pela complexidade de construção e pelo arrojo do projeto. Como exemplo, o Taipei Finance Center (figura 10) e a ponte da Normandia (figura 11). Mostram o potencial construtivo atual.



Figura 10 - Taipei Finance Center, Taiwan (reproduzido de SkyscraperCity, 2017).



Figura 11 – Ponte da Normandia, França (reproduzido de iStockphoto, 1993).

A indústria da construção civil para alcançar seus objetivos produtivos faz uso de máquinas, equipamentos e mão de obra especializada. Segundo Antwi-Afari et al. (2017) a construção possui tarefas que em sua maioria são realizadas por pessoas. Logo, é considerado de elevado poder econômico, tendo em vista a absorção da mão-de-obra pela geração de empregos e contratações de serviços. Porém, Chih et al. (2016) explica que a dinâmica dos processos construtivos, conferem ao setor a característica de ter rotatividade de trabalhadores por obra. Isso ocorre porque a cada novo empreendimento as equipes são mobilizadas e desmobilizadas de acordo com a etapa da obra e com o tipo de serviço (Mélo Filho et al. 2012). Apesar disso o surgimento de novas obras faz com que seus trabalhadores estejam ocupados seja em grandes projetos seja na prestação de serviços menores. Isso reflete não só sua importância, mas o papel econômico da construção civil para a sociedade.

Diante dessa contribuição econômica, segundo Giang & Sui Pheng (2011) a indústria da construção civil se apresenta entre os maiores setores da economia, pois é responsável pelo fornecimento da infraestrutura que garante o funcionamento dos demais segmentos econômicos e serve de base para outras atividades da sociedade. Como exemplo é possível citar as obras industriais e de estradas. São obras que exercem influência direta sobre o desenvolvimento do PIB de um país (Ahmadi & Shahandashti, 2017).

No Brasil, os dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil – CBIC (2015) demonstram a tendência de crescimento das ocupações de empregos formais na construção civil nos últimos 6 anos (figura 12). Esses dados são os mais recentes em relação a essa informação.

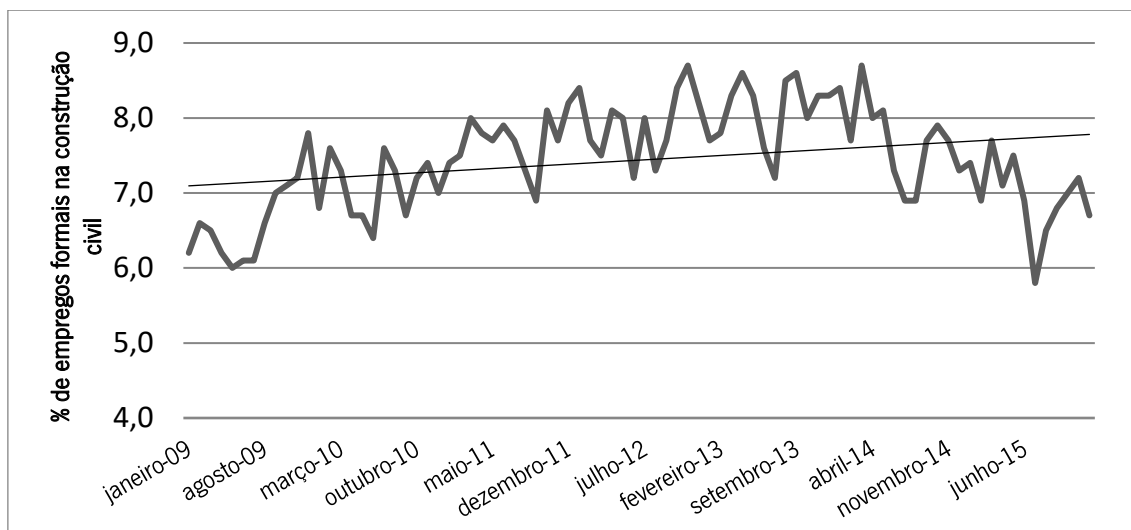


Figura 12 - Ocupação de empregos formais na indústria da construção civil no Brasil (adaptado de CBIC, 2015).

A ampliação dos postos de trabalho traz consigo também o aumento de pessoas expostas aos fatores de riscos ocupacionais da construção civil. Segundo Barkokébas Júnior et al. (2009) os fatores de riscos em obras variam de acordo com a etapa da obra, com o tipo de serviço realizado e com a tecnologia empregada para realização dos mesmos.

De forma macro setorial pode-se classificar a indústria da construção civil em três setores distintos: construção pesada, montagem industrial e edificações. Sendo a construção pesada constituída pelas obras viárias, obras hidráulicas, obras de urbanização e obras diversas, que compreende a construção de pontes, viadutos, contenção de encostas, túneis, barragens hidrelétricas, captação, adução, tratamento e distribuição de água, usinas atômicas, fundações especiais, perfuração de poços de petróleo e gás (López-valcárcel et al. 2005).

O setor de montagem industrial compreende obras de sistemas industriais, tais como: montagens de estruturas mecânicas, elétricas, eletromecânicas, hidromecânicas; montagem de sistemas de telecomunicações; montagem de estruturas metálicas; montagem de exploração de recursos naturais e obras subaquáticas (López-valcárcel et al. 2005).

Os setores da construção civil possuem fatores de riscos com potencial de provocar acidentes ou desenvolver doenças. Estimativas internacionais classificam o setor com um dos mais perigosos, porém não existem trabalhos científicos que sustentem essas informações. No Brasil os dados de acidentalidade informados pelas empresas revelam que nos últimos 10 anos foram registrados mais 3.061 casos de doenças ocupacionais nos segmentos de construção de edifícios e obras de infraestrutura (MF et al. 2015).

As doenças ocupacionais segundo Santana & Oliveira, (2004) estão relacionadas a exposição a fatores de riscos acima de limites de tolerância. Logo, isso é indicativo de que os riscos em obras precisam de melhor acompanhamento. A construção de edifícios e as obras de infraestrutura também têm como principal característica o emprego de máquinas e equipamentos pesados para a realização de escavações e movimentação de pessoas e matérias.

Nas bases científicas não se faz menção sobre o volume de pessoas contratadas como operadores de máquinas no setor da construção civil. Nos órgãos internacionais também não se tem esse dado. No Brasil, o Ministério do Trabalho e Emprego – MTE, através do Cadastro Nacional de Emprego e Desemprego – CAGED tem a estimativa de que aproximadamente 20% da população ativa da construção civil esteja envolvida direta ou indiretamente com a operação de máquinas. Conforme visto essas operações possuem riscos inerentes ao funcionamento das máquinas.

Os segmentos da construção necessitam do emprego de máquinas e equipamentos operados por trabalhadores treinados para essa finalidade. Com o isso, o objeto de estudo dessa dissertação é analisar os efeitos fisiológicos dos operadores de máquinas durante a exposição aos fatores de riscos físicos inerentes a essa operação.

Para o melhor entendimento do trabalho esse capítulo visa explicar sobre os riscos ocupacionais dos processos construtivos, em seguida mostrar onde são empregues máquinas e equipamentos e explicar os riscos específicos dessas operações.

A indústria da construção civil possui riscos ocupacionais que variam segundo o tipo da obra, suas etapas e os serviços específicos empregados (Barkokébas Júnior et al. 2009). Porém existem fatores de riscos que são comuns, independentemente do tipo de obra ou etapa. Essa são os riscos elétricos, o risco de queda, os contatos acidentais com partes móveis de máquinas, as poeiras, o ruído, as vibrações de mão e braço, de corpo inteiro e o estresse térmico (Casanovas, et al. 2014).

Segundo Viana et al. (2007) os riscos de choque elétrico são encontrados nas tarefas que necessitam do uso de ferramentas manuais elétricas ou no uso de equipamentos elétricos. Os quadros de energia provisórios devem alimentar as frentes de serviço onde estão sendo realizadas operações com ferramentas elétricas. Essa energia é conduzida por meio de cabos instalados ao longo dos canteiros de obras, que conectam o quadro de energia de distribuição as ferramentas e equipamentos em operação (figura 13). Os acidentes relacionados com eletricidade são em sua maioria fatais. Isso ocorre pelo fato das potencias instaladas variarem entre 220 V a 740 V.



Figura 13 – Cabos elétricos expostos a impactos mecânicos (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).

Segundo Souza (2008) os acidentes envolvendo choque elétrico tem como principais causas o contato acidental com fiação exposta, fuga de corrente elétrica, partes energizadas de quadros sem proteção contra o contato acidental (figura 14) e realização de serviços com a rede elétrica energizada. Essas causas têm em sua origem falhas de controle gerencial do projeto das instalações temporárias, que acabam por permitir a ocorrência de situações potencialmente causadoras de acidentes.

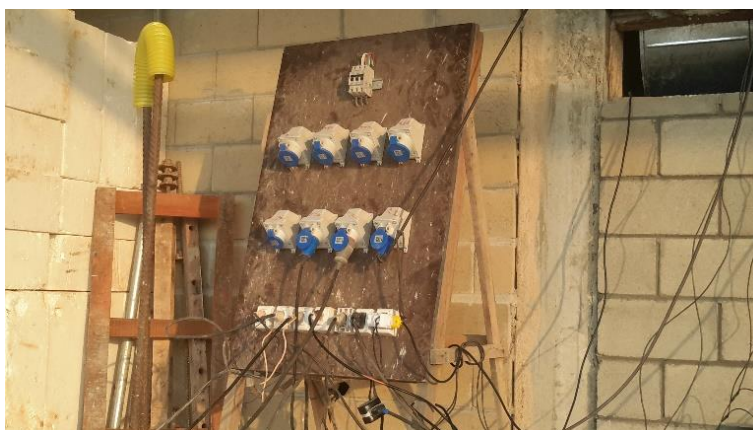


Figura 14 – Quadro elétrico sem proteção (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).

Quanto aos riscos de queda, esses estão associados a existência de diferença de nível superior a 2 metros de altura entre o local de trabalho e o nível de referência do piso (figura 15). Essas condições são visualizadas nas operações com escadas, andaimes, plataformas aéreas de trabalho, pinturas e manutenção de fachadas de prédio, etc. Os acidentes relacionados a queda são decorrentes da ausência de pontos de ancoragem e fixação para os cintos de segurança. Ou ainda a realização de serviços sem o cinto de segurança (Vasconcelos, 2009).



Figura 15 – Funcionários realizando atividade em altura (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).

Os acidentes com queda tendem a ser graves ou fatais dependendo da altura e da forma como o trabalhador colide com a superfície. As principais causas de queda em altura têm em sua origem falhas de controle gerencial do projeto das instalações dos pontos de ancoragem e linhas de vida (figura 16). Treinamentos e capacitações para a mão de obra inadequados, o que permite a ocorrência de desvios durante a operação. E as falhas de supervisão permitindo a ocorrência de situações potencialmente causadoras de acidentes (Vasconcelos, 2009).

Na indústria da construção civil também é comum a presença de poeira em suspensão, fumos metálicos provenientes de soldas elétricas e vapores de tintas e vernizes oriundos dos processos de pintura. Esses fatores são classificados como riscos químicos. As doenças relacionadas a esses elementos afetam principalmente o aparelho respiratório dos trabalhadores. Em certos casos, podem desenvolver reações alérgicas na pele em caso de contato direto com a substâncias (Martins, 2009).

Para os casos de exposição aos riscos químicos, a principal consequência é a manifestação de doenças. Onde essas, para ocorrerem dependem diretamente do tempo de exposição dos trabalhadores aos fatores de riscos e dos seus níveis de concentração. Ou seja, as doenças desencadeadas em canteiros de obra normalmente estão relacionadas a falhas no fornecimento de medias preventivas de cunho individual e coletivo com a capacidade de neutralizar a exposição do trabalhador ao fator de risco, bem como a redução dos níveis das substâncias presentes no ambiente de trabalho (Lira, 2014).

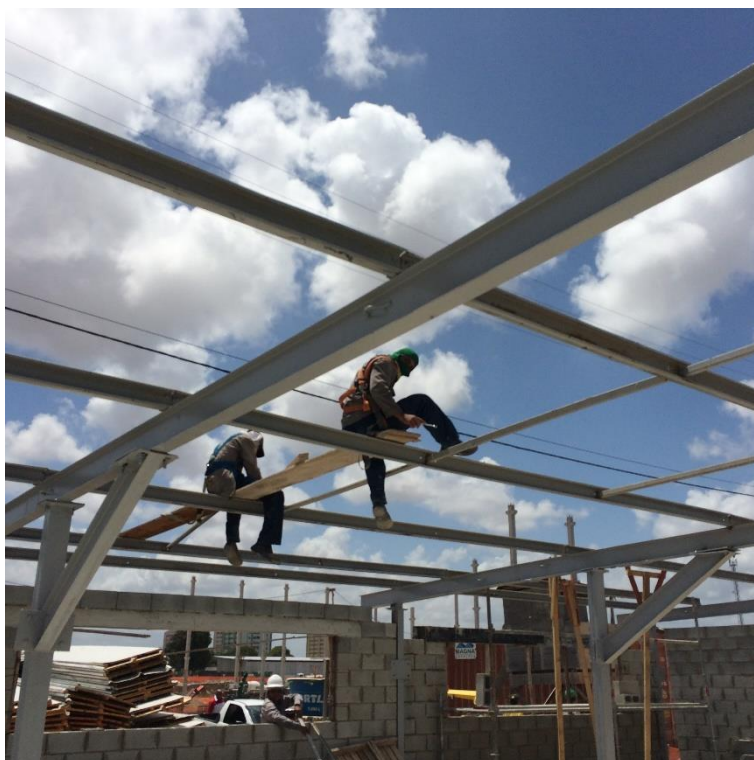


Figura 16 – Funcionários realizando serviços de montagem do telhado sem linhas de vida e pontos de ancoragem (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).

Ruído, vibrações, estresse térmico e radiações também podem ser encontrados nos ambientes de trabalho da indústria da construção civil. Esse grupo de fatores de riscos é denominado de riscos físicos. Por definição os mesmos se caracterizam como formas de energia mensuráveis que se propagam no ambiente a partir da fonte geradora. Nas tarefas da construção esses fatores são encontrados simultaneamente nas operações com máquinas. Isso ocorre porque nos ambientes de trabalho e nos serviços são empregues equipamentos que emitem ruído, aquecem e vibram (Cruz, 2014). Os serviços ora são realizados em ambiente aberto com exposição à radiação solar e ora necessitam de elevado esforço físico cujo ambiente térmico exerce influência sobre o rendimento da tarefa.

A exposição a elevados níveis de intensidade dos fatores de riscos físicos também pode desencadear doenças nos trabalhadores. Essas doenças afetam principalmente o aparelho auditivo quando expostos a ruído (Manninen, 1984), provocam distúrbios musculares e hemodinâmicos quando expostos a sobrecarga térmica e vibrações de corpo inteiro acima dos limites de tolerância (Muzammil et al. 2007). Problemas dermatológicos (Alchorne et al. 2010) ou na visão quando expostos a radiações não ionizantes (Megbele et al. 2012). Os efeitos dos fatores de riscos também podem gerar impactos sobre o sistema nervoso de forma indireta. Provocando

redução do rendimento mental para execução de tarefas, fruto da fadiga mental (Ljungberg et al., 2004).

Os fatores de riscos da indústria da construção civil possuem o potencial de causar doenças e acidentes. A manifestação de suas consequências depende diretamente dos níveis de controle do processo. Ou seja, a implantação de programas de segurança adequados as características da obra, com monitoramento dos fatores de riscos e com a implantação de medidas de controle, são responsáveis pela garantia da manutenção da saúde e segurança do conjunto dos trabalhadores da obra (Lago, 2006).

A presente dissertação trata sobre os fatores de riscos físicos, em específico o ruído, as vibrações de corpo inteiro e o estresse térmico existentes nas operações com máquinas e equipamentos pesados na indústria da construção civil. Isso com a finalidade de mostrar a sua influência e seus efeitos combinados sobre as respostas fisiológicas dos operadores. Por isso os próximos itens tratam sobre a caracterização dos riscos ocupacionais na operação com máquinas pesadas na indústria a construção civil.

3.2 Riscos ocupacionais na operação de máquinas pesadas da construção civil.

Na indústria da construção o emprego de máquinas é necessário para realização de tarefas que o homem não possui capacidade física para realizar (Silva, 2013). A exemplo disso tem-se as demolições, as escavações, o transporte de matérias e pessoas, etc. São encontradas máquinas nas obras de estradas, obras hídricas (barragens, talvegues, etc.), saneamento, edifícios, obras industriais entre outras (figura 17, 18 e 19).



Figura 17 – Operação de terraplanagem (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).



Figura 18 – Obra de talvegue (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).



Figura 19 – Serviços de escavação (reproduzido da base de imagens do NSHT, 2017).

As máquinas da construção dependendo da sua aplicação possuem características diferentes. Essas características são conferidas pelos acessórios e configurações das máquinas (figura 20). Logo, as máquinas podem possuir pá, pêndulos, ganchos, lâminas, caçambas, etc. O que elas apresentam em comum é o posto de trabalho do operador. É esse ambiente de trabalho em que o operador permanece a maior parte da jornada.

Durante a operação das máquinas são gerados fatores de riscos físicos que afetam a saúde do operador. Esses fatores são produzidos pelo funcionamento do motor das máquinas, durante realização do serviço e pelo ambiente em que máquina está inserida. Parte desses fatores são minimizados pela cabine, porém ainda são encontrados dentro da mesma. O ruído, o estresse térmico e a vibração de corpo inteiro são exemplos desses fatores (Cruz, 2014).



Figura 20 – Principais máquinas pesadas da construção civil (reproduzido de Caterpillar, 2017).

3.3 Principais acidentes e doenças ocupacionais dos operadores de máquinas na construção civil.

A indústria da construção possui riscos inerentes ao processo com potencial de manifestar acidentes. Segundo dados internacionais o setor da construção encontra-se entre os 10 setores com maior risco operacional agregado (ILO, 2016). No Brasil as estatísticas de órgãos fiscalizadores, apresentam que o setor é o 5º colocado em relação a acidentalidade (MF/INSS/DATAPREV, 2015). Enquanto os acidentes envolvendo colisões com máquinas no Brasil é a quinta maior causa de acidentes nos canteiros de obra (Barbosa et al. 2013). Segundo Silveira et al. (2005) os acidentes com máquinas correspondem a 16% dos acidentes em obras. Nesse contexto, fica evidenciado que as máquinas possuem elevado potencial de causar acidentes de trabalho. Além disso seus operadores também ficam expostos a fatores de riscos que afetam diretamente sua saúde. Os postos de trabalho dos operadores de máquinas possuem riscos que se assemelham aos encontrados em cabines de veículos convencionais. Onde os efeitos a saúde desses operadores são semelhantes aos encontrados em motoristas de caminhões e condutores de forma geral.

Dessa forma, pesquisas mostram que a operação de veículos pode provocar aumento de irritabilidade e mudanças cardiovasculares relacionadas ao desenvolvimento do trabalho. (Biglari et al., 2016). Em motoristas de caminhão também foram encontrados sinais de hipertensão e influência sobre o sistema cardiovascular (Cavagioni et al. 2009). Segundo Moraes et al. (2016), as vibrações de corpo inteiro às quais os motoristas de caminhões estão expostos são responsáveis

por alterações musculoesqueléticas na região lombar. Em longo prazo essas microlesões tem o potencial de provocar a perda do tônus muscular nessa região.

3.4 Principais medidas de controle dos fatores de riscos nas operações com máquinas pesadas na construção civil.

As operações com máquinas pesadas podem provocar acidentes graves em relação ao processo produtivo e podem manifestar doenças em seus operadores. Sendo necessário a implantação de medidas de segurança (controle) no processo. Segundo Lago (2006) as medidas de controle são estratégias gerenciais que as empresas se utilizam para eliminar ou diminuir os riscos operacionais de maneira que os acidentes ou doenças ocupacionais não se manifestem.

As medidas de controle podem ser implantadas na fonte do fator de riscos, no ambiente de trabalho ou no trabalhador. As medidas de controle na fonte devem ser adotadas como primeira alternativa. Sua implantação possui um custo inicial elevado, porém sua manutenção é mais barata. Dependendo da natureza da tarefa é mais viável adotá-la do que fazer uso de medidas individuais de proteção (Santos et al. 2004).

As medidas de controle na fonte, tem como principal característica eliminar o fator de risco ou minimizar a emissão do mesmo. Como exemplo é possível citar as manutenções preventivas, lubrificação de peças, troca de componentes defeituosos, ajuste de elementos mal instalados ou folgados. Essas medidas reduzem a emissão de ruídos, vibrações além de evitar que peças sejam projetadas ou que componentes de segurança, como sistemas de freios, falhem durante a operação ou quando solicitados (Silva, 2013).

As medidas de fonte ainda podem estar associadas a soluções organizacionais com o objetivo de mudar processo ou máquinas. Isso também neutraliza a emissão e exposição de trabalhadores a certos fatores de riscos (Cheng & Wu, 2013). Por exemplo é possível citar as mudanças em regimes de trabalho com pausas para o descanso, ou a substituição de máquinas antigas por máquinas modernas. Esses benefícios não só contribuem com saúde dos operadores como também promovem o ganho de produtividade para o processo (Mościcka-Teske et al. 2017).

Quando o emprego de medidas de controle na fonte, são inviáveis do ponto de vista financeiro ou técnico devem ser adotadas medidas no ambiente de trabalho. Essas medidas podem ser barreiras físicas ou conjunto de componentes com finalidade de atenuar os riscos. Por exemplo, para o controle da emissão de ruídos ou radiações podem ser empregadas barreiras físicas nos locais de trabalho que reduzam os níveis de energia no ambiente. As barreiras são instaladas entre a fonte

e os trabalhadores isso permite que o funcionário continue desempenhando suas tarefas dentro de níveis seguros de exposição (Chiu, 2009).

Em relação aos sistemas, é possível citar o calor e a poeira que precisam de sistemas de ventilação para retirar o fator de risco do ambiente. Tais sistemas variam de processo para processo, precisam ser dimensionadas segundo o nível de intensidade ou concentração do fator de risco. Ser posicionado em locais estratégicos para maior eficácia e possuir plano de manutenção preventiva para garantia do bom funcionamento (Xia et al., 2016).

Por fim, quando esgotadas as possibilidades de controle na fonte ou no ambiente de trabalho são empregadas as medidas de controle individuais. Essas a curto prazo são mais baratas quando comparado as demais. Porém, sua eficácia depende da formação profissional complementar dada aos trabalhadores para garantia de bom funcionamento. Ou seja, é necessário treinar o colaborador para o uso correto das medidas de controle individuais. E garantia de utilização dos mesmos. (Thouvenin et al., 2017).

Nesse contexto, para a implantação adequada das medidas de controle individuais devem ser levados em consideração dois aspectos básicos. Sendo eles análise de aspectos psicológicos e análise da aprendizagem dos requisitos de segurança. No tocante aos aspectos psicológicos, os colaboradores precisam ser condicionados ao uso da proteção de maneira tal que a medida de controle não seja vista como algo que atrapalhe a atividade ou cause desconforto. Determinados equipamentos de proteção precisam ser vestidos e restringem o campo visual dos trabalhadores. Em situações como essas também é necessário identificar se o mesmo tem condições de usar a medida de proteção (Passos Junior, 2013).

Em relação a questões educacionais, precisam ser investidas horas de treinamentos no esclarecimento de dúvidas e explicação aos colaboradores das ações que devem ser adotadas para o bom funcionamento do dispositivo de proteção individual (Mancini et al., 2009) e (Hilyer et al., 2000). Por exemplo, em relação ao uso de cinto de segurança. Os trabalhadores precisam ser orientados a fixar o cinto em pontos de ancoragem nas proximidades de áreas com o risco de queda. Porém, quando o mesmo encontra-se adaptado a exposição a altura ou autoconfiante ele pode assumir comportamentos inadequados que refletem em não fixar o cinto ou não ficar atento o suficiente as possibilidades de acidentes (Evanoff et al., 2012).

Comportamentos inadequados, falta de orientação, autoconfiança e outras causas provenientes de fatores psicológicos e educacionais são variáveis que devem ser controladas quando a medida de controle a ser adotada é a individual (Pretrus & Kleiner, 2003). Nas operações com máquinas

na construção civil as medidas de controle se encontram nas duas primeiras linhas de atuação, as medidas de fonte e no ambiente de trabalho.

Nas máquinas, a sua estrutura física e mecânica já possui os elementos de controle necessários para minimização do ruído e vibrações. A estrutura dos motores possuem isolamentos que funcionam como barreiras reduzindo a transmissão do ruído, das vibrações e do calor para o interior da cabine do operador (Willemsen et al., 2009). Os isolamentos são provenientes dos materiais fonoabsorventes empregados em elementos das máquinas. Por exemplo é possível citar as borrachas e matérias plásticas presentes em tampas e revestimentos de cabos (Lu & Wang, 2009). Enquanto as vibrações de corpo inteiro são atenuadas pelos sistemas de assentos pneumáticos (Ji et al., 2017) e pelos sistemas de suspensão pneumáticas presentes na maioria das máquinas pesadas da construção (Morales et al., 2015).

Em relação ao ambiente do operador de máquinas a principal medida de controle é o isolamento da cabine de operações. Esse isolamento é feito tendo como base estrutura metálica e revestimentos em plástico e vidros. A vedação completa da cabine permite o emprego de sistema de ventilação e climatização que neutralizam a entrada de poeiras e controlam a temperatura interna dentro de faixas seguras para a operação (Barcellos et al., 2016).

Os fatores de riscos físicos representam ameaça aos operadores de máquinas quando existem falhas no funcionamento desses dispositivos. Logo, com a manutenção adequada desses componentes o convencional é encontrar postos de trabalho dentro de condições seguras.

Devido a essas características, as operações com máquinas foram escolhidas para o desenvolvimento da presente dissertação. Tendo em vista que a principal finalidade é avaliar a sinergia dos fatores de riscos físicos ruído, estresse térmico e vibração de corpo inteiro sobre as respostas fisiológicas dos operadores. E verificar se os fatores de riscos físicos mesmo dentro de limites seguros podem provocar respostas fisiológicas similares ou próximas aos de indivíduos expostos a condições acima dos limites de tolerância.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

Capítulo 4. Efeitos da Exposição Simultânea a Fatores de Riscos Físicos

4.1 Resposta orgânica aos estímulos ambientais

Até ao momento, já foram abordados os aspectos relativos aos fatores de riscos físicos e como eles são encontrados na indústria da construção civil. Para continuidade da fundamentação teórica e o melhor entendimento da dissertação, se faz necessário discutir os efeitos desses fatores sobre a saúde dos trabalhadores, considerando que tais efeitos são o alvo das reflexões apresentadas na tese.

Para tanto, este capítulo visa descrever, através da literatura, a relação que existe entre os fatores de risco físico estudados, nomeadamente a exposição ao ruído, vibrações de corpo inteiro e estresse térmico, e o seu impacto na saúde dos trabalhadores expostos. Nesse contexto, o este capítulo aborda as respostas do organismo aos estímulos ocupacionais, os efeitos combinados dos agentes ocupacionais sobre a saúde e os principais exames clínicos e biomédicos para identificação das respostas fisiológicas dos sujeitos aos estímulos ambientais.

Os seres vivos de uma maneira geral possuem a capacidade de responder a estímulos, sejam eles de natureza química ou física. Tal capacidade é um dos aspectos que diferenciam os seres vivos em suas diversas classes e reinos. O processo evolutivo das espécies demonstra que os estímulos são os fatores responsáveis pelo desenvolvimento das diversas faculdades/habilidades dos organismos vivos, provocando a sua evolução e adaptação.

Os processos de adaptação trazem consigo efeitos adversos podendo ser observados através de sinais e sintomas. Esses sinais tratam-se de respostas fisiológicas relacionadas ao reestabelecimento do equilíbrio do organismo ou ao estabelecimento de um novo ponto de equilíbrio (Grime & Pierce, 2012).

A possibilidade do organismo trabalhar constantemente na busca do equilíbrio de seus sistemas, corrobora com o fato de que os estímulos ambientais provocam reações no organismo e que essas reações nada mais são que os reflexos pela busca da condição de equilíbrio do sistema. Esse mecanismo é denominado de homeostase (Kuzawa, 2004).

Assim como acontece com todos os seres vivos, não poderia ser diferente para os seres humanos. Constantemente a máquina humana compensa as variações dos estímulos ambientais a que o

corpo está exposto, como por exemplo a contração da pupila de acordo com a variação de iluminação do ambiente (Wei & van Bommel, 2011), ou o aumento da contração muscular para geração de calor em resposta a redução da temperatura ambiente (Krumlová et al., 2010).

Como se sabe, os seres humanos com o passar das gerações provocaram mudanças em todos os aspectos ambientais. Mudando espaços urbanos, processos produtivos, tecnologias, padrões de consumo e, conseqüentemente, a sociedade como um todo. Essas mudanças alteraram o meio ambiente em que seu organismo está inserido. Segundo Harrison & Dawson (2016), com o advento da revolução industrial, tais alterações provocaram a aproximação do organismo humano a aspectos ambientais diferentes do existente no cenário pré-industrial. Essa exposição colaborou com o surgimento acentuado de doenças relacionadas ao novo cenário (Harrison, 2012). O novo contexto provoca impactos sobre o ser humano, cujos efeitos dependem da forma como os estímulos ambientais afetam o organismo e como ele reage a essas condições.

Para um melhor entendimento do assunto se faz necessário discutir de forma inicial sobre os estímulos ambientais durante o exercício das atividades de trabalho.

4.2 Estímulos ambientais no exercício das atividades de trabalho

Assim como retratado por Cioca & Ivascu (2016) na indústria na metalurgia, os outros segmentos como a indústria de alimentos (Ortolani, 2012), têxtil (Machado et al., 2009) e construção civil (Van der Molen et al., 2016). Também passaram por um processo de mudanças operacionais, ampliando os controles sobre o ruído, estresse térmico, vapores, vibrações e etc. Porém, a quantidade de pessoas expostas aos riscos aumentou em virtude da elevação das demandas desses segmentos. Quanto maior a demanda, maior a quantidade de pessoas empregadas expostas aos riscos ocupacionais.

Imerso nesse ambiente de trabalho, o organismo humano tende a manifestar respostas fisiológicas diferenciadas na tentativa de reestabelecer o seu equilíbrio interno. Tal teoria é evidenciada por Li et al. (2012) os quais demonstraram a deficiência da oxigenação do tecido muscular da região lombar durante a exposição a vibrações. O nível de energia foi similar aos encontrados em máquinas da construção civil. A baixa oxigenação é um indicador de desgaste energético e conseqüente fadiga muscular.

Estudos como o de Lai et al. (2015) avaliando trabalhadores da mineração e Vangelova et al., (2008) com funcionários fabris, apontam na mesma direção ao evidenciarem o aumento da frequência cardíaca e pressão sanguínea dos operários expostos aos diferentes ambientes

térmicos dos processos produtivos da jornada de trabalho. As alterações da frequência cardíaca para essa condição são mecanismos de regulação para manutenção da temperatura interna (Fohr, 2015).

Esses exemplos ilustram de forma sucinta que o corpo humano responde de forma constante aos estímulos ambientais presentes no meio que lhe rodeia. Na ergonomia, Vandergrift et al. (2012) demonstram que os fatores ambientais presentes no local de trabalho atuam como agentes estressores reduzindo o rendimento da execução das tarefas. Tal redução é consequência do déficit energético do organismo perdido nas ações de regulação interna do mesmo.

Como exemplo da ideia retratada, tem-se o estudo de Muzammil et al. (2007) que analisaram a exposição de voluntários na execução de testes em um simulador de tarefas, em condições térmicas diferentes e com níveis de ruído diferentes. Perceberam que aqueles que estavam expostos a níveis mais elevados tanto de ruído como de estresse térmico apresentaram desempenho inferior, em relação ao grupo que estava exposto apenas ao ruído. Dessa forma os indivíduos expostos de forma combinada apresentaram desempenho inferior em relação ao grupo de controle. O autor atribuiu a queda no rendimento ao aumento do desgaste físico provocado pelo ruído e calor durante a realização do teste.

Nesse contexto, os mecanismos da homeostase necessitam de energia para suas ações, da mesma forma que os demais sistemas do corpo precisam dela para a realização de tarefas cognitivas ou físicas. Nessa divisão ocorrem as perdas energéticas que afetam o desempenho das tarefas. Esse déficit pode provocar a queda da produtividade do trabalho e em situações mais graves contribuir com a manifestação de doenças.

Diante do exposto, o organismo termina por gastar energia para recuperar ou estabilizar a sua condição de equilíbrio normal ou homeostase. Os ambientes de trabalho são exemplos de locais em que os estímulos ambientais, se apresentam de forma simultânea podendo ou não estar acima dos limites de tolerância. Nesse contexto, é necessário detalhar os mecanismos da homeostase e a sua relação com os estímulos (fatores de riscos ocupacionais) nos locais de trabalho.

4.3 A homeostase e os riscos ocupacionais

A necessidade de se criar um espaço para discussão da relação entre a homeostase e os riscos ocupacionais parte do princípio de que os riscos ocupacionais provocam impactos sobre o equilíbrio do funcionamento orgânico que, em contrapartida, dispense energia para se recuperar desses impactos.

Nesse contexto, diante das variadas formas de funcionamento dos mecanismos de regulação existentes no organismo, nesta dissertação serão tratados os mecanismos que possuem ligação direta com os fatores de riscos físicos estudados, nomeadamente a exposição ao ruído, vibrações de corpo inteiro e o estresse térmico.

Segundo Kuzawa (2004), homeostase é a capacidade do organismo de apresentar uma situação físico-química característica e constante, dentro de determinados limites, mesmo diante de alterações impostas pelo meio ambiente. Para tanto, o organismo mobiliza os diversos sistemas (nervoso, endócrino, excretor, circulatório, respiratório, etc.) para essa finalidade.

Etimologicamente, a palavra homeostase deriva do grego “*homeostasis*” que resulta da junção entre a palavra “*homeo*”, que significa semelhança e a palavra “*stasis*”, e que significa ação de pôr em estabilidade. Banfalvi (2014) descreve homeostase com sendo a condição de relativa estabilidade da qual o organismo necessita para realizar suas funções adequadamente para o equilíbrio do corpo.

Como apresentado, a homeostase é a manutenção da estabilidade das atividades vitais. Dessa forma o corpo humano manifesta a busca por estabilidade em resposta aos estímulos ambientais aos quais esteja submetido. Tal manifestação ocorre através de sinais fisiológicos, como variações na frequência cardíaca, na temperatura interna, na existência de contrações musculares, em alterações neurosensoriais, em mudanças na frequência respiratória, etc.

Nesse contexto, foi abordado no decorrer desse capítulo as respostas fisiológicas relacionadas diretamente com os fatores de risco físicos estudados na dissertação.

4.3.1 Homeostase para o ruído

A exposição ao ruído em si, segundo Donáth (2006), provoca efeitos diretos no aparelho auditivo mas o seu maior impacto ocorre no sistema nervoso central, considerando que as codificações da informação sonora necessitam de gasto energético relacionado com as atividades cerebrais. Esse desgaste foi constatado ao se observar a atividade neurológica em indivíduos expostos a diferentes níveis de ruído. O mesmo estudo também comprovou que a atividade neurológica aumenta à medida em que os estímulos auditivos aumentam. Também foi evidenciado que músicas de boa qualidade com intensidades apropriadas fortalecem a rede neural, enquanto ruídos excessivos perturbam e enfraquecem essa rede.

Gholami et al. (2014) em seus estudos evidenciam a fadiga mental que decorre do ruído do ambiente de trabalho. Segundo aqueles autores, a exposição ao ruído influencia o desempenho

cognitivo, em aspectos como a atenção, a memória e a concentração. Tal influência também foi estudada por Shih et al. (2012) que demonstram a existência de uma relação entre a frequência e amplitude da onda sonora e a realização de tarefas mentais. Seus experimentos evidenciaram que sons com informações verbais atrapalham o exercício da atenção e da concentração.

O sistema nervoso central, conforme fundamentado, tem ligação direta com as fibras musculares através das fibras eferentes. Nesse contexto, os músculos recebem retroalimentação constante das células nervosas. Segundo Solberg (2008), o sistema nervoso quando sobrecarregado por estímulos pode provocar microdescargas elétricas sobre a fibra muscular, provocando um aumento da sua contração.

Tal efeito, segundo Noda (2011), pode provocar um consumo exagerado de energia em decorrência das contrações excessivas, colaborando para a acentuação do desgaste da musculatura e consequente predisposição da fibra para a fadiga precoce, colaborando com a exaustão muscular e aumento do estresse.

Além dos problemas musculares, todo o sistema vascular sofre com a sobrecarga do sistema nervoso. Chiang et al. (2012), em seus estudos com voluntários, demonstram que os indivíduos expostos a níveis de ruído acima de 60 dB(A) possuem alterações na vasoconstrição, alterando os padrões de fluxo e pressão sanguínea. Entretanto, De Souza et al. (2015) tiveram dificuldades em relacionar a exposição ao ruído (75 – 85 dB(A)) com a ocorrência de hipertensão, mas afirmam que outros estudos com tempos de exposição superiores a 1 hora puderam constatar a influência do ruído ocupacional na ocorrência de hipertensão, podendo ainda gerar igualmente impactos indiretos sobre os sistemas digestivo e endócrino.

Analisando as informações apresentadas, é possível observar que os sinais ou respostas fisiológicas têm o ruído como causa indireta, ou seja, os níveis de pressão sonora contribuem para o aumento da sobrecarga do sistema nervoso que, por sua vez, libera pequenas descargas elétricas nos demais sistemas. Segundo Baptista (2015), tais reações se acumulam provocando o fenômeno de adição latente, fazendo com que esses sistemas trabalhem em regime inadequado podendo provocar o desencadeamento de doenças.

Celi et al. (2010) referem que os sistemas orgânicos de uma maneira gastam mais ou menos energia para reestabelecer sua condição de equilíbrio. Nesse contexto, o gasto energético acaba sendo maior quanto maior for nível de perturbação do sistema.

4.3.2 Homeostase para o estresse térmico

O estresse térmico, segundo Josipovic & Ludwig, (2012), é definido como o efeito da incapacidade do ser vivo em dissipar ou gerar calor suficientemente para manter sua homeotermia. Segundo Aggarwal & Upadhyay (2013), o organismo animal pode ser comparado a uma "máquina térmica", a qual gera calor quando executa algum trabalho. O calor gerado pelo organismo deve ser trocado com o ambiente, a fim de que não se eleve nem diminua a temperatura interna do corpo.

Segundo Degorre et al. (2015), como o homem é um animal homeotérmico, isto é, deve manter sua temperatura corporal praticamente constante, esses desequilíbrios ocasionados entre a geração e a dissipação do calor pelo organismo podem ocasionar sensações desconfortáveis, ou mesmo patologias em casos mais extremos.

Fohr (2015) explica que o aumento da temperatura interna do corpo humano pode provocar um choque hipertérmico. Mesmo quando essa variação é irrelevante, ainda assim pode causar prejuízos na eficiência produtiva e no comportamento do indivíduo. Com o objetivo de evitar que o sistema chegue a essa condição, aquele autor explica que o organismo faz uso de mecanismos fisiológicos e comportamentais para produzir ou reter calor, bem como para dissipá-lo. A esse conjunto de mecanismos é dado o nome de termoregulação.

Em ambientes quentes, a termoregulação, segundo Walling (2014), se manifesta através da perda de calor pela radiação, pela convecção, condução e evaporação, sendo essa última considerada por Armstrong & McManus, (2010) como o meio mais importante para a perda do calor sendo responsável por aproximadamente 25% da perda total de calor do corpo. Esta definição corrobora com as definições de Basset et. al. (1987 apud Oliveira, 2009), que referem que, durante uma atividade intensa em ambientes quentes, a vasodilatação periférica e a sudorese são os principais mecanismos de dissipação de calor.

Alguns autores, como Hailes et al. (2016), sugerem que a evaporação do suor possa ser responsável por cerca de 80% da perda de calor do corpo para o ambiente, de forma que para um homem de 70 kg, a cada 100 ml de suor evaporado, atenua-se uma elevação de 1°C na temperatura corporal. Esse mecanismo, juntamente com a vasodilatação, cumprem o papel de manter a temperatura interna constante e assim prevenindo seu sobreaquecimento ou sobrerresfriamento e, conseqüentemente, as doenças relacionadas com essas duas condições.

Li et al. (2017) explicam a existência de 7 fatores que influenciam a evaporação do suor sendo eles a temperatura do ar, calor radiante, tipo de atividade, umidade relativa do ar, ventilação local, vestuário e a quantidade de superfície da pele exposta. Nesse contexto, essas variáveis devem ser

consideradas para fins de estudo no tocante a facilidade ou dificuldade do organismo em manter-se em homeotermia.

Segundo Alfonsi et al. (2016), os comandos nervosos responsáveis pela homeotermia são oriundos de um centro termorregulador localizado no hipotálamo anterior. Tal centro é considerado o termostato fisiológico, sobretudo pela sua função de controle das variações de temperatura no organismo, de forma similar ao termostato doméstico.

Dessa forma, os corpúsculos de Ruffini situados na pele, captam os estímulos nervosos e o transmitem ao hipotálamo. Através de um arco reflexo (*feedback*), o hipotálamo ativa ou desativa os mecanismos de sudorese ou vaso-dilatação objetivando reestabelecer os níveis de temperatura interna aceitáveis (Key, 2014).

Segundo Hemmelgarn & Gannon (2013), outros fatores devem ser considerados influenciadores do processo de termorregulação, sendo eles o gênero, a idade e os níveis de gordura no organismo. Estes autores exemplificam o caso das mulheres serem menos tolerantes ao calor em relação aos homens, sendo que tal se deve à produção de gordura corporal ser maior nas mulheres que nos homens, dificultando a sua perda de calor.

No tocante ao aspecto idade, Miyake (2013) demonstra que as pessoas idosas tendem a negligenciar o resfriamento do ambiente, a ingestão de água e a exposição ao calor. Essa conduta deve-se à diminuição da sua sensibilidade às altas temperaturas e umidade. Como o volume interno de fluido já está diminuído e sua função cardíaca reduzida, a capacidade de produzir suor e os mecanismos de vasodilatação são comprometidos. Esse conjunto de fatores impactam as trocas térmicas entre o indivíduo e o meio ambiente, tornando os idosos mais propensos a sofrer de doenças por exposição ao calor do que os jovens.

No que diz respeito aos níveis de gordura no organismo, segundo Ozer et al. (2016) a gordura, por se tratar de um isolante térmico, reduz a capacidade do organismo de fazer trocas térmicas com o meio. Esses efeitos são observados com mais relevância nas mulheres, conforme citado anteriormente por Hemmelgarn & Gannon (2013), mas também são encontrados em indivíduos obesos ou com elevados níveis de gordura no sangue.

Como já referido, os mecanismos de homeotermia são essenciais para o equilíbrio térmico do sistema, porém como toda ação orgânica, dependem de energia e seu funcionamento gera reações. Diante desse cenário é possível elencar dois elementos a serem discutidos com maior detalhe. O primeiro é a perda de calor através do suor e o segundo é a fadiga muscular, relacionada com a elevação da temperatura.

Mulligan et al. (2011) explicam que o suor é composto principalmente de água, podendo outras substâncias serem retiradas do sangue pelas glândulas sudoríparas, como ureia, ácido úrico e cloreto de sódio. Também explicam que nas atividades pesadas existe um consumo acelerado de glicogênio (polissacarídeo composto por moléculas de glicose), onde a falta dessa substância pode provocar a fadiga muscular.

Cabe salientar que Tucker (2008) cita inúmeros fatores causadores da fadiga relacionada a atividades de longa duração. Entre elas são elencadas a redução da glicose, a desidratação e o aumento da temperatura corporal. Outro aspecto que contribui para a fadiga muscular é a condição física do indivíduo. Pessoas com hábitos de praticar atividades físicas metabolizam carboidratos de forma mais lenta, reduzindo assim os efeitos da fadiga em relação aos indivíduos sedentários.

Analisando a literatura é possível verificar que os mecanismos de regulação térmica são essenciais para o bom funcionamento do organismo, porém quando fora de controle as perdas hídricas, o consumo de glicose, as perdas salinas e a elevação das temperaturas podem provocar efeito danosos a saúde.

Essas patologias, segundo Linseman et al. (2014), têm suas causas associadas principalmente à perda hídrico-salina das estruturas celulares que compõe a pele e os músculos. Tais patologias são decorrentes da necessidade vital da água e da glicose para o funcionamento das atividades celulares. Quando existe restrição desses recursos, as células passam a metabolizar toxinas comprometendo o funcionamento muscular e circulatório (Hailes et al., 2016)

Diante do exposto, se faz necessário observar o ambiente térmico, o ritmo de trabalho, o gênero, a idade, as taxas de gordura e os hábitos de atividade física para uma leitura do quão a atividade pode impactar sobre a saúde do indivíduo.

4.3.3 Homeostase para as vibrações ocupacionais

Como apresentado no capítulo 2, as vibrações podem ser compreendidas como o movimento alternado de um corpo sólido em relação ao seu centro de equilíbrio, ou ainda como um estímulo mecânico caracterizado por um movimento oscilatório que se repete em torno de uma posição de referência (Batista et al., 2007). A frequência, amplitude e magnitude são variáveis mecânicas que determinam a intensidade da vibração. A frequência da vibração é medida em Hertz (Hz) e representa uma taxa de repetição de ciclos oscilatórios por unidade de tempo (segundo no caso

do Hertz), ou seja, representa quantas vibrações por segundo serão executadas pela máquina e podem, geralmente, variar de 15 a 60 Hz (Cardinale & Bosco, 2003).

Nesse contexto, cada parte do corpo humano tem uma frequência própria, chamada frequência de ressonância. Como exemplo destas frequências (com valores aproximados), Komi (2007) cita os olhos com 20 Hz, a cabeça com 18 Hz, os órgãos internos com 8 Hz e os músculos com 7-15 Hz. Quando a frequência da vibração coincide com a frequência natural do sistema pode ocorrer uma ressonância no corpo humano submetendo-o a oscilações perigosas que podem causar danos (Rao, 1986, apud. Silva et al., 2008).

Segundo Willems (2013), o tecido muscular possui a habilidade de mudar sua capacidade funcional global em respostas a diferentes estímulos. Sendo assim, o corpo humano responde a vibrações de forma complexa pois impõe o aumento da potência muscular em função da intensidade da aceleração. Dessa forma, Tankisheva et al. (2013) demonstraram que a ação mecânica da vibração desencadeia um efeito de mudança no comprimento dos tendões (músculo-tendíneo). Essas perturbações são percebidas por receptores sensoriais que modulam a rigidez muscular através de uma atividade muscular reflexa, tentando amortecer as ondas vibratórias.

Quando a musculatura é exposta a vibrações, são originados 3 efeitos motores. O primeiro, segundo Cakar et al. (2015), é a “contração sustentada” que também é conhecida como reflexo vibracional tônico (*Tonic Vibration Reflex - TVR*) em que o músculo exposto contrai de forma ativa em decorrência da estimulação dos fusos musculares. O segundo é a excitabilidade/irritabilidade das células nervosas presentes nos músculos antagonistas, provocando sua depressão por inibição recíproca, ou seja, o sistema nervoso reduz o envio de informações para contração, considerando que o conjunto muscular já está sobre forte estímulo. O terceiro é a redução do reflexo miotático da musculatura provocado pela repressão da via monossináptica.

Apesar do reflexo miotático e TVR utilizarem a mesma fibra aferente, o TVR requer suporte das regiões supraespinhais e do Sistema Nervoso Central – SNC. Alguns fatores influenciam na força do TVR, como a direção da vibração, o tamanho do bloco muscular, a excitabilidade/irritabilidade do SNC, frequência e amplitude do estímulo vibratório (Bishop, 1974).

Nesse contexto, Bongiovanni et al. (1990) explicam que a vibração afeta primeiramente a capacidade do indivíduo gerar e manter altas taxas de disparo das unidade motoras necessárias para atividade musculares, ou seja, a vibração acima dos limites da capacidade motora conduz a uma perda de força por parte do grupo muscular.

Além dos aspectos relativos à musculatura, as vibrações também provocam efeitos sobre o sistema vascular. Segundo Kersch-Schindl et al. (2001), as acelerações aplicadas em indivíduos adultos na posição de pé provocam mudanças na coloração da pele, sendo mais visível nos pés e gêmeos (panturrilha). Outros efeitos provocados pelas vibrações são o aumento do fluxo sanguíneo nos membros inferiores e a redução significativa da resistência vascular periférica em tais membros. Induzindo a ampliação dos pequenos vasos da circulação periférica.

Zhang et al. (2003), em pesquisas com adultos, detectaram um aumento de 20% fluxo sanguíneo na musculatura tibial durante o estímulo de vibrações e um aumento de 24% do fluxo sanguíneo após a exposição. Segundo Sackner et al. (2005), em pesquisas com homens adultos observaram que os mesmos apresentam tolerância a vibrações durante 45 minutos seguidos a uma aceleração de $2,2\text{m/s}^2$. Após os 45 minutos, Mester et al. (2006) explicam que a tensão de deformação dos vasos sanguíneos é rompida, ocasionando vasodilatação e aumento do fluxo sanguíneo nas fibras musculares.

Lohman et al. (2007) ainda explica que as vibrações mecânicas têm efeitos nas células endoteliais, sendo que o estresse endotelial acarreta o aumento da produção de óxido nítrico, que possui função relaxadora das células musculares. Tal condição pode provocar, durante sua exposição, a redução do tônus muscular.

Diante do exposto, é possível verificar que além dos efeitos musculares, o sistema circulatório também sofre impactos. Como os sistemas citados estão intrinsicamente ligados, não é possível dissociar a influência de um sobre o outro. Nesse contexto, os efeitos das vibrações ocupacionais sobre a saúde precisam ser observados através desses dois indicadores biológicos, sendo eles indicadores musculares e circulatórios.

4.4 Efeitos combinados dos fatores de riscos físicos

Conforme já referido antes, os agentes físicos provocam respostas fisiológicas no indivíduo. Tais respostas podem ter consequências mais graves de acordo com a intensidade do estímulo ambiental e o tempo de exposição. É possível verificar que tanto o ruído, o estresse térmico e as vibrações ocupacionais possuem respostas fisiológicas comuns. Nesse contexto, pretende-se discutir que efeitos podem ser potencializados quando o indivíduo está exposto a múltiplos agentes em simultâneo.

4.4.1 Fundamentação teórica dos efeitos sinérgicos sobre o organismo

Para a construção do entendimento sobre os efeitos sinérgicos é necessário entender o que significa o termo sinergia. Segundo Latash (2009), sinergia é uma palavra que deriva do grego “*sunergia*” que significa cooperação, ajuda ou assistência. A sua derivação, a palavra sinérgico ou sinérgico, está associado à ação simultânea ou à ação em conjunto.

Segundo Capra (2012), sinergia nos efeitos é a ação cooperativa de agentes sobre o organismo, de tal forma que seu efeito combinado é maior que a soma dos efeitos de cada um dos agentes quando tomados de forma isolada. Tal circunstância pode ser exemplificada no caso da combinação de certas drogas que, quando misturadas, causam efeitos muito maiores que quando tomadas separadamente. Por exemplo, estudos com dependentes de álcool e portadores de HIV em tratamento com drogas retrovirais apresentam danos maiores ao fígado (alterações das enzimas hepáticas) em relação aos indivíduos que apenas se tratam com as drogas retrovirais ou aos que apenas são viciados em álcool. Dessa forma, foi demonstrado o efeito sinérgico do álcool e das drogas retrovirais sobre o sistema hepático (Igboh et al., 2009).

O mesmo fenômeno se verifica na indústria farmacêutica, em pesquisas envolvendo substâncias intensificadoras de absorção intestinal. Enslin et al. (2008) explica que os princípios ativos desses elementos entram em interação medicamentosa. Tal condição provoca a potencialização de seus efeitos, proporcionando uma ação mais rápida da medicação. Observou também que concentrações mais baixas dos intensificadores de absorção, nos grupos de combinação, exibiram maiores efeitos sobre as células epiteliais, em comparação com os intensificadores de absorção individuais. Tal demonstra da mesma forma o efeito sinérgico.

Autores com Schalow (2013) e Kaas (2010), explicam que o corpo humano é propenso aos efeitos sinérgicos. Essa facilidade é decorrente da rápida capacidade de processamento dos impulsos nervosos e da interligação entre os aspectos hormonais, o sistema de retroalimentação (*feedback*) e os outros sistemas do corpo humano.

Esse conjunto indissociável faz com que qualquer estímulo seja processado rapidamente provocando respostas nas ativações hormonais que variam de acordo com as necessidades do organismo tanto para colocá-lo em estado de alerta, como para provocar a sua descontração. Nesse contexto, o estudo do organismo no tocante aos estímulos orgânicos deve ser analisado de forma sistêmica.

Estudos desenvolvidos por Di Giminiani et al. (2014) demonstram que o desempenho muscular pode ser potencializado através de estímulos locais de vibração, juntamente com reposições

hormonais, demonstrando a ação sinérgica para esses casos. Resultados similares foram encontrados nos estudos de Cardinale et al. (2010). Ao analisar idosos, os autores também perceberam um aumento da capacidade para realização da tarefa ao intercalar os treinos de musculação com sessões de fisioterapia com aplicações de vibrações.

Os estudos dos efeitos combinados sobre o organismo de trabalhadores ainda são “tímidos”. Desde a década de 1980, pesquisadores iniciaram suas investigações em escalas menores, tipicamente dentro das universidades e sob elevadas condições de controle. Normalmente os experimentos foram realizados com estudantes dentro de câmaras que permitiam a simulação de variáveis encontradas nos ambientes de trabalho reais. Alguns exemplos destes estudos são os desenvolvidos por Manninen & Ekblom (1984), Seidel et al. (1984), Rentzsch et al. (1984), Manninen (1984), Manninen (1985), Manninen (1986) e Seidel et al. (1988),

Alguns autores indicam as dificuldades apontadas por outros autores para a coleta e controle das informações. Por exemplo, segundo Manjunatha et al. (2011) e Martinez & Latorre (2006), estudando trabalhadores da siderurgia, as pessoas possuem características diferentes e isso afeta o controle de alguns parâmetros, como por exemplo, massa corporal, rotina de trabalho, condição ambiental de exposição, bem como enfermidades anteriores. Ou seja, estudos aplicados ao ambiente real de trabalho, devem levar em consideração a diferença entre os indivíduos objeto de estudo.

A busca por padrões e controle das variáveis, faz do trabalho aplicado um desafio para se construir a visão técnica acerca dos fenômenos relativos à exposição ocupacional a múltiplos fatores de riscos em simultâneo. Na evolução histórica desse tipo de estudo é possível citar 11 pesquisas clássicas que alavancaram as investigações sobre os efeitos sinérgicos. Tais estudos correspondem a uma seleção obtida por meio de revisão sistemática da literatura em que foram escolhidas pesquisas que abordassem os efeitos combinados dos fatores de risco físico sobre a saúde de pessoas. Para a escolha, foram considerados os métodos empregados para coleta dos dados, a estrutura dos experimentos realizados, o tratamento estatístico dos dados e os efeitos fisiológicos estudados. Os mesmos podem ser encontrados na tabela 8. Em seu conteúdo, os autores citados mostram a existência de efeitos combinados entre os fatores de riscos físicos sobre a saúde.

Como exemplo é possível citar o trabalho de Manninen (1985), que mostrou as alterações no funcionamento do sistema cardiovascular em exposições combinadas a ruído, vibrações de corpo inteiro e estresse térmico por calor. Cabe salientar que o sistema vascular é suscetível a esses

estímulos conforme mostrado anteriormente. Nesse contexto, foram identificadas mudanças significativas na frequência cardíaca e pressão sanguínea nas exposições em simultâneo, quando comparados com as exposições isoladas, evidenciando o efeito combinado dos fatores de risco sobre o sistema circulatório.

Tabela 8 - Estudos sobre os efeitos combinados.

Ano de Publicação	Autor(es)	Título Original	Fatores de Risco Estudados	Variáveis Estudadas
1983a	Manninen	<i>Simultaneous effects of sinusoidal whole body vibration and broadband noise on TTS2's and R-wave amplitudes in men at two different dry bulb temperatures.</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Limiar de Audição
1983b	Manninen	<i>Studies of combined effects of sinusoidal whole body vibrations and noise of varying bandwidths and intensities on TTS2 in men</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Limiar de Audição
1984	Manninen	<i>Hearing threshold and heart rate in men after repeated exposure to dynamic muscle work, sinusoidal vs stochastic whole body vibration and stable broadband noise.</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Frequência cardíaca
1984	Manninen & Ekblom	<i>Single and joint actions of noise and sinusoidal whole body vibration on TTS2 values and low frequency upright posture sway in men.</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Limiar de Audição, Equilíbrio físico do corpo.
1985	Manninen	<i>Cardiovascular changes and hearing threshold shifts in men under complex exposures to noise, whole body vibrations, temperatures and competition-type psychic load.</i>	Ruído, Vibrações de Corpo Inteiro e Calor	Limiar de Audição; Frequência Cardíaca; Pressão sanguínea;
1986	Manninen	<i>Bioresponses in men after repeated exposures to single and simultaneously sinusoidal or stochastic whole body vibrations of varying bandwidths and noise</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Frequência Cardíaca; Limiar de Audição; Pressão Sanguínea; Índice de Hemodinâmica; equilíbrio do corpo.

Tabela 8 - Estudos sobre os efeitos combinados (continuação).

Ano de Publicação	Autor(es)	Título Original	Fatores de Risco Estudados	Tipo de Efeito Estudado
1988	Seidel et al.	<i>Isolated and combined effects of prolonged exposures to noise and whole-body vibration on hearing, vision and strain.</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Limiar de audição; Acuidade Visual; estresse
2004	Ljungberg et al.	<i>Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	cognitivo (aborrecimento)
2005	Ljungberg & Neely	<i>Attention Performance after Exposure to Combined Noise and Whole-Body Vibration</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Cognitivo (Memória)
2007	Ljungberg	<i>Cognitive degradation after exposure to combined noise and whole-body vibration in a simulated vehicle ride</i>	Ruído e Vibrações de Corpo Inteiro	Cognitivo (Memória, Atenção e Incômodo)
2008	Muzammil et al.	<i>Effect of noise, heat stress and exposure duration on operators in a die casting operation</i>	Ruído e Calor	Frequência cardíaca

Com o objetivo de melhorar o entendimento acerca dos efeitos combinados, serão abordados os métodos utilizados pelos pesquisadores, citados anteriormente, para a observação dos possíveis efeitos combinados dos fatores de riscos físicos.

4.4.2 Métodos de ensaios aplicados para estudo dos efeitos sinérgicos

Durante a realização da revisão bibliográfica foi possível evidenciar autores que desenvolveram experimentos com o objetivo de investigar os efeitos combinados sobre o organismo durante exposições simultâneas aos fatores de risco físico considerados nesta dissertação (ruído, vibração e estresse térmico). Os próximos parágrafos apresentam as estruturas experimentais dos principais estudos encontrados na literatura que trataram sobre essa temática.

Nesse contexto, o trabalho mais antigo encontrado foi o do Manninen (1983) que realizou 66 testes com 11 estudantes dentro de uma câmara de exposição. Durante o experimento ele observou que os limites de audição são afetados pela vibração de corpo inteiro e pelo estresse térmico. A justificativa dada para o fenômeno é que a vibração de corpo inteiro provoca a ressonância da caixa craniana intensificando a perturbação do aparelho auditivo.

Em um segundo estudo com 90 estudantes, separados em um experimento fatorial 3x3x2, foram verificadas as respostas fisiológicas de frequência cardíaca e limiar de audição. Os voluntários

foram expostos a condições de ruído isolado e combinado com vibrações de corpo inteiro e a uma temperatura constante de 30°C, variando a sua carga de trabalho entre trabalho leve, moderado e pesado. No tocante aos tempos do experimento, foram considerados 30 minutos de preparação, 3 exposições consecutivas de 16 minutos, com 4 minutos de intervalo entre elas e 15 minutos de pós-exposição (Manninen, 1984).

Em seu terceiro estudo, Manninen & Ekblom (1984) realizaram testes com 10 estudantes, expondo os mesmos a 6 combinações diferentes dos fatores de riscos físicos, totalizando 60 amostragens. O tempo total de cada experimento foi de 105 minutos, distribuídos em 30 minutos de controle, em 3 exposições consecutivas de 16 minutos com 4 minutos de intervalo entre elas, finalizando com 15 minutos de recuperação. Nesse período foram coletados os dados de estabilidade corporal e limiar de audição.

No quarto experimento, Manninen (1985) constatou o efeito combinado do ruído, estresse térmico e vibrações sobre a perda temporária da audição e as alterações cardiovasculares. Foi verificado que os efeitos provocados por tais fatores de riscos físicos, quando observados isoladamente, apresentaram resultados claramente diferentes quando comparados com os resultados da sua combinação. Ainda foi observado que os efeitos foram mais acentuados após exposições consecutivas. Tal fato comprovou que quanto maior for o número de exposições seguidas mais relevantes serão os efeitos sobre o organismo.

Os resultados alcançados por Manninen (1985), foram obtidos a partir de experimentos realizados com 108 estudantes que nunca haviam sido expostos anteriormente a tais condições. Foi adotada uma modelagem experimental fatorial do tipo 2x3x3 para análise dos fatores dos riscos físicos de forma isolada e combinada, totalizando 18 experimentos. O tempo de amostragem foi de 30 minutos para a pré-exposição (controle), seguindo-se 3 períodos consecutivos de 16 minutos, com 4 minutos de intervalo entre si. Por fim, foram considerados 15 minutos de recuperação.

Durante a execução do experimento foram coletados os dados de tempo de reação, limiar de audição, frequência cardíaca e pressão sanguínea, sendo os mesmos tratados estatisticamente.

Em seu quinto trabalho, Manninen (1986) realizou experimentos utilizando uma câmara de exposição com um arranjo experimental em blocos, tal como referido em Cochran & Cox (1957). Os tempos de exposição foram divididos num período de controle de 30 minutos, em 5 períodos de exposição consecutivos de 16 minutos, com 4 minutos de intervalo entre eles e um período de pós-exposição de 15 minutos. No total considerou um tempo global de exposição de 80 minutos.

Para execução do experimento foram utilizados 7 jovens estudantes saudáveis, com idades compreendidas entre os 23 e os 25 anos, e com um peso médio de 71 Kg. Durante a exposição foram coletadas as variáveis orgânicas consideradas, nomeadamente a frequência cardíaca, a pressão sanguínea e os limiares de audição.

Contemporâneos a Manninen, também se destacaram os estudos de Seidel et al. (1988) que construíram um experimento com 6 homens saudáveis (4 estudantes, 1 engenheiro e 1 funcionário de escritório). Foram coletadas informações de idade, peso e altura. As exposições ocorreram de 3 formas (exposições a apenas a ruído de 92 dB(A), a apenas vibração com 1,0 m/s², e a uma exposição simultânea aos dois agentes) e em momentos diferentes com intervalos de 44 horas. Os voluntários foram submetidos a um período de pré-exposição de 30 minutos, seguido por 3 etapas consecutivas de 30 minutos cada e um período de pós-exposição de 90 minutos. Durante os testes foram coletados dados referentes aos limiares de audição e à acuidade visual.

Os resultados encontrados por Ljungberg et al. (2004) surgiram de uma estrutura experimental composta por 54 voluntários, sendo 27 mulheres e 27 homens com idade entre os 19 e os 30 anos. Os indivíduos foram separados em grupos aleatórios de exposição. Tais grupos foram descritos como: Baixa exposição (77 dB(A) de ruído e 1,0 m/s² de vibração de corpo inteiro); Média exposição (81 dB(A) e 1,6 m/s²) e Alta exposição (86 dB(A) e 2,5 m/s²).

Os participantes foram separados nos grupos com a divisão de 17 para Baixa, 19 para Média e 18 para Alta. Cada indivíduo foi exposto a condições isoladas e simultâneas aos fatores de riscos físicos, enquanto foram aplicados os testes cognitivos (Paradigma Sternberg e Escala de Irritação Borg CR-10).

A execução do experimento consistiu em um período de introdução onde os voluntários se familiarizaram com os testes. Após a introdução foi realizado o 1º teste de Memória (Paradigma Sternberg) ao mesmo tempo em que o indivíduo era submetido a um dos 4 tipos de exposição ambiental. Após 20 minutos de exposição e execução dos testes de memória, o voluntário relatava o nível de dificuldade (Escala Borg CR-10) encontrado para fazer o mesmo.

Após a classificação da dificuldade, é realizada uma pausa de 5 minutos sem qualquer exposição ambiental, sendo iniciado o segundo teste com uma nova condição ambiental. Esse padrão foi repetido ao longo de todos os 4 tipos de testes. No final os resultados foram tratados estatisticamente.

De forma mais atual, tem-se o Ljungberg & Neely (2005), que construíram um experimento composto por um grupo de 24 indivíduos entre 21 e 30 anos, sendo os mesmos integrantes da população universitária. Os voluntários foram expostos a ruídos de baixa frequência, com uma intensidade de 75 dB(A) e a vibrações de corpo inteiro com intensidade de $1,1\text{m/s}^2$.

A ferramenta “*Search and Memory Task – SAM*” foi aplicada para avaliar o desempenho da atenção dos voluntários após a exposição. Os testes se sucederam em 4 fases distintas, em que cada fase foi realizada em dias separados e cada dia correspondeu a um tipo de exposição. Os tipos de exposição considerados foram: Apenas exposição a ruído, apenas exposição a vibrações de corpo inteiro. Exposição combinada de ruído e vibrações e, por fim, sem qualquer exposição aos agentes considerados (grupo de controle).

Os procedimentos dos testes consistiram inicialmente em uma sessão introdutória explicando os métodos e como os mesmos seriam desenvolvidos, fazendo com que os voluntários se familiarizassem com o experimento. Após esta etapa, cada sujeito no 1º dia de experimento repousava durante 30 minutos antes do início da seção, sendo essa fase constante em todos os dias de teste.

Após esse momento de pré-testes, os indivíduos eram direcionados para a câmara em que eram submetidos ao exame cognitivo em um computador com duração de 24 minutos, contendo uma pausa de 5 minutos após os primeiros 12 minutos de testes. Em seguida ao exercício de memória, o voluntário realizava um teste de raciocínio lógico com duração média de 13 minutos.

Com o término da bateria de testes, os indivíduos foram direcionados para a sala em que estavam inicialmente em repouso e completavam a tarefa de atenção SAM durante 5 minutos.

Em um segundo experimento, Ljungberg (2007) realizou um experimento construído com 28 participantes, com idades entre os 18 e os 30 anos e recrutados da população frequentadora da universidade. Tais indivíduos foram expostos a estímulos de vibração de corpo inteiro através de um simulador, cuja intensidade média foi de $0,82\text{m/s}^2$ e a um ruído de 72 dB(A), simulado com uma caixa de som posicionada em frente ao participante.

Durante as exposições, os voluntários realizaram os testes de atenção SAM (explicado anteriormente) e relataram o seu grau de irritação ou incômodo por meio da ferramenta Borg CR-10. O experimento consistiu na exposição dos participantes a 3 condições ambientais distintas, sendo realizada uma em cada dia e durante 3 dias consecutivos. No 1º dia o voluntário era exposto apenas a vibração, no 2º dia a vibração e ruído e no 3º dia a uma condição de controle (sem exposição aos agentes ambientais considerados) (Ljungberg, 2007).

O procedimento de amostragem consistiu, inicialmente, no fornecimento dos esclarecimentos necessários para realização dos testes com a plataforma vibratória, bem como instruções de como fazer o teste SAM e o preenchimento da escala de classificação de irritabilidade. Antes de cada sessão, os funcionários descansavam por 10 minutos sendo submetidos imediatamente após esse tempo aos testes de vibração com a duração de 15 minutos. Durante os testes os participantes assistiam a um vídeo simulando um motorista dirigindo devagar em uma estrada. A apresentação do vídeo teve como finalidade simular a sensação cognitiva de um motorista (Ljungberg, 2007). Logo após o término da exposição, o voluntário indicava o seu nível de irritabilidade (usando a escala CR-10), e em seguida (30 segundos após) fazia um novo teste SAM e com mais 10 minutos transcorridos um segundo teste SAM. Ao término da coleta dos dados, estes eram tratados estatisticamente (Ljungberg, 2007).

Outros autores, Muzammil et al. (2007), reuniram 20 participantes com idades compreendidas entre os 20 e os 35 anos. Os voluntários foram divididos em 2 experimentos (Tipos de Exposição: Calor e Ruído / Só Calor) e em 3 faixas etárias (de 20 a 25 anos; de 25 a 30 anos; e de 30 a 35 anos). A quantificação do calor se deu através do WBGT. Enquanto o ruído foi quantificado através de medidores de pressão sonora. Ambos com metodologia prevista pelo *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*.

No primeiro experimento os participantes foram expostos a 3 níveis de ruído (90, 95 e 100 dB(A)), de calor (35°, 40° e 45°C) e tempos de exposição (5, 10 e 15 minutos). No segundo experimento 5 indivíduos foram expostos a 3 níveis de ruído (90, 95 e 100 dB(A)) com tempos de exposição de 5, 10 e 15 minutos, sendo os testes realizados com as 3 faixas etárias já citadas (Muzammil et al., 2007).

Durante as exposições aos fatores de risco os voluntários operavam uma mesa de testes desenvolvida pelo laboratório de ergonomia da *Muslim University*. Tal mesa simulava a carga de trabalho de um funcionário em uma linha de produção, avaliando seu desempenho na execução da tarefa. Durante a operação na mesa foram medidos os níveis de ruído através de um audiosímetro, o ambiente térmico através de conjunto de termômetros e a frequência cardíaca através de um oxímetro de pulso (Muzammil et al., 2007).

O procedimento do experimento consistiu em uma medição de frequência cardíaca 5 minutos antes do início dos testes e imediatamente após a exposição. Os dados ao final dos testes foram tratados estatisticamente.

As metodologias citadas até ao momento evidenciam que os principais estudos usaram simulações dos ambientes de trabalho, sendo utilizados participantes (quase sempre voluntários) que nem sempre estão habituados ao ritmo produtivo de uma empresa. Outro aspecto a ser considerado são os tempos de exposição, os quais não refletem a jornada regular de trabalho de 8 horas.

4.4.3 Principais variáveis dependentes estudadas

Para um melhor entendimento das variáveis dependentes estudadas pelos autores as mesmas foram organizadas e são apresentadas aqui na mesma sequência usada para as suas metodologias.

Manninen (1983a) explica que o estresse térmico provoca a vaso dilatação (conforme mostrado anteriormente). Tal processo aumenta o aporte de oxigênio nas células provocando uma hiperoxigenação celular, que potencializa a oxidação das células nervosas (neurônios) do sistema auditivo. Diante do exposto o autor demonstrou que para tempos de exposição de 45 minutos existem indícios de efeitos combinados entre o ruído, vibrações e o estresse térmico sobre os limiares auditivos.

Num estudo experimental em laboratório envolvendo 38 participantes divididos em 3 experimentos com diferentes níveis de energia, Manninen (1983b) percebeu que as vibrações de corpo inteiro por si só não exercem influência direta sobre a mudança no limiar da audição. Contudo, quando associada ao ruído, o limiar de audição sofre mudança significativa quando comparada à exposição ao ruído de forma isolada.

Manninen & Ekblom (1984) também observaram que as mudanças no limiar da audição e as alterações na frequência cardíaca apresentam interdependência em relação aos fatores avaliados (ruído, vibração, estresse térmico e carga de trabalho). Constataram que a natureza e carga da atividade são decisivas para a manifestação dos efeitos combinados do ruído e da vibração sobre o sistema vascular e os limites de audição.

Nesse contexto, Manninen & Ekblom (1984) chegaram à conclusão que os impactos do ruído e da vibração sobre os limiares de audição foram maiores durante o desenvolvimento de uma atividade leve quando comparado com uma atividade pesada. Tal fenômeno ocorre pela mudança na atividade vascular do ouvido, provocado pelos impactos provocados por essas duas energias sobre a estrutura das paredes dos vasos sanguíneos. Resultados similares já tinham sido encontrados por Yokoyama et al. (1974).

Uma das hipóteses defendidas por Manninen (1984) é que em atividades pesadas o aumento do fluxo sanguíneo, e conseqüentemente o aumento no aporte de glicose e oxigênio, acaba fortalecendo as células do aparelho auditivo reduzindo os impactos sobre os limiares de audição. O mesmo autor também detectou a influência da ação conjunta do ruído e da vibração de corpo inteiro sobre a estabilidade postural. O autor comprova que exposições de curta duração tanto ao ruído quanto a vibração isoladamente afetam a estabilidade da postura, porém quando esses fatores são combinados, os efeitos são estatisticamente mais significativos.

A influência sobre a postura é explicada por Guignard (1960). As vibrações de baixa frequência têm mais facilidade para provocar distúrbios no sistema vestibular, essa facilidade segundo Patil et al. (1980) deve-se ao fenômeno de ressonância que ocorre entre o assento e a cabeça do indivíduo exposto principalmente com as frequências de 5Hz. A relação direta entre o equilíbrio e os limiares de audição se dá pela proximidade entre a cóclea e o sistema vestibular. Tal proximidade, segundo Cohen (1977), permite que a energia da onda sonora seja transferida diretamente para o sistema nervoso central através da estrutura vestibular.

No mesmo estudo, Manninen (1984) demonstra que a carga psíquica provocada pela competição exerce influência direta sobre o aumento nos efeitos sobre o limiar de audição, frequência cardíaca e pressão sanguínea. A variação de temperatura de até 10°C (20° - 30°C), pode provocar alterações no limiar de audição entre 5 e 10 dB nas faixas de 4 a 6 (kHz). Esse fato também foi observado por Rentzsch et al. (1984) quando em seu trabalho demonstraram os efeitos cumulativos do calor (30°C – 40°C) e ruído (80 dB – 90 dB) sobre o limiar de audição, frequência cardíaca e atenção/irritabilidade.

Os resultados demonstraram de forma consistente a redução do tempo de reação do indivíduo, bem como alterações na frequência cardíaca e pressão sanguínea em indivíduos expostos de forma combinada aos fatores de risco físico, como a exposição ao ruído, estresse térmico e vibrações (Manninen, 1985).

Manninen (1986), percebeu também que os efeitos das vibrações ocupacionais sobre a pressão sanguínea, frequência cardíaca e limiares de audição são alterados de forma significativa quando adicionado o ruído na exposição a vibrações de corpo inteiro. Referente aos limiares de audição foi verificado que, quando o ruído e as vibrações estão presentes na mesma exposição, os respectivos impactos são significativamente maiores em relação ao seu efeito isolado.

No experimento também foi identificado que as vibrações provocam uma mudança de 2 a 3 dB(A) nos limiares auditivos durante a ação combinada, o que não ocorre durante a exposição isolada

aos fatores. Os mesmos efeitos também são observados nos aspectos relacionados ao equilíbrio do corpo e sistema circulatório (Manninen, 1986).

Um aspecto relevante foi apontado por Manninen (1986), que indicou que o impacto sobre o sistema circulatório é mais evidente quando os níveis de ruído são menores. O autor verificou que durante a exposição a níveis de 90 dB(A) não foram detectadas mudanças significativas sobre a pressão sanguínea e frequência cardíaca durante a exposição combinada com as vibrações de corpo inteiro.

Manninen (1986), também observou mudanças na atividade cardiovascular durante a exposição combinada ao ruído e vibrações ocupacionais, evidenciando que essas alterações dependem da faixa de frequência da energia incidente, ou seja, existem faixas de frequências mais nocivas que outras, variando de sistema para sistema.

Contemporâneos a Manninen, Seidel et al. (1988) observaram que a influência das vibrações ocupacionais sobre a audição começa a ocorrer após uma aceleração de $0,92\text{m/s}^2$, contudo esse valor pode ser menor dependendo de outros fatores pertinentes à tarefa. Tal consideração surge a partir de outros estudos desenvolvidos a época por Dieroff (1982) e Erickson et al. (1980). Estes autores perceberam que, ao invés de uma linha divisória, os efeitos combinados entre ruído e vibrações surgiram quando estas últimas tiverem uma intensidade entre 1 e 2m/s^2 . A faixa de valores citadas tende a variar de acordo com a temperatura do local, a carga física de trabalho e a carga psíquica da tarefa.

Em estudos anteriores, Seidel et al. (1984) constataram uma alteração de até 11 dB nos limiares de audição para as faixas de frequência de 4 e 6 kHz durante uma exposição combinada ao ruído e vibrações. Também perceberam que 4 em cada 6 pessoas apresentam efeitos adversos durante a combinação diferindo das exposições isoladas a cada fator. Nos indivíduos expostos de forma simultânea a ruído e vibrações, os limiares de audição, na frequência de 10 kHz, sofreram mudanças de 5,2 dB, enquanto que na faixa de 6 kHz sofreram um incremento de 2,5 dB.

Apesar do ruído associado as vibrações provocar impactos significativos sobre a audição, o mesmo não é observado em relação à acuidade visual, onde não foram identificadas alterações significativas quando comparadas as condições de exposição isoladas com as exposições combinadas. Essa circunstância é atribuída ao aumento do fluxo sanguíneo no ouvido interno proveniente da vibração ocupacional. Nessa condição, as células nervosas da visão recebem mais açúcar e oxigênio, fortalecendo sua estrutura e reduzindo os efeitos adversos sobre o sistema.

Em experimentos mais recentes Ljungberg et al. (2004) defendem a hipótese de que a exposição combinada de ruído e vibrações geram efeitos potencializados sobre a memória do ser humano. Porém, após análise dos resultados não foi possível comprovar essa hipótese, tendo em vista que durante os testes os indivíduos não apresentaram diferença significativa entre a exposição combinada e a exposição isolada a cada um dos fatores de risco. Foi observado que os níveis de energia usados nos testes não foram suficientes para provocar os efeitos combinados, o que demonstrou, segundo os autores, a necessidade da realização de novos testes.

Apesar de não atingir a resposta esperada, o experimento realizado possui grande relevância, uma vez que os níveis considerados de vibrações e ruído são semelhantes aos das máquinas e equipamentos encontrados nos ambientes reais de trabalho.

Em relação aos efeitos sobre o desempenho cognitivo, os resultados de Ljungberg et al. (2004) diferiram dos encontrados por Sherwood & Griffin (1990). Estes últimos autores utilizaram parâmetros ambientais, configurações metodológicas e ferramentas cognitivas semelhantes, mas com tempos de exposições maiores e puderam constatar um comprometimento da memória de curto prazo mesmo a níveis de energia mais baixos.

Apesar de Ljungberg et al. (2004) não terem encontrado diferenças significativas, todos os participantes alegaram maior dificuldade para fazer o teste durante a exposição simultânea ao ruído e a vibrações de corpo inteiro. Tal fato, apesar de subjetivo, pode ser levado em consideração no tocante às variáveis cognitivas. Durante a análise dos depoimentos foi percebido que os maiores níveis de exposição foram responsáveis pelo aumento da irritabilidade e estresse dos indivíduos expostos. Os testes também revelaram que quanto maior o nível de estresse da tarefa, maior é a dificuldade para o desenvolvimento da mesma.

Ljungberg et al. (2004) ainda reforçam que, apesar dos níveis de energia para os fatores de riscos terem sido semelhantes aos dos ambientes de trabalho reais, o curto tempo de exposição foi determinante para a não observação das alterações sobre o desempenho da memória dos participantes.

Com o intuito de continuar investigando os efeitos dos fatores de riscos físicos sobre a saúde dos participantes, Ljungberg & Neely (2005), num outro estudo, constataram a ausência de efeitos combinados entre o ruído e as vibrações em seu experimento. Porém, foi detectada uma influência significativa apenas das vibrações ocupacionais sobre o desempenho cognitivo dos participantes, quando estes realizaram tarefas de busca e memória. A exposição também provocou a redução

da capacidade de execução das tarefas de atenção. Todos esses efeitos foram visualizados após a exposição combinada aos dois agentes físicos.

Durante sua pesquisa, Ljungberg & Neely (2005) verificaram o efeito da vibração até 5 minutos após a exposição. Apesar de não ser constatada a diferença significativa entre as condições experimentais (exposições isoladas e combinadas a ruído e vibrações), foi possível concluir que os resultados dos testes de atenção pós-exposição foram inferiores em relação aos aplicados ao grupo de controle (indivíduos que não expostos).

As explicações para a depreciação das faculdades cognitivas estão relacionadas ao fato das vibrações exercerem impacto sobre as terminações nervosas distribuídas ao longo dos músculos e demais sistemas que conduzem a uma eventual fadiga. Cabe salientar que os trabalhadores da indústria florestal e da construção encontram-se expostos ao ruído e a vibrações de forma rotineira, conforme mostrado no seu experimento (Ljungberg & Neely, 2005).

A principal limitação da pesquisa está relacionada, mais uma vez, com o tempo de exposição do experimento, uma vez que em condições reais o tempo de exposição é maior. Esse fato abre espaço para se discutir em quais faixas de tempo de exposição os efeitos dos agentes ocupacionais passam a ser mais visíveis.

Em outro estudo Ljungberg (2007), comparou os efeitos pós-exposição a vibrações e ruído no desempenho de tarefas cognitivas e, mais uma vez, encontrou inconsistência na relação entre a exposição aos fatores de riscos e o desempenho cognitivo dos voluntários. Porém, foi visualizado um efeito de interação durante a exposição combinada, provocando uma redução da velocidade de resposta ao teste quando comparado o resultado pós-exposição com a pré-exposição e em relação também à condição de controle.

A ausência de diferença entre as condições de exposição está relacionada ao tipo de tarefa realizada pelos voluntários, tendo em vista que Ljungberg & Neely (2007) encontraram alterações sobre a precisão das respostas após a exposição aos fatores de riscos ruído e vibrações e aplicando outro tipo de tarefa. Cabe salientar que durante as simulações os participantes assistiam a um vídeo de um veículo se deslocando em uma estrada. A passividade na tarefa pode gerar fadiga, cujo efeitos foram identificados imediatamente após a exposição (Ljungberg, 2007).

Os estudos de Ljungberg & Neely (2007) demonstraram que a exposição a vibrações durante a realização de uma tarefa mental mais exigente produz um efeito de limitação dos recursos cognitivos imediatamente após o término da exposição. Tal resultado pode estar relacionado ao chamado *Motion After Effect* (MAE), estudado por Barlow & Hill, (1963), em que as mudanças

bruscas de atividades visuais provocam alterações de foco na retina corroborando com o aumento da fadiga. Esse efeito ocorre quando o participante muda o foco da visualização do vídeo para a tela do teste de forma brusca.

Outro aspecto que impacta nos resultados do experimento é o tempo de exposição e a quantidade das amostras. Segundo Ljungberg (2007) esses dois elementos poderiam ter aumentado a precisão dos testes. Tais elementos explicam o fato do experimento não conseguir demonstrar a influência das vibrações sobre o desempenho de tarefas cognitivas, tanto em exposições isoladas quanto em exposições combinadas com o ruído.

Foi também observado que a carga mental da tarefa influencia na identificação dos efeitos cognitivos, ou seja, atividades cuja exigência mental seja maior permitem uma melhor visualização da influência das vibrações sobre o desgaste cognitivo pós-exposição, em relação a atividades mais leves (Ljungberg & Neely, 2007).

Mais uma vez é constatado que a classificação subjetiva é mais sensível para medições dos efeitos combinados de ruído e vibrações do que os testes de desempenho cognitivo. Porém, sua aplicação é restrita a exposição em si, não podendo refletir mudanças mais concretas durante a pós-exposição (Ljungberg, 2007). Contudo, dados subjetivos podem ser utilizados como indicadores de outros sintomas, tal como a dor (Zhang et al. 1996). Nestes casos, assume-se que a dor pode aumentar a irritabilidade na execução da tarefa.

Em estudos mais recentes Muzammil et al. (2007) analisaram os efeitos do ruído e do estresse térmico sobre a saúde de pessoas com idades compreendidas entre os 20 e os 35 anos, sem experiência com a indústria. Os resultados dos experimentos demonstraram que o ruído, por si só, não exerce influência significativa no desempenho de tarefas industriais. Contudo, os dados coletados revelaram um incremento na frequência cardíaca à medida em que os níveis energia do experimento aumentaram. Esse resultado está em consonância com os obtidos por Sanders & McCormik (1992), que defendem a tese de que o ruído provoca mudanças na frequência cardíaca durante a execução de tarefas consideradas moderadas do ponto de vista do metabolismo.

Muzammil et al. (2007) também identificaram que a perda auditiva ocupacional é diretamente proporcional ao tempo de exposição. Nesse contexto, apesar de seus resultados não terem apresentado diferenças significativas foi possível verificar indícios de influência do fator de risco ruído sobre o desempenho da tarefa, corroborando para necessidade de experimentos com tempos de duração maiores. O ruído em si, comprovadamente, torna a execução da tarefa mais desconfortável provocando a redução de rendimento do operador.

Estudando apenas a exposição isolada ao estresse térmico, Muzammil et al. (2007) perceberam a existência de uma influência significativa sobre a frequência cardíaca. Tais resultados estão de acordo com os estudos desenvolvidos por Gomes et al. (2002), demonstrando o aumento da incidência de câibras musculares e irritação nos olhos provocado pelo estresse térmico. Muzammil et al. (2007) constataram também a relação entre o aumento do ritmo cardíaco com o tempo de exposição ao ambiente térmico estressante. Resultados semelhantes foram encontrados por Malcolm et al. (2000), Grandjean (1980) e McLellan (2001).

A combinação entre ruído e estresse térmico não demonstrou ter efeitos significativos no desempenho da tarefa industrial. As pesquisas de Hancock & Pierce (1985) e Pellerin & Candas (2003) dão suporte a essa resposta, tendo em vista que os seus experimentos, com metodologia similar, também não encontraram respostas significativas.

Muzammil et al. (2007) também perceberam que os participantes com idade média de 32 anos apresentaram alterações maiores na frequência cardíaca em relação aos indivíduos com idade média de 22 anos. Nesse contexto, consideraram que a idade dos participantes seria um fator que deve ser levado em consideração durante a avaliação dos efeitos dos fatores de risco sobre a frequência cardíaca. A indicação desta possível interferência (fator idade) abre precedente para que a mesma seja também analisada em relação a outros tipos de respostas fisiológicas.

Em linhas gerais, Muzammil et al. (2007) explicam que para exposições ao estresse térmico, a duração de tal exposição é determinante para o surgimento dos efeitos sobre a performance humana. O ruído provoca mudanças no desempenho de tarefas, mas essa diferença não é significativa. O autor reforça que essa resposta pode estar relacionada com o tempo do experimento, o qual foi insuficiente para visualizar a interferência do ruído sobre a tarefa.

Muzammil et al. (2007) também concluíram que a idade exerce influência significativa na performance da tarefa durante a exposição ao estresse térmico. Não foram encontradas alterações significativas durante a exposição combinada ao ruído e ao estresse térmico em relação as exposições isoladas para um período de 10 minutos de exposição.

Diante do exposto, é possível verificar a existência de estudos que constataram os efeitos combinados dos fatores de riscos físicos e autores que detectaram a interferência dos agentes (tabela 9), mas que, pelo menos do ponto de vista estatístico, não tiveram subsídio para comprovar suas teses. Nesse contexto, o próximo item visa explicar e resumir alguns dos aspectos que não foram considerados pelos estudos apresentados anteriormente.

Tabela 9 - Resumo das variáveis dependentes estudadas.

Autor(es)	Ano	Variáveis dependentes estudadas
Manninen	1983	Para tempos de exposição de 45 minutos existem indícios de efeitos combinados entre o ruído, vibrações e o estresse térmico sobre os limiares auditivos.
Manninen	1983b	Vibrações de corpo inteiro por si só não exercem influência direta sobre a mudança no limiar da audição. Porém, quando associada ao ruído o limiar de audição sofre mudança, quando comparado a exposição ao ruído de forma isolada.
Manninen & Ekblom	1984	Constatarem que a natureza e carga da atividade são decisivas para a manifestação dos efeitos combinados do ruído e da vibração sobre o sistema vascular e os limites de audição.
Manninen	1984	Detectou a influência da ação conjunta do ruído e das vibrações de corpo inteiro sobre a estabilidade postural. Exposições de curta duração tanto a ruído quanto a vibrações isoladamente afetam a estabilidade da postura, porém quando esses fatores são combinados, os efeitos são maiores.
Manninen	1985	Demonstrou a redução do tempo de reação, bem como alterações na frequência cardíaca e pressão sanguínea em indivíduos expostos de forma combinada aos fatores de risco físico, como a exposição ao ruído, calor e vibrações.
Manninen	1986	Os efeitos das vibrações ocupacionais sobre a pressão sanguínea, frequência cardíaca e limiares de audição são alterados de forma significativa quando adicionado o ruído na exposição a vibrações de corpo inteiro.
Seidel et al.	1984	Constatarem uma alteração de até 11 dB nos limiares de audição para as faixas de frequência de 4 e 6 kHz durante uma exposição combinada ao ruído e vibrações.
Seidel et al.	1988	A influência das vibrações ocupacionais sobre a audição começa a ocorrer após uma dose de 0,92m/s ⁴ , contudo esse valor pode ser menor dependendo de outros fatores pertinentes à tarefa com a temperatura do local, a carga física de trabalho e a carga psíquica da tarefa
Ljungberg et al.	2004	Em curtos períodos, a exposição combinada a vibrações de corpo inteiro e ruído não afetam a memória.
Ljungberg & Neely	2005	Detectaram a influência significativa apenas das vibrações ocupacionais sobre o desempenho cognitivo dos participantes, durante tarefas de busca e memória.
Ljungberg & Neely	2007	A exposição a vibrações durante a realização de uma tarefa mental mais exigente, produz um efeito de limitação dos recursos cognitivos imediatamente após o término da exposição.
Ljungberg	2007	A classificação subjetiva da irritabilidade dada pelos participantes é mais sensível para medições dos efeitos combinados de ruído e vibrações do que os testes de desempenho cognitivo.
Muzammil et al.	2007	A combinação entre ruído e estresse térmico não demonstrou efeitos significativos no desempenho da tarefa industrial.

4.5 Aspectos não explorados

Analisando os artigos escolhidos, é possível constatar que os mesmos foram desenvolvidos em condições simuladas, ou seja, em câmaras laboratoriais que simulam exposições ocupacionais com valores controlados e constantes. Na revisão da literatura não foram encontrados estudos realizados em ambientes ocupacionais reais, cujas variáveis oscilam em faixas de valores.

Outro aspecto relevante são as características dos participantes. Nos estudos selecionados foram consideradas pessoas frequentadoras do ambiente universitário. Segundo Bonlokke et al. (2013) ao realizar experimentos com trabalhadores agrícolas percebeu, após exposições sucessivas ao ambiente de trabalho, que os organismos se adaptavam ao meio. Os resultados foram observados a partir de coletas de sangue e identificação de proteínas relacionadas ao sistema imunológico.

Dessa forma, quanto mais adaptados às condições ambientais em que estão expostos, os indivíduos são menos sensíveis às suas variações. Nesse contexto, o estudo em trabalhadores (condicionados ao ambiente), apresentam características que podem influenciar as respostas fisiológicas. Ou seja, os experimentos realizados em trabalhadores condicionados ao ambiente podem ser diferentes dos encontrados em ambientes simulados.

Outro fator importante é o tempo de exposição considerado. Conforme evidenciado pelos estudos de Ljungberg (2004 e 2007), o tempo de exposição é decisivo para o surgimento dos efeitos sobre o organismo. Nesse contexto, a tendência é que estudos aplicados a ambientes de trabalhos reais apresentem resultados diferenciados de condições simuladas, uma vez que os tempos normais de trabalho são jornadas de 8 horas e os tempos simulados são sempre menores que esta duração.

4.6 Principais exames clínicos e biomédicos

Analisando os principais estudos é possível verificar que Manninen (1983a), para avaliar as alterações dos limiares de audição, realizou exames audiométricos duas vezes em cada indivíduo durante o período de pré-exposição, 3 vezes durante a exposição e 1 vez no período de recuperação após finalizados testes.

No segundo estudo de Manninen (1983b) avaliou a estabilidade corporal, a qual foi medida através de uma plataforma de medição capaz de processar a variação do centro de massa do indivíduo através da pressão gerada pelos pés sobre o piso. A plataforma convertia o peso do corpo em um

sinal elétrico e avaliava a variação da pressão dos pés através de células de carga ligada a microprocessadores.

Em outro estudo, Manninen (1984) outros fatores foram explorados, tais como a determinação da amplitude da onda R e a variável cardiológica. Para análise da curva de amplitude R, foram realizados testes com eletrocardiograma – ECG. O exame de ECG tem duração de 30 segundos e foi aplicado 10 segundos após a exposição, 6 vezes durante cada teste: duas vezes durante o período de controle, 3 vezes durante a exposição e uma vez durante a período de recuperação.

Em outro estudo, Manninen & Ekblom (1984) também avaliaram as alterações sobre os limiares de audição e a frequência cardíaca monitorada durante o experimento através do ECG. Os testes foram realizados 10 segundos após o período de pré-exposição e após a exposição. O tempo do teste era de 30 segundos, sendo calculada a frequência cardíaca de forma indireta.

Em outro estudo, Manninen (1985) avaliou o tempo de reação dos voluntários através de uma tarefa simples de acionar um botão com o dedo indicador da mão direita quando a luz em um painel acender. A diferença entre o estímulo e o comando era calculado através do teste. Outra variável estudada foram as mudanças nos limiares de audição. Similar ao estudo de 1983 e 1984 também foram estudadas as mudanças na amplitude da onda R e na frequência cardíaca. Uma nova variável avaliada foi a pressão sanguínea avaliada através de um tensiômetro. Os dados foram coletados 40 segundos após o período de pré-exposição, durante a exposição e após a exposição. Para o monitoramento contínuo da pressão sanguínea foram instalados transdutores próximos à artéria braquial posicionada embaixo de braço.

Além das variáveis já estudadas, Manninen (1986) avaliou em seu experimento o índice hemodinâmico – HDI. Esse índice está baseado em um cálculo desenvolvido por Robinson (1967) que relaciona a atividade cardiovascular e o seu consumo de oxigênio.

Além dos parâmetros estudados por Manninen (1983a, 1983b, 1984, 1985 e 1986), Seidel et al. (1988) também avaliaram as alterações nos limiares de audição e a acuidade visual (AV), a qual foi determinada medindo-se a distância máxima de uma visão clara dos contornos dos quadrados pretos e brancos, dispostos em um padrão parecido com um tabuleiro de um xadrez, cujo lado de 1 mm com uma área total de 1 cm². A imagem do teste foi localizada em uma tela branca (5 cm x 10 cm) colocada verticalmente ao eixo visual do sujeito examinado. Quanto maior a distância entre a tela com a imagem de teste e os olhos do indivíduo, melhor a acuidade visual. O nível de tônus muscular dos voluntários também foi avaliado por Seidel et al. (1988), através de um dinamômetro. Os voluntários pressionavam o equipamento 3 vezes em cada teste, sendo

avaliado a perda de força nos períodos de pré-exposição, exposição e pós-exposição. Também foi avaliada a sensação de bem-estar através da aplicação de questionários antes e depois dos testes. Em estudos mais recentes, Ljungberg et al. (2004) estudaram o impacto dos fatores de riscos físicos sobre o desempenho de tarefas cognitivas, aplicando o paradigma de Sternberg para medir o desempenho de memória de curto prazo. A tarefa envolveu a observação de 2, 4 ou 6 letras que foram apresentadas em uma linha centrada em uma tela de computador durante 1, 2 ou 3 s, respectivamente. Após uma pausa de 1 segundo, uma carta teste contendo uma letra aleatória foi mostrada. A tarefa do participante era indicar com a maior rapidez e precisão possível se a letra apresentada estava nas outras letras. As respostas eram emitidas com dois botões de acionamento, sendo um para cada mão, um marcado SIM e o outro NÃO.

As classificações de aborrecimento e de dificuldade para execução da tarefa foram coletadas através de uma escala de classificação nomeada por Borg de CR-10 (Borg, 1998). O CR-10 consiste em uma escala numérica logarítmica aproximada com âncoras verbais. A escala varia de 0 (nada) a 10 (extremamente forte) com " máximo absoluto " localizado fora da escala numérica, a fim de evitar efeitos de teto. Ao usar a escala, os participantes eram solicitados a localizar primeiro a expressão verbal que melhor descreve sua experiência e, em seguida, a ajustar sua resposta usando a escala de números (Ljungberg et al. 2004).

Em outro estudo Ljungberg & Neely (2005), avaliaram os efeitos do ruído e da vibração sobre o desempenho da atenção, através da tarefa de busca e memória (SAM). Os participantes foram apresentados com uma folha de testes com filas de letras alinhadas em ordem aleatória. No início de cada linha havia cinco letras-alvo. A tarefa consistia em memorizar as letras e depois procurá-las entre as seguintes linhas de 59 letras. A precisão e o número de letras completadas (velocidade) foram medidos como variáveis dependentes. Para evitar efeitos de aprendizagem, foram utilizadas diferentes versões do teste para cada condição. A tarefa foi escolhida devido ao seu alto caráter de carga de memória e aos pequenos efeitos de aprendizado (Smith & Miles, 1987).

Outros estudos desenvolvidos por Ljungberg em 2007 utilizaram os mesmos métodos de 2004 e 2005 para coleta dos efeitos do ruído e das vibrações sobre o desempenho cognitivo e sobre a irritabilidade dos voluntários durante os testes.

Em estudos mais recentes, Muzammil et al. (2007) avaliaram os efeitos do calor e do ruído sobre a frequência cardíaca dos voluntários com uso de um oxímetro, com medições antes e depois da exposição, sendo contabilizada a diferença entre os valores iniciais e finais.

4.7 Considerações finais

Nos últimos 40 anos, em diferentes partes do mundo, foram realizados experimentos em condições laboratoriais, visando a busca do conhecimento voltado para esses efeitos. Todos os pesquisadores citados anteriormente, demonstrando a existência, em maior ou menor grau, dos fatores de risco físico sobre os diversos aspectos do funcionamento do organismo. Por se tratarem de condições simuladas, nos vários estudos as respostas obtidas são restritas às condições impostas pelos ensaios. A limitação do tempo de exposição, a utilização de pessoas do ambiente universitário são exemplos de limitantes dos experimentos, as quais tem um potencial efeito direto sobre os resultados das pesquisas.

Estudantes universitários não possuem o mesmo metabolismo de trabalhadores adaptados as condições ambientais de trabalho. Organismos acostumados com o ambiente industrial, tendem a apresentar menor intensidade nas suas respostas fisiológicas. Essa capacidade de adaptação ou autorregulação já foi detalhada ao longo deste capítulo. Nesse contexto, o desenvolvimento de estudos com trabalhadores exercendo suas tarefas rotineiras seriam os novos passos do aprofundamento deste tema.

Experimentos em câmaras de simulação possuem restrições no tocante aos tempos de exposição. As limitações de tempo, geralmente estão relacionadas à impossibilidade de expor voluntários por longas horas a fatores ambientais potencialmente causadores de danos à saúde. Também podem ser apontadas algumas limitações relativas ao método de observação. Testes de curta duração permitem ampliar o número de observações de um mesmo fenômeno dentro de uma escala diária ou semanal. O aumento no número de amostras viabiliza os tratamentos estatísticos necessários para observação da influência dos fatores de riscos físicos sobre a saúde humana.

Os tempos de exposição em condições reais de trabalho são superiores em relação aos desenvolvidos em câmaras experimentais. Enquanto nas câmaras são encontradas as limitações citadas, nos ambientes de trabalho os colaboradores de uma indústria podem estar expostos aos fatores de riscos físicos em períodos equivalentes às suas jornadas de trabalho. No Brasil as jornadas podem variar de 6 a 12 horas, quando em regimes de escalas. Nesse contexto, os operários de uma fábrica qualquer, além de possuírem organismos relativamente adaptados, ainda possuem jornadas de exposição superiores aos encontrados na literatura.

Os ambientes de trabalhos reais possuem um alto potencial para o desenvolvimento de experimentos seguindo os moldes dos realizados em condições controladas. Para a realização de tais estudos é necessário entender os limitantes envolvidos nos ambientes reais. A oscilação em

faixas das variáveis ambientais é um dos aspectos relevantes para a pesquisa assim como a exposição simultânea aos fatores de risco físico, sendo necessário a medição dos mesmo durante a realização dos testes. Outro aspecto importante a destacar é o emprego sistemático da coleta das variáveis dependentes ao longo da jornada, permitindo a análise dos efeitos com o acúmulo das horas.

Nesse contexto, os avanços na construção de metodologias que permitam a realização de experimentos em ambientes reais de trabalho são fundamentais para o progresso nas observações dos efeitos da exposição simultânea e combinada a fatores de risco físico sobre o organismo do trabalhador.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

PARTE II

DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

Capítulo 5. Metodologia

5.1 Nota introdutória

A estratégia para o desenvolvimento da dissertação foi dividida em três fases principais, nomeadamente: (i) Revisão de literatura, (ii) Estudo de campo, (iii) Tratamento estatístico, análise dos dados.

Na revisão de literatura foram investigadas nas principais bases de dados científicas, pesquisas que abordassem os efeitos combinados dos fatores de risco físico sobre a saúde humana, bem como os métodos utilizados. Em seguida, foi estruturada a metodologia para recolha dos dados de campo, baseado nas informações obtidas a partir da análise da literatura. Após essa fase, foram realizadas as recolhas de campo com duração de 6 meses, onde foram realizadas 50 avaliações ocupacionais em operadores de máquinas da construção civil. Com isso, foi realizado o tratamento estatístico dos dados e a interpretação dos resultados obtidos. Para um melhor entendimento, cada fase será explicada separadamente.

5.2 Revisão de literatura

Para o aprofundamento da dissertação e determinação da metodologia de trabalho foi realizada a revisão de literatura com o objetivo de identificar métodos utilizados para se avaliar as respostas fisiológicas dos indivíduos quando expostos aos agentes ambientais de forma simultânea.

Os artigos foram pesquisados em bases de dados internacionais, nomeadamente: *“Academic Search Complete”*; *“AGRICOLA Articles”*; *“CiteSeerX”*; *“Compendex”*; *“ERIC”*; *“Energy Citations Database”*; *“Library, Information Science & Technology Abstracts (LISTA)”*; *“MEDLINE”*; *“PsycCRITIQUES”*; *“PubMed”*; *“SCOPUS”*; *“Web of Science”*; *“ASME”*; *“BioMed Central Journals”*; *“Cambridge Journals Online”*; *“Directory of Open Access Journals”*; *“HighWire Press”*; *“IEEE Xplore”*; *“Taylor and Francis”*; *“Ingenta”*; *“IOPscience”*; *“nature.com”*; *“Oxford Journals”*; *“Royal Society of Chemistry”*; *“SAGE”*; *“SciELO”*; *“ScienceDirect”*; *“SpringerLink”*; *“Wiley Online Library”*. Foram pesquisados artigos que tratassem da sinergia entre os fatores de risco físico, e do efeito combinado desses fatores sobre a frequência cardíaca e o desempenho cognitivo de trabalhadores. Para tanto, as palavras-chave escolhidas foram: “Riscos Ocupacionais”, “Vibrações Ocupacionais”, “Ruído”, “Estresse Térmico”, “Efeitos Sinérgicos”, “Efeitos combinados”, “Operação de Máquinas”, “Atenção Seletiva”, “Frequência Cardíaca”. Estas palavras-chave foram

pesquisadas combinadas em pares e no idioma inglês, buscadas nos resumos, nos títulos e nas palavras-chave. Em seguida, os artigos foram organizados em uma tabela com as seguintes informações: autor, ano, título do artigo, país de origem do trabalho, fonte da publicação, resumo do artigo, objetivo, metodologia e setor da economia. No total foram reunidos 1664 artigos.

Após a organização dos artigos, as entradas duplicadas foram removidas, num total de 640 artigos repetidos, restando 1024 trabalhos. Em seguida, os títulos foram lidos, e os artigos que não apresentavam relação com o tema foram excluídos, restando 530 artigos de textos completos avaliados para elegibilidade.

Após essa etapa, foram excluídos 485 artigos publicados antes de 2004. As entradas com mais de 10 anos em relação ao período das buscas (2014-2016) foram excluídas, com a finalidade de estudar pesquisas recentes, com informações e metodologias atuais. Posteriormente, foram retirados 20 artigos, em que não foi identificado o ano de publicação da pesquisa. Após esses filtros restaram 25 trabalhos.

Dos 25 artigos, sete artigos foram retirados, cujos resumos não tratavam sobre efeitos combinados ou sinérgicos dos fatores de riscos sobre a saúde humana. Após a análise dos resumos, foram avaliadas as metodologias aplicadas nas pesquisas. Dos 18 artigos restantes, foram retirados 14 artigos por não apresentarem explicações sobre as características dos participantes, ou do método de coleta de dados, ou da estrutura do experimento realizado ou dos tratamentos estatísticos utilizados. Tendo em vista, a elaboração de uma estrutura experimental com viabilidade para aplicação em locais de trabalho, após a aplicação dos filtros restaram quatro artigos.

Subsequentemente, as referências dos quatro artigos restantes foram analisadas, sendo encontrados 11 artigos, com dados relevantes, bem como estruturas experimentais e tratamentos estatísticos importantes para a pesquisa em questão. A figura 21 apresenta em resumo, o processo de seleção dos artigos em todas as suas fases.

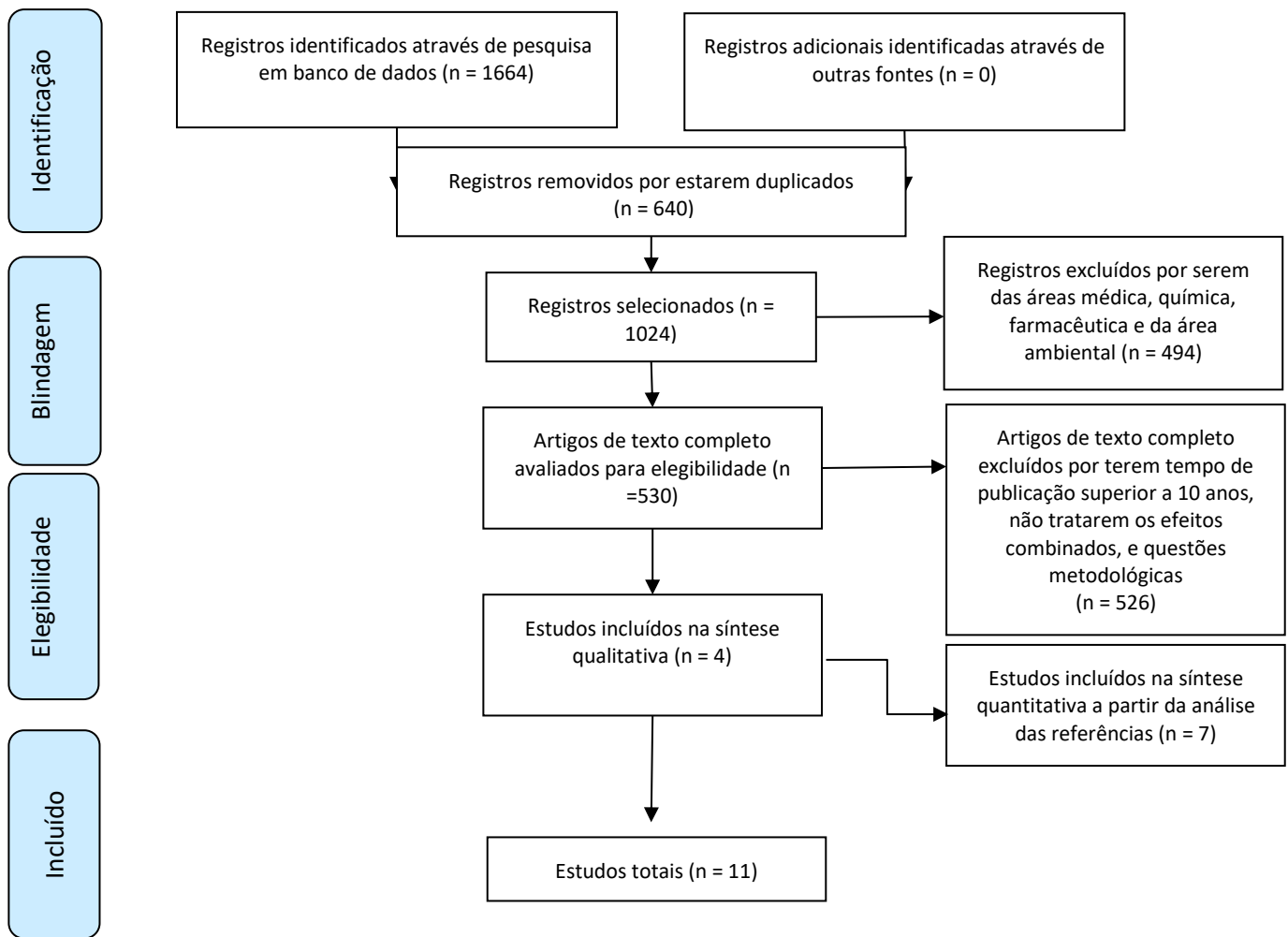


Figura 21 – Metodologia para seleção dos artigos durante a revisão de literatura.

Por meio da revisão de literatura desses 11 artigos, foram selecionadas as seguintes variáveis a serem levadas em consideração como variáveis independentes para a análise da ação combinada sobre a saúde dos trabalhadores:

Nível de pressão sonora – quanto maiores os níveis de pressão sonora, maiores serão os efeitos sobre as respostas fisiológicas.

Nível de aceleração - Quanto maiores os níveis de aceleração das vibrações, maiores serão os efeitos sobre os aspectos cognitivos, vasculares e musculares.

Nível de WBGT – Quanto maiores os níveis de WBGT, maiores serão os efeitos nos aspectos cognitivos, musculares e vasculares. Considerando que as vestes dos trabalhadores são leves. E a atividade com as máquinas ocorrem em cabines sem carga solar e baixa ventilação.

Também foram escolhidas as seguintes variáveis dependentes:

Tempo de resposta – Por meio da realização de testes de atenção é possível medir o tempo de resposta de cada indivíduo durante as tarefas. Ao longo da exposição existe a tendência de redução no rendimento.

Frequência cardíaca – Ao longo da exposição, a frequência cardíaca sofre alterações pela influência do estresse térmico, ruído e vibrações, além de outros aspectos fisiológicos.

As variáveis pesquisadas e os efeitos investigados encontram-se organizados na tabela 10.

Tabela 10 – Relação das variáveis pesquisadas e dos efeitos estudados.

Variáveis	Efeitos estudados	
	Tempo Médio de Resposta (TMR)	Frequência Cardíaca (FC)
Nível de Pressão Sonora	Elevados níveis de ruído afetam a concentração dos indivíduos em testes de atenção.	Elevados níveis de ruído provocam aumento da FC.
Nível de Vibração	A vibração de corpo inteiro potencializa a ação do ruído sobre o desempenho cognitivo.	Elevados níveis de vibrações de corpo inteiro provocam aumento da FC.
Níveis de Estresse Térmico	Contribui para redução do desempenho cognitivo.	Elevados níveis de estresse térmico provocam aumento da FC.

As variáveis independentes (ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro) foram coletadas em campo, por meio de metodologia normatizada e equipamentos específicos para obtenção desses dados durante a jornada real de trabalho. As variáveis dependentes (tempo médio de resposta e frequência cardíaca) também foram coletadas em campo, por meio de equipamentos portáteis que permitem a obtenção desses dados durante a jornada de trabalho, sem comprometer o fluxo normal do processo.

5.3 Estudo de campo

A segunda etapa do trabalho consistiu na definição da metodologia, realização do experimento de campo e registros dos dados. Foi realizada a medição das três variáveis independentes selecionadas para avaliar a exposição ocupacional de 50 operadores de equipamentos da construção civil durante a jornada integral de trabalho, e o monitoramento da frequência cardíaca e desempenho cognitivo no decorrer do dia de trabalho. A recolha dos dados de campo ocorreu com autorização prévia das empresas e trabalhadores avaliados. E teve uma duração de 6 meses conforme apresentado na faixa cronológica na figura 22.

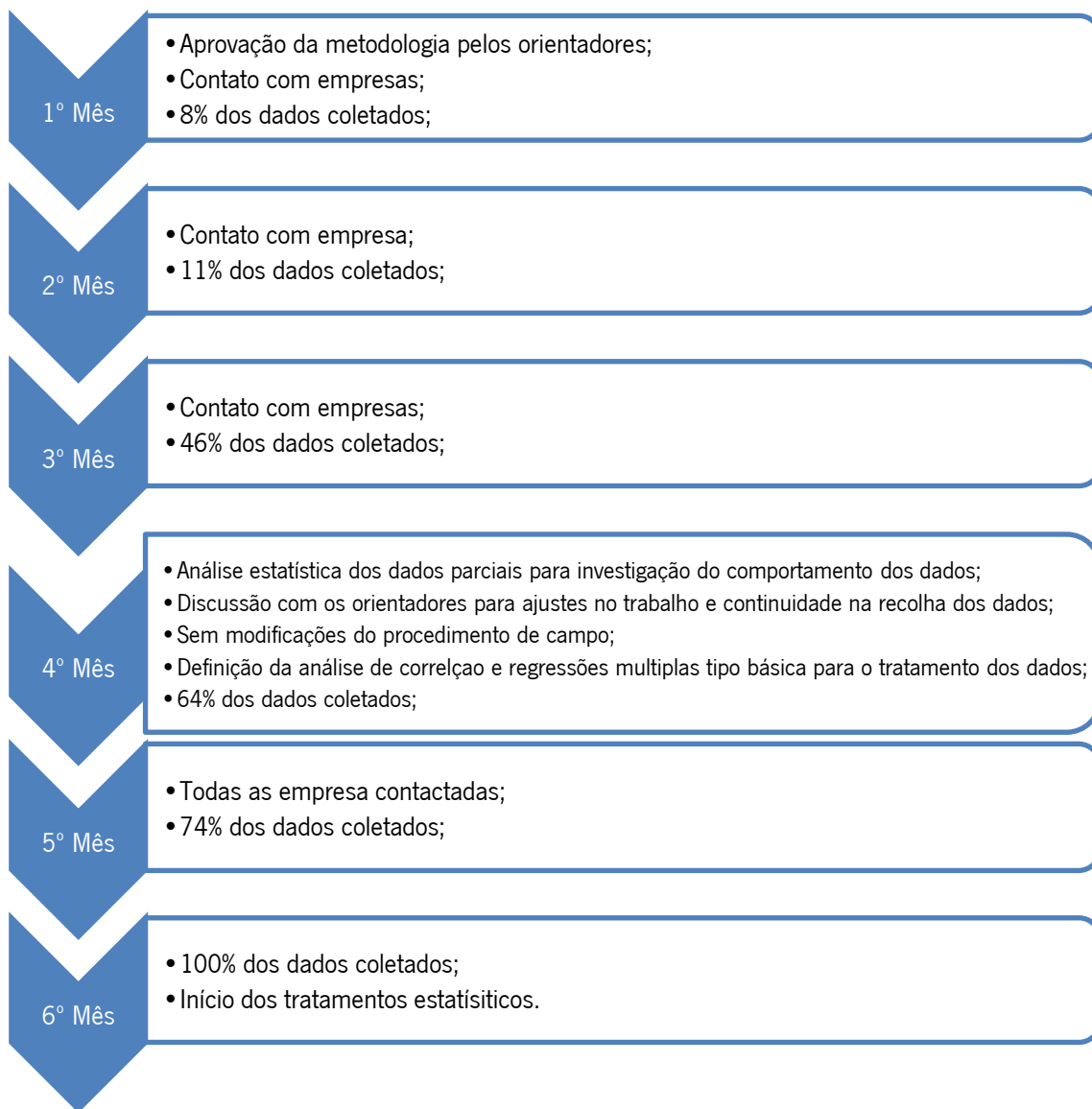


Figura 22 - Fluxo cronológico da recolha dos dados de campo.

5.3.1 Definição da amostra

A amostra foi constituída por 50 operadores de máquinas da indústria da construção civil. Os participantes possuíam faixa etária variando entre 22 e 62 anos, peso corporal variando entre 53 e 120 kg e tempo de experiência na função variando entre 2 e 35 anos. As variações relacionadas a hábitos como fumar, ou ingerir medicações foram admitidas como desvio padrão. O quantitativo da amostra foi definido a partir do cálculo médio da quantidade de voluntários utilizados pelos pesquisadores anteriores na realização dos seus experimentos. O critério de escolha dos operadores de máquinas foi baseado na disponibilidade do trabalhador para a realização do monitoramento e na disponibilidade da empresa em permitir a parada da máquina para a

realização dos testes de atenção e aferição da frequência cardíaca dos seus operadores. O requisito para a realização do teste de atenção foi que o funcionário não fosse daltônico e não tivesse problemas em ler e identificar as cores durante o teste.

5.3.2 Estrutura da recolha de dados

A metodologia para recolha de dados tomou como base estudos anteriormente publicados, sendo representada na figura 23.

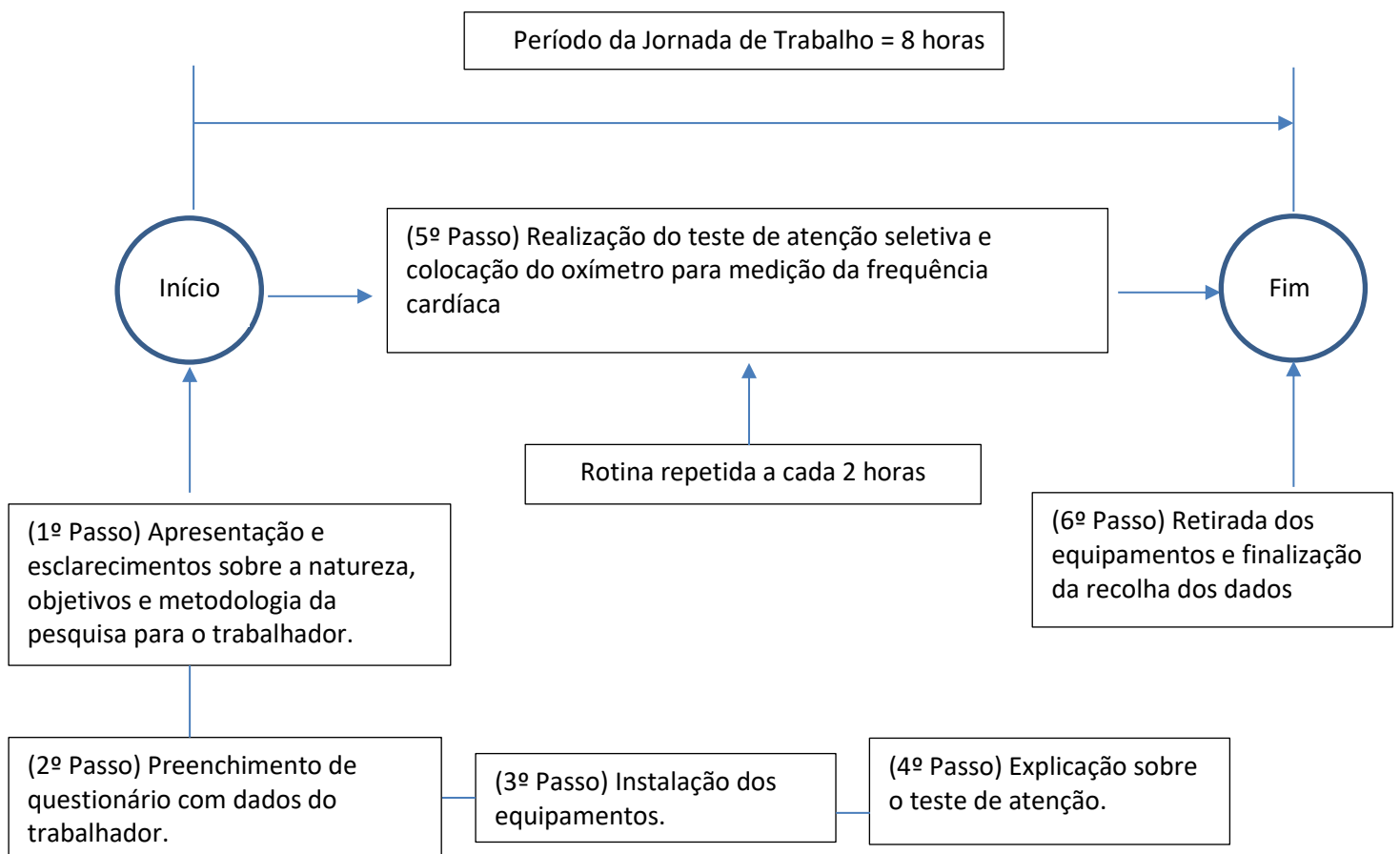


Figura 23 - Metodologia para recolha dos dados

Conforme mostrado no fluxo da figura 23, a metodologia inicia com esclarecimentos ao trabalhador, no início da jornada de trabalho, sobre a natureza, os objetivos e a metodologia da pesquisa, em linguagem clara e objetiva. Simultaneamente, houve o preenchimento de um questionário com dados dos trabalhadores, por meio de entrevista.

Posteriormente, o equipamento de medição de ruído foi instalado no trabalhador, enquanto o medidor de vibrações foi instalado no assento do operador e o conjunto de termômetros foi instalado na cabine da máquina.

Posteriormente, houve explicação e demonstração do teste de atenção para o trabalhador, para fins de esclarecimentos. E por fim, aplicação do teste de atenção, junto a colocação do oxímetro no dedo do trabalhador, com a finalidade de medir a frequência cardíaca.

5.3.3 Recolha dos dados

A recolha dos dados consistiu no registo das variáveis independentes (fatores de risco físico), realizado por meio de medições ocupacionais. E no registo das variáveis dependentes (respostas fisiológicas) por meio de monitoramento da frequência cardíaca e aplicação de testes de atenção conforme descritos em seguida.

5.3.3.1 Variáveis independentes

Para medição do ruído foi empregada a metodologia proposta pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 1998). Foi instalado um audiodosímetro modelo: The Edge5 – Quest/3M, devidamente calibrado, na zona auditiva do operador (figura 24). O equipamento utilizado estava em conformidade com as diretrizes internacionais, nomeadamente com as normas ANSI S-1.25 (1991) – *Specification for personalnoisedosimeters*; ANSI-S1.4 (1983) – *Specification for soundlevelmeters*; ANSI-S1.40 (1984) – *Specification for acousticalcalibrators*; IEC 804 (1985) – *Integrating – averegingsoundlevelmeters* e IEC 651 (1993) – *Soundlevelmeters*.



Figura 24 - Audiodosímetro na zona auditiva do operador (reproduzido de base de imagens do NSHT, 2017).

Para a avaliação da exposição a vibrações de corpo inteiro foram seguidas as orientações prescritas na norma ISO 2631/1997 – *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements* e na norma ISO 8041/2005 – *Human response to vibration – Measuring instrumentation*. Foi utilizado um acelerômetro modelo: HAVpro – Quest/3M, devidamente calibrado, instalado no assento do operador (figura 25).



Figura 25 - Medidor de vibrações de corpo inteiro HAVpro (reproduzido de base de imagens do NSHT, 2017).

Para a avaliação do estresse térmico, foram seguidas as metodologias previstas pelas normas ISO 7243/1989 – *Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT – index (wet, bulb globe temperature)*, ISO 7726/1985 – *Thermal environments – Instruments and methods of measuring physical quantities*, ISO 8996/1990 – *Ergonomics – Determination of metabolic heat production* e NIOSH – *Crítéria of recommended standard – Occupational exposure to hot environments – revised crítéria*. Foi utilizado um conjunto de termômetros modelo: Quest Temp 34, devidamente calibrado, (figura 26) nas proximidades do posto de trabalho.



Figura 26 – Conjunto de termômetros utilizado (reproduzido da base de imagens do NSHT 2017).

5.3.3.2 Variáveis dependentes

Para o teste de atenção seletiva ou teste Stroop, aplicado para obter o tempo de resposta cognitiva do trabalhador, utilizou-se um aplicativo para dispositivos móveis (figura 28). Primeiramente, foi realizado um pré-teste, para que os participantes se familiarizassem com a ferramenta, e em seguida os testes foram realizados conforme a rotina apresentada na figura 27. A recolha dos dados de frequência cardíaca e tempo médio de resposta se deu em ciclos de repetição a cada 2 horas durante a jornada de trabalho. A mesma foi dividida em 6 períodos, sendo eles: início, 1º intervalo, almoço, retorno, 2º intervalo e final, caracterizando 6 períodos de recolha e dados.

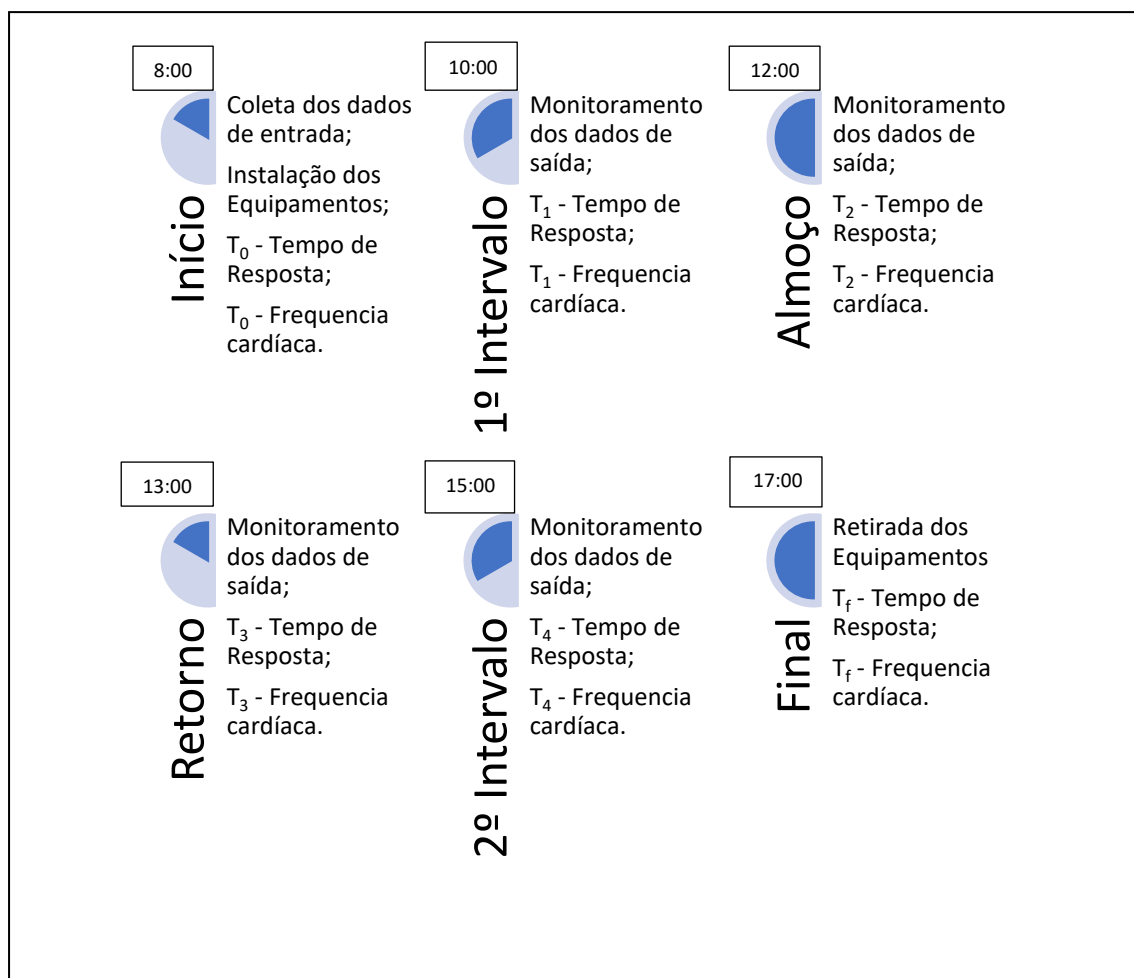


Figura 27 - Diagrama dos métodos de recolha de dados ao longo tempo.

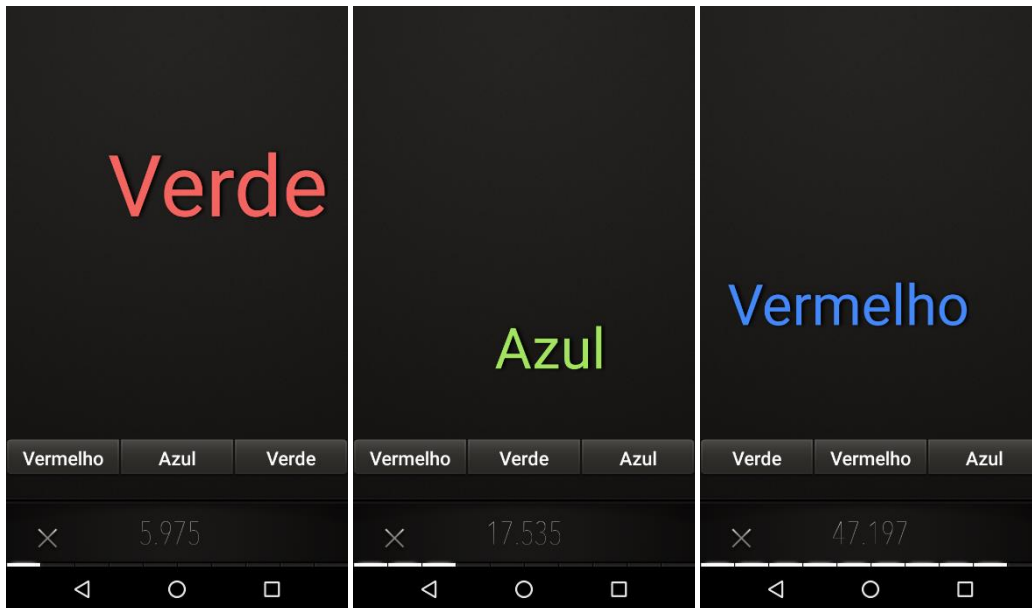


Figura 28 - Display do teste *Stroop* utilizado.

Para a medição da frequência cardíaca foi utilizado um oxímetro modelo: CMS50DL - CONTEC) (figura 29), instalado no dedo indicador do operador. As medições foram realizadas conforme a rotina apresentada na figura 27.



Figura 29 – Oxímetro utilizado (reproduzido de <http://oxigeniomedicinalof.com.br>, 2017).

5.4 Tratamento estatístico e análise dos dados

A análise estatística das informações foi realizada através do software MS EXCEL. As variáveis independentes e dependentes foram analisadas de forma descritiva, posteriormente foi realizada análise de correlação entre as variáveis em separado. Em seguida, foi realizada a análise

combinada das variáveis independentes, em relação a cada uma das variáveis dependentes por meio das regressões lineares múltiplas. Por fim, foram simuladas condições de exposição aos múltiplos fatores risco físico e análise das variáveis dependentes projetadas. A figura 30 apresenta a primeira parte do formulário de recolha dos dados.

Nº da Amostra:	Nome:
Idade:	Peso (kg): Kg
Escolaridade:	Gênero:
Tempo de Exp. na função:	Regime de trabalho:
Possui hábito de atividade física:	Tipo de Equipamento:

Dados de Entrada

Variável	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T _{final}	Total
1. Lavg (dB)							
2. Lavg (dB) - Atenuado							
3. IBUTG (°C)							
4. Aren (m/s ²)							

Figura 30 – Formulário de medições utilizado para recolha das variáveis independentes.

De acordo com a figura 30, foram recolhidos dados de nome, peso, idade, tempo de experiência na função, etc. Essa informação serviu de base para caracterizar a amostra de operadores de equipamentos e o acompanhamento do comportamento dos fatores de risco durante o trabalho de campo. Cabe explicar que Lavg corresponde ao nível médio de ruído, enquanto o Lavg – atenuado corresponde ao Lavg após a atenuação por meio de proteção individual quando necessário. A figura 31 corresponde a segunda parte do formulário de campo.

Dados de saída																		
Variável	T ₀			T ₁			T ₂			T ₃			T ₄			T _{final}		
	Erros	SD	SL	Erros	SD	SL	Erros	SD	SL	Erros	SD	SL	Erros	SD	SL	Erros	SD	SL
5. Tempo de Realização do Teste - Teste Cognitivo (s)																		
6. Tempo Médio de Resposta por Bateria (s)																		
7. Faixa por Bateria (s)																		
8. Faixa por alternativa (s)																		
9. Tempo Médio de Resposta por alternativa (s)																		
10. Duração Total do Teste (s)																		
11. Frequência Cardíaca (bpm)																		
12. Pressão Sanguínea (SIS/DIA)																		
13. Oxigenação sanguínea (%)																		

Figura 31 - Formulário de medições para recolha das variáveis dependentes.

De acordo com a figura 31, as variáveis dependentes foram monitoradas em intervalos com períodos de 2 horas entre uma observação e outra, sendo coletado o tempo médio de resposta e a frequência cardíaca dos operadores de equipamentos na construção civil.

Por fim, com base na análise dos dados, foi identificada a relação estatística existente entre os dados dos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e vibração de corpo inteiro) e os dados das variáveis dependentes (TMR e FC) e desenvolvida uma metodologia para análise combinada dos mesmos.

Capítulo 6. Resultados e Discussão

6.1 Nota introdutória

Os resultados apresentados referem-se ao estudo de campo envolvendo 50 trabalhadores operadores de equipamentos da construção civil. Os equipamentos utilizados foram denominados de ECC (Equipamentos de Construção Civil). Sendo eles: 1(uma) mini carregadora; 6 (seis) caminhões caçamba; 4 (quatro) caminhões betoneira; 20 (vinte) elevadores cremalheira; 3 (três) escavadoras; 4 (quatro) empilhadores telescópicos; 1 (uma) motoniveladora; 2 (duas) pás carregadeiras; 2 (duas) perfuratrizes; 4 (quatro) retroescavadeiras; 2 (dois) tratores; 1(um) trator de esteira.

Com o intuito de facilitar o entendimento, os dados dos ECC (50 unidades) foram subdivididos em 3 grupos distintos, sendo: Equipamentos de Terraplanagem – ET (20 unidades); Veículos – V (10 unidades) e Elevador Cremalheira – EC (20 unidades). A análise dos dados que se segue corresponde tanto ao grupo total das máquinas (ECC), quanto ao tipo de máquina (ET, V e EC).

Foram coletadas as variáveis independentes: ruído; vibrações de corpo inteiro e calor. E as variáveis dependentes: tempo médio de resposta (TMR) e frequência cardíaca (FC).

Os resultados são apresentados e analisados em 4 subpontos apresentados de seguida, nomeadamente: análise descritiva dos dados; análise de correlação; regressões lineares múltiplas e análise estatística da sinergia dos fatores de riscos físicos sobre as variáveis dependentes.

6.2 Análise descritiva dos dados

A análise descritiva tem como finalidade caracterizar os valores obtidos em campo, descrever como se comportam e selecionar as informações relevantes para o processo de discussão dos resultados. Para melhor entendimento, os mesmos são apresentados em gráficos tipo *boxplot* conforme a figura 32.

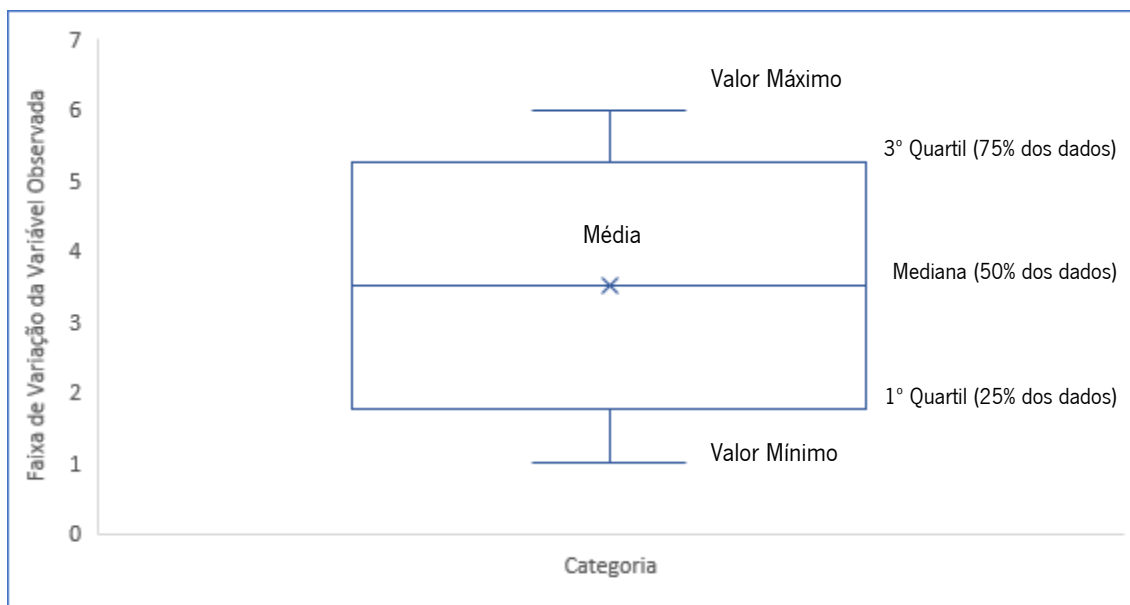


Figura 32 - Legenda para leitura dos gráficos boxplot.

Para fins de explicação da forma como o digrama *boxplot* deve ser interpretado, a figura 32 demonstra que o Valor Máximo corresponde ao maior valor observado na série de dados, enquanto o Valor Mínimo é o menor valor observado na série de dados. A Mediana corresponde ao valor que divide os dados ao meio. O 1º Quartil corresponde a 25% dos dados e o 3º Quartil reúne 75% dos dados. A Média corresponde à média aritmética do conjunto de valores obtido, somando-se todos eles e dividindo-se o total pela quantidade de valores observados.

6.2.1 Análise das variáveis independentes – Fatores de risco físico

Geral:

Os fatores de risco físico coletados por meio do monitoramento dos 50 trabalhadores foram organizados na tabela 11.

Tabela 11 - Dados registrados - Fatores de risco físico.

Medição	Lavg - dB(A)	WBGT - °C	AREN - m/s ²
1	63,2	32,7	0,48
2	80,4	30,0	0,50
3	65,9	28,0	0,73
4	84,8	21,2	0,36
5	63,6	24,9	0,43
6	77,3	25,2	0,50
7	77,6	31,1	0,64
8	71,0	24,0	0,79
9	80,3	26,5	0,73

Tabela 11 - Dados registrados - Fatores de risco físico (continuação).

Medição	Lavg - dB(A)	WBGT - °C	AREN - m/s ²
10	85,5	29,6	0,77
11	73,9	25,3	0,10
12	82,0	25,3	0,37
13	80,5	26,7	0,44
14	79,2	27,1	0,53
15	76,4	27,5	0,45
16	73,2	20,4	0,94
17	78,7	21,5	0,88
18	75,6	30,1	1,14
19	81,9	28,3	0,49
20	78,1	28,8	0,99
21	77,6	25,6	0,72
22	71,8	22,0	0,64
23	83,0	24,9	0,28
24	78,2	26,2	0,20
25	79,4	26,9	0,50
26	82,0	23,0	0,27
27	83,5	26,8	0,41
28	81,8	24,5	0,41
29	80,6	24,4	0,46
30	83,1	24,9	0,53
31	83,7	23,9	0,27
32	81,8	23,9	0,32
33	81,3	24,3	0,31
34	67,3	23,6	3,20
35	62,2	23,6	0,31
36	79,4	30,1	0,45
37	89,2	25,3	0,18
38	83,0	26,1	0,85
39	80,8	29,9	0,78
40	77,4	22,8	0,71
41	76,8	24,7	0,16
42	80,9	25,5	0,17
43	75,2	25,4	0,14
44	78,4	27,2	0,12
45	73,1	26,7	0,14
46	73,4	25,9	1,17
47	77,4	28,4	0,54
48	80,3	26,5	0,50
49	80,8	27,3	0,35
50	74,6	26,8	0,25

De acordo com a tabela 11, os dados foram organizados segundo sua grandeza física avaliada, nomeadamente: Lavg, para o valor médio do ruído da exposição ocupacional; WBGT, para os valores do estresse térmico; e AREN, para os valores da vibração de corpo inteiro.

Os dados apresentados na tabela 11 foram analisados por meio da estatística descritiva e apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Análise descritiva dos dados – Fatores de risco físico.

Estatística Descritiva	Lavg (dB)	WBGT (°C)	AREN (m/s ²)
Média	77,7	26,0	0,57
Desvio padrão	5,8	2,6	0,47
Variância da amostra	33,6	6,8	0,22
Mínimo	62,2	20,4	0,12
Máximo	89,2	32,7	3,20
Contagem	50	50	50

De acordo com a tabela 12, os valores de Lavg variam entre 62,2 e 89,2 dB(A), enquanto o WBGT varia entre 20,4 e 32,7°C e o AREN varia entre 0,12 e 3,20 m/s²

Os valores apresentados na tabela 12, referente as 50 medições com ECC foram organizados nos diagramas tipo boxplot conforme apresentado na figura 33.

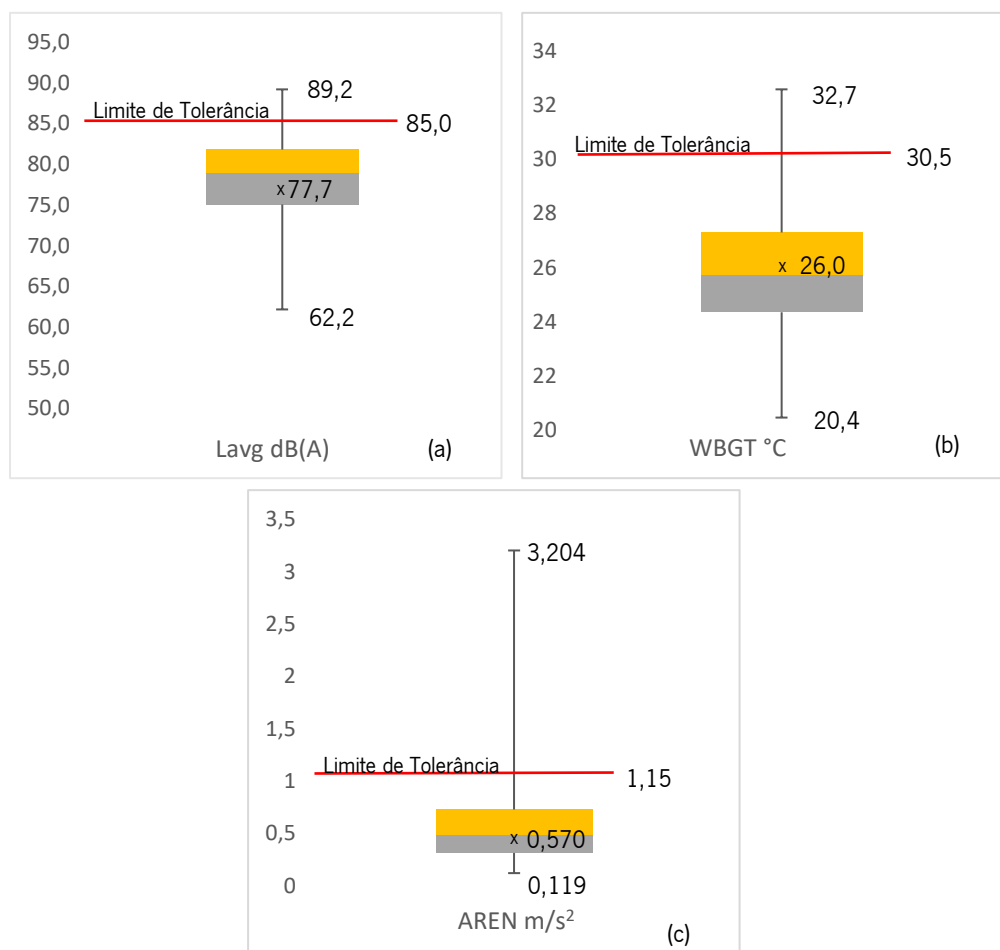


Figura 33 - Diagrama boxplot dos fatores de riscos físicos (ruído, calor e vibrações de corpo inteiro).

De acordo com a figura 33, o Lavg medido com os 50 operadores de ECC, possui o valor médio de 77,7 dB(A), enquanto o WBGT é de 26,0°C e a AREN é de 0,570 m/s². Esses valores indicam que a generalidade dos trabalhadores está exposto a valores abaixo dos limites de tolerância. Tendo em vista que para o ruído o limite é de 85,0 dB(A), segundo os limites de tolerância da Norma Regulamentadora 15 (NR-15).

Para o estresse térmico, o limite previsto foi um WBGT de 30,5°C. Esse valor foi obtido pela análise da carga da tarefa. Segundo a NHO 06, a atividade de operador de máquinas da construção se caracteriza por uma atividade realizada sentada com movimentação moderada de braços e pernas cuja taxa metabólica estimada é de 181 kcal/h. Considerando ventilação controlada, por se tratar de atividade realizada no interior da cabine da máquina, e vestuário leve (fardamento padrão) para todos os 50 operadores. Dessa forma, seu limite de tolerância para o WBGT foi considerado de 30,5°C. Já para as vibrações de corpo inteiro o limite de tolerância é de 1,15m/s², segundo os parâmetros da ISO 2631.

Os valores de Lavg das operações com ECC, variam entre 62,2 e 89,2 dB(A). Enquanto os valores de WBGT variam entre 20,4 e 32,7°C. E AREN varia entre 0,12 e 3,20 m/s².

Como os ECC possuem aplicações distintas, os níveis de ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro também foram observados em separado por tipo de equipamento da construção civil. O intuito dessa abordagem é observar a variação dos valores de cada fator de risco físico em relação aos grupos de equipamentos. Dessa forma, os valores para cada fator de risco foram organizados em 3 subgrupos, sendo eles: Equipamentos de Terraplanagem - ET (escavadeiras, retroescavadeiras, pá mecânica, tratores, etc.), totalizando 20 amostras; Veículos - V (caminhões caçamba e betoneira), com total de 10 amostras e Elevadores Cremalheira – EC, com 20 amostras no total.

Por equipamento - Ruído

Os intervalos dos dados apresentados na figura 34, permitem melhor visualização e sua comparação entre os grupos de equipamento da construção civil.

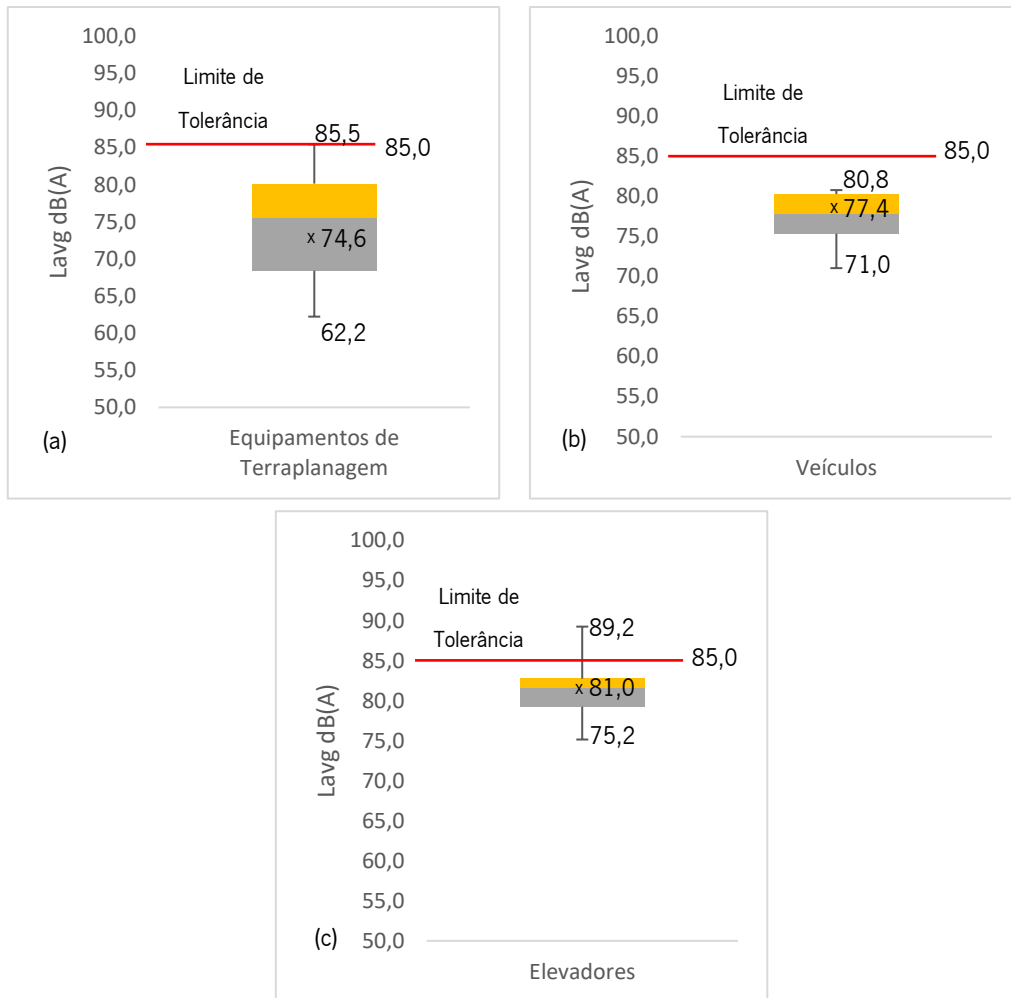


Figura 34 - Diagrama tipo Boxplot dos níveis de Lavg (dB(A)) por tipo de máquina da construção civil referentes a uma jornada de 8 horas de trabalho.

As operações com equipamentos de terraplanagem envolvem múltiplas tarefas entre carregar, transportar, se deslocar em terrenos acidentados e realizar esforços mecânicos para escavações e rotações, fazendo o motor trabalhar em regimes diferentes para cada situação. Nesse contexto, o Lavg para as operações com equipamentos de terraplanagem encontra-se entre 62,2 e 85,5 dB(A) com média de 74,6 dB(A) (figura 34a). Como o limite de tolerância previsto pela NR-15 é de 85 dB(A), o ruído das operações com equipamentos de terraplanagem, em média, ocorre abaixo dos limites de tolerância. Logo, a exposição ao ruído não causa danos à saúde dos operadores.

Em relação aos veículos, suas operações possuem regimes de trabalho entre carregar, transportar e descarregar materiais. Com isso, a variação do Lavg se encontra entre 71,0 e 80,8 dB(A) com

média de 77,4 dB(A) (figura 34b). Como o limite de tolerância previsto pela NR-15 é de 85 dB(A), o ruído das operações com veículos, em média, ocorre abaixo dos limites de tolerância.

Os elevadores funcionam por meio de motores elétricos cuja emissão do ruído é constante. Sendo diferente dos outros grupos cujo motor é movido a explosão e seus níveis de ruído variam de acordo com o regime de trabalho. Com isso os valores dos dados de L_{avg} variam entre 75,2 e 89,2 dB(A) com média de 81,0 dB(A) (figura 34c). Como o limite de tolerância previsto pela NR-15 é de 85 dB(A), o ruído das operações com elevadores, em média, ocorre abaixo dos limites de tolerância. Logo, a exposição ao ruído não causa danos à saúde dos operadores.

Para os três grupos de máquinas da construção civil o ruído em média permanece abaixo de 85 dB(A), nesse contexto a exposição ao ruído durante a operação de equipamentos de terraplanagem, veículos ou elevadores de obra não causam danos à saúde dos operadores.

Por equipamento – Estresse térmico

Os dados apresentados na figura 35 correspondem aos níveis de WBGT (°C) agrupados por tipo de operação com máquinas na construção civil. O intervalo dos dados, permite melhor visualização e comparação entre os grupos de máquinas da construção civil.

Em operações com equipamentos de terraplanagem os sistemas de climatização das cabines não funcionam da mesma forma para cada atividade. Em operações de terraplanagem (áreas abertas) o rendimento do sistema de refrigeração da cabine é menor quando comparado com equipamentos que realizam tarefas em áreas com sombra. A manutenção do sistema de refrigeração também deve ser levada em consideração. Quando o sistema não possui manutenção adequada o rendimento do sistema de refrigeração reduz. Ou seja, dependendo do tipo de serviço, do local de operação e das condições de funcionamento do sistema de refrigeração, a temperatura será diferente nas operações com equipamentos de terraplanagem. Com isso, o WBGT nas operações dos equipamentos de terraplanagem varia entre 20,4 e 32,7°C com média de 26,3°C (figura 35a). Como o limite de tolerância calculado é de 30,5°C, o WBGT das operações com equipamentos de terraplanagem, em média, ocorre abaixo dos limites de tolerância. Logo, os operadores de equipamentos de terraplanagem não estão sob condições de estresse térmico e por isso não há danos.

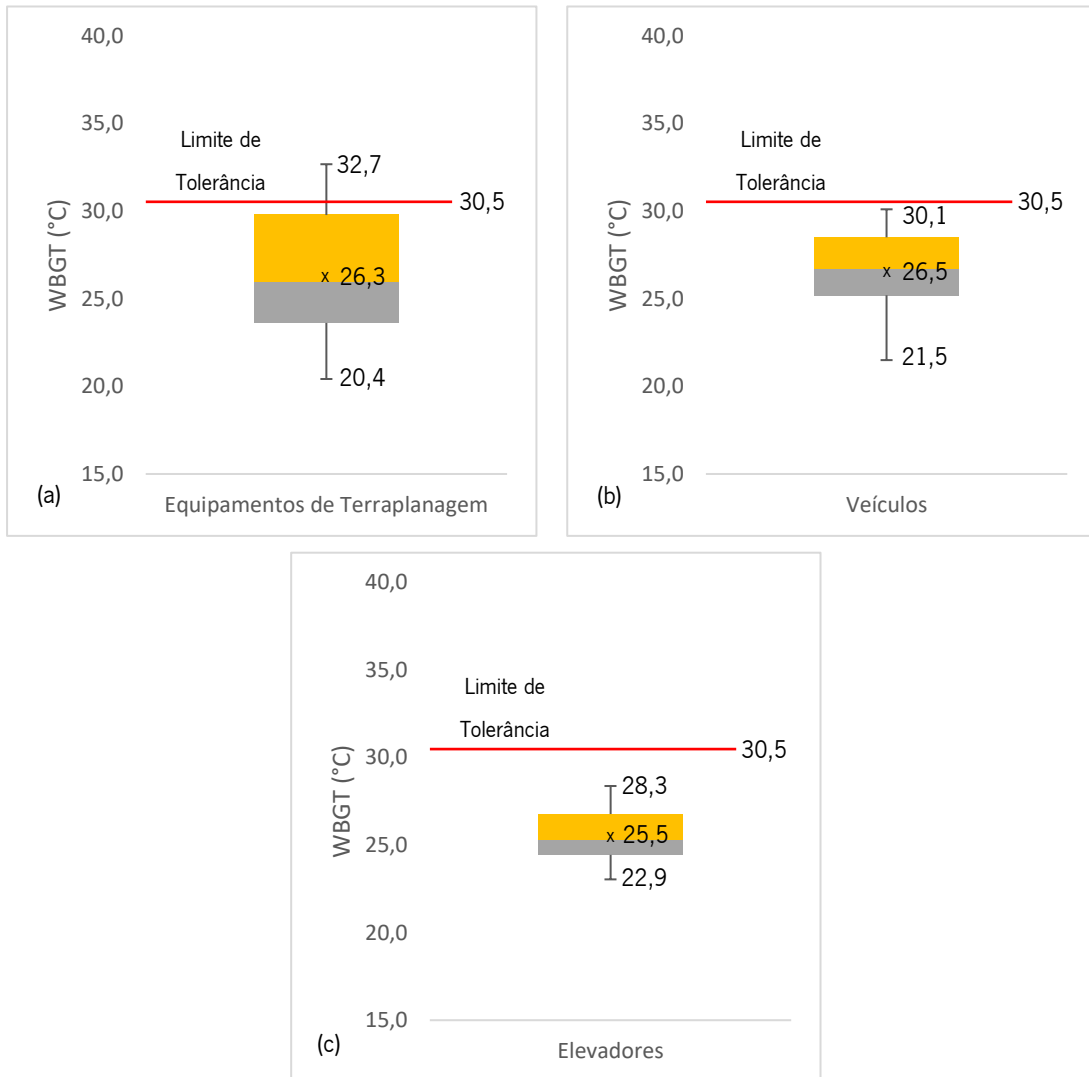


Figura 35 - Diagrama tipo boxplot dos níveis de WBGT (°C) por tipo de máquina da construção civil para uma jornada de 8 horas de trabalho.

Nas operações com veículos, os mesmos estão em movimentação constante, devido a ação de transporte. Essa movimentação dissipa o calor, diminuindo a variação do WBGT na cabine. Com isso, a faixa de variação dos valores do WBGT é entre 21,5 e 30,1°C, com uma média de 26,5°C (figura 35b). Como o limite de tolerância calculado é de 30,5 °C, o WBGT das operações com veículos, em média, ocorre abaixo dos limites de tolerância. Logo, os operadores de veículos não estão sob condições de estresse térmico e por isso não há danos.

Os elevadores de obra possuem cabines abertas e se deslocam na vertical ao longo do eixo do prédio. Essa configuração faz com que a ventilação mude de acordo com a posição do elevador em relação ao solo. Logo, quando o mesmo se desloca a temperatura é amenizada pela ventilação.

Com isso os níveis de WBGT variam entre 22,9 e 28,3°C, com uma média de 25,5°C (figura 35c). Como o limite de tolerância calculado é de 30,5 °C, o WBGT das operações com elevadores, em média, ocorre abaixo dos limites de tolerância. Logo, a exposição dos trabalhadores ao calor não provoca estresse térmico, e por isso não provoca danos.

Para os três grupos de máquinas da construção civil o WBGT em média permanece abaixo de 30,5°C, nesse contexto o ambiente térmico durante a operação de equipamentos de terraplanagem, veículos ou elevadores de obra não causam danos à saúde dos operadores.

Por equipamento – Vibrações de corpo inteiro

Os dados apresentados na figura 36 são referentes a vibrações de corpo inteiro nas operações com máquinas na construção civil, também separados por tipo de máquina. O intervalo dos dados permite observação e comparação dos níveis de vibrações de corpo inteiro entre os três grupos de máquinas da construção civil.

Os equipamentos de terraplanagem possuem sistemas de absorção das vibrações por meio de assentos e suspensões pneumáticas. Com isso valores da AREN variam de 0,12 a 3,20 m/s² e com uma média de 0,74 m/s² (figura 36a). Como o limite de tolerância previsto pela norma ISO 2631 é de 1,15 m/s², as vibrações de corpo inteiro das operações com equipamentos de terraplanagem, em média, ocorrem abaixo dos limites de tolerância. Logo, a exposição a vibrações de corpo inteiro não causa danos à saúde dos operadores.

Os veículos durante a realização de transporte sofrem influência das condições das estradas e vias de circulação acidentadas. Seus valores de AREN variam entre 0,25 e 1,14 m/s² com média 0,69 m/s² (figura36b). Como o limite de tolerância previsto pela ISO 2631 é de 1,14 m/s², as vibrações de corpo inteiro das operações com veículos, em média, ocorrem abaixo dos limites de tolerância. Logo, a exposição às vibrações de corpo inteiro não causa danos à saúde dos trabalhadores.

Os elevadores de obra possuem rotina de trabalho constante e seu deslocamento se dá em trilhos verticais denominados de cremalheiras. Logo, as vibrações estão condicionadas às condições dessa estrutura de trilho, que varia pouco de um elevador para outro. Com isso, seus valores de AREN variam entre 0,14 e 0,53 m/s², com uma média de 0,35 m/s² (figura36c). Como o limite de tolerância previsto pela norma ISO 2631 é de 1,15 m/s², as vibrações de corpo inteiro das operações com elevadores, em média, ocorrem abaixo dos limites de tolerância. Logo, a exposição às vibrações de corpo inteiro não causa danos à saúde dos operadores.

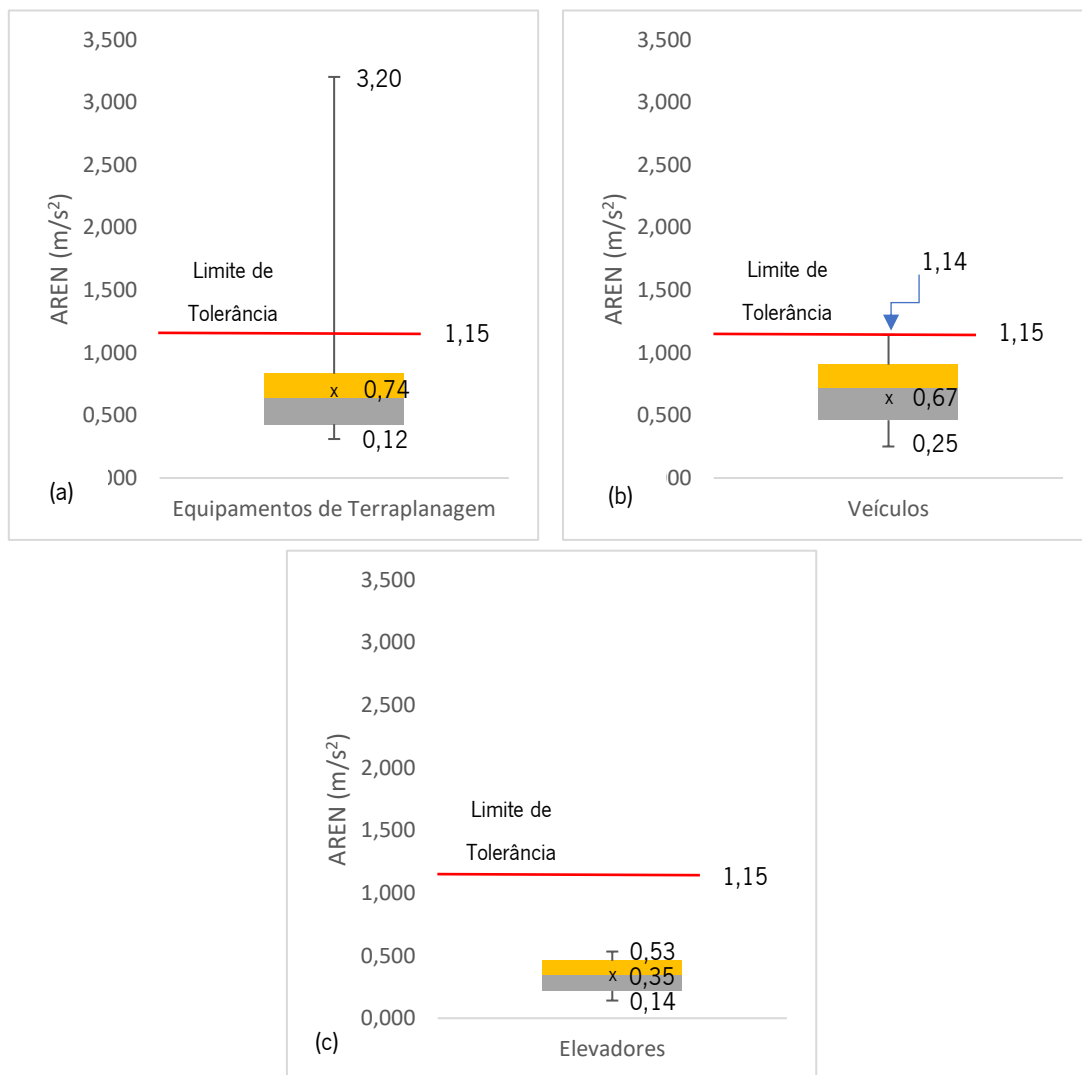


Figura 36 - Diagrama tipo boxplot dos níveis de AREN (m/s²) agrupados por tipo de máquina da construção civil, para uma jornada de 8 horas de trabalho.

Para os três grupos de máquinas da construção civil a exposição a vibrações de corpo inteiro, em média, permanece abaixo de 1,15 m/s², nesse contexto a exposição a vibrações de corpo inteiro durante a operação de equipamentos de terraplanagem, veículos ou elevadores de obra não causam danos à saúde dos trabalhadores.

Considerações

Diante do exposto é possível verificar que, segundo as normas e os textos legais, nomeadamente a Norma Regulamentadora 15 (anexos II e III) e a ISO 2631, os fatores de riscos físicos

isoladamente não são supostos causarem danos à saúde dos operadores de ECC, uma vez que os mesmos não ultrapassam os limites previstos nos textos referidos acima.

Nesse contexto, é necessário compreender que os fatores de risco físico exercem influência sobre as respostas fisiológicas do corpo humano. Logo, independente de limites de tolerância, os estímulos dos ambientes de trabalho provocam reações do organismo que podem estar associados a alterações no sistema cardiovascular ou no desempenho cognitivo.

6.2.2 Análise das variáveis dependentes

Com o intuito de investigar a influência dos fatores de riscos (calor, ruído e vibrações) sobre a saúde dos operadores de máquinas da construção civil foram coletados os parâmetros de Tempo Médio de Resposta – TMR e Frequência Cardíaca – FC. Esses dados foram chamados de variáveis dependentes.

Conforme mostrado no capítulo de Metodologia, foram coletadas duas variáveis, nomeadamente o Tempo Médio de Respostas – TMR (s) e a Frequência Cardíaca – FC (bpm). A tabela 13 apresenta os dados coletados dos 50 operadores de ECC.

Tabela 13 - Dados registrados – Variáveis dependentes dos trabalhadores

Medição	TMR (s)	FC (bpm)
1	1,304	85
2	1,776	65
3	1,553	69
4	1,551	82
5	1,435	75
6	1,449	66
7	2,073	70
8	2,782	84
9	1,925	76
10	1,617	90
11	2,204	81
12	2,123	60
13	2,458	76
14	2,203	78
15	1,747	64
16	1,818	61
17	1,821	62
18	1,521	85
19	2,150	85
20	1,520	81

Tabela 13 - Dados registrados – Variáveis dependentes dos trabalhadores (continuação).

Medição	TMR (s)	FC (bpm)
21	1,698	66
22	1,928	81
23	2,364	66
24	2,270	80
25	2,437	67
26	1,947	72
27	1,809	86
28	2,717	89
29	2,103	98
30	3,497	73
31	1,832	80
32	3,497	77
33	2,216	65
34	1,749	94
35	1,743	81
36	1,801	82
37	1,393	72
38	1,506	89
39	1,581	81
40	1,684	96
41	2,490	75
42	1,808	69
43	1,707	84
44	1,775	96
45	2,042	87
46	2,088	76
47	1,766	81
48	1,626	67
49	1,390	82
50	1,676	83

Os dados apresentados na tabela 13 foram analisados por meio da estatística descritiva e os resultados apresentados na tabela 14.

Tabela 14 - Análise descritiva dos dados – Variáveis dependentes.

Estatística Descritiva	TMR (s)	FC (bpm)
Média	1,9	78
Desvio padrão	0,5	10
Variância da amostra	0,2	94
Mínimo	1,3	60
Máximo	3,5	98
Contagem	50	50

Para melhor visualização dos dados, os valores apresentados na tabela 14, referente as 50 operações com ECC foram organizados nos diagramas tipo boxplot conforme apresentado na figura 37.

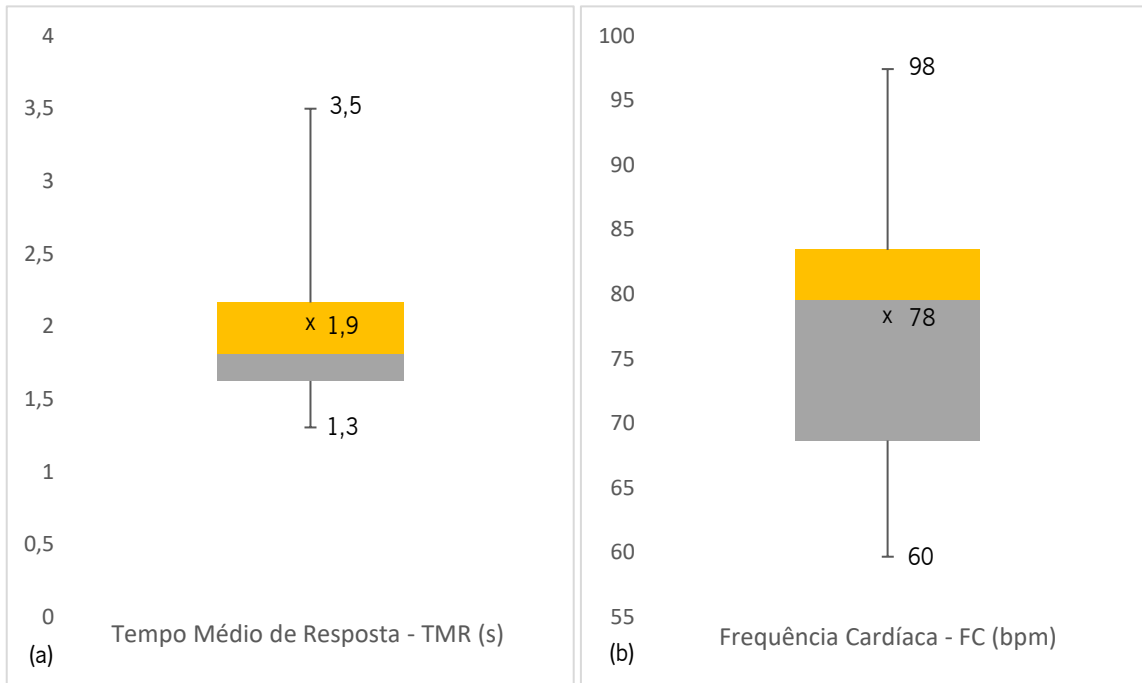


Figura 37 - Diagrama tipo boxplot dos valores médios das variáveis dependentes dos operadores de máquinas durante uma jornada de 8 horas de trabalho. (a) Tempo Médio de Resposta – TMR(s) e (b) Frequência Cardíaca – FC(bpm).

De acordo com a figura 37, o valor do tempo médio de resposta (TMR) do operador de equipamentos da construção é, em média, de 1,9 segundos. O intervalo dos dados mostra que o TMR pode variar entre 1,3 e 3,5 segundos (figura 37a).

Durante a jornada de trabalho, os dados do TMR variam em torno do desvio padrão de 0,5 segundos. Com isso, a figura 38 apresenta os valores do TMR para cada período de recolha dos dados, conforme apresentado no capítulo da metodologia, sendo: t_0 – início da jornada; t_1 - 1º intervalo; t_2 – almoço; t_3 – retorno; t_4 - 2º intervalo; e t_{final} – final da jornada de trabalho.

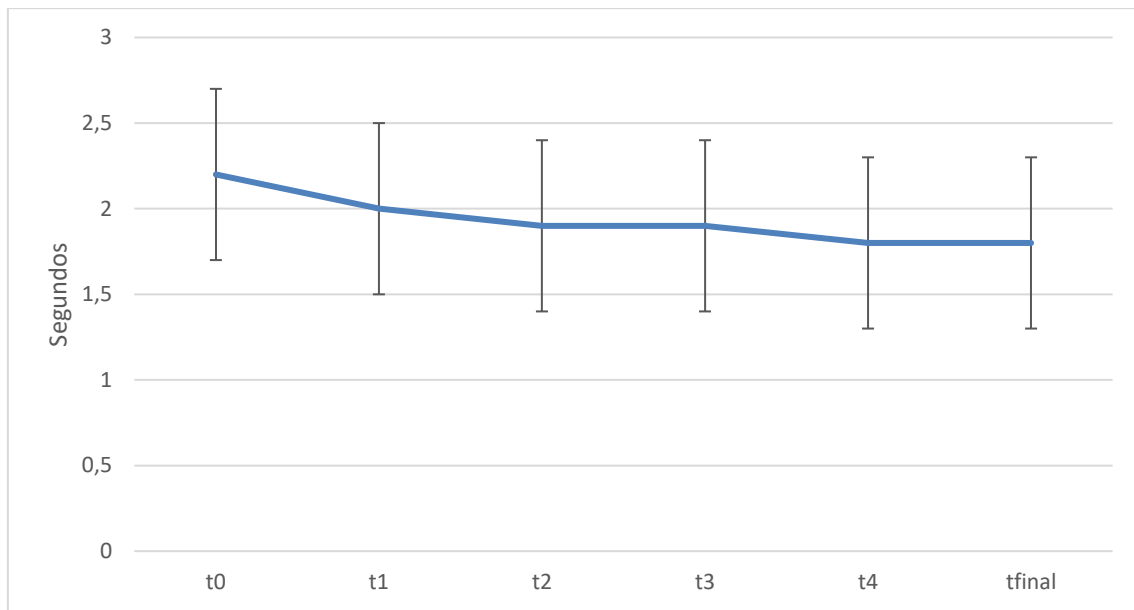


Figura 38 - Variação dos dados do TMR durante a jornada de trabalho.

De acordo com a figura 38, os valores do TMR obtidos durante a jornada de trabalho, variam dentro de um mesmo intervalo, correspondente ao valor médio para cada um dos períodos de recolha dos dados, mais ou menos o desvio padrão das medições, equivalente a 0,5 segundos. Com isso, é possível observar que não existe diferença estatística, por meio da análise do intervalo de confiança, no desempenho dos operadores de ECC no teste de atenção aplicado no começo da jornada de trabalho em relação aos demais períodos de recolha do dado. Logo, a exposição ocupacional combinada aos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro) não parece afetar a atenção dos operadores de ECC durante a jornada de trabalho. Essa estabilização dos valores do TMR apresentada na figura 38, pode estar associada a mecanismos fisiológicos de compensação não explorados pela dissertação, ou ao processo de aprendizagem pela repetição dos testes. E ainda ao fato dos fatores de risco físico encontrarem-se abaixo dos limites de tolerância previsto pelas normas brasileiras.

Quanto a frequência cardíaca dos operadores de máquinas da construção é possível observar que o valor médio é de 78 bpm, com variação entre 60 e 98 bpm (gráfico 37b). A literatura médica possui níveis de referência de 60 bpm para indivíduos em repouso. No entanto, para trabalhadores realizando operações durante jornada integral de trabalho não existem referências.

Similar ao observado para o desempenho dos operadores de ECC em relação aos testes de atenção, a FC dos operadores durante a jornada de trabalho, também varia em torno do valor médio em cada um dos períodos de recolha dos dados, mais ou menos o desvio padrão de 10 bpm, conforme apresentado na figura 39.

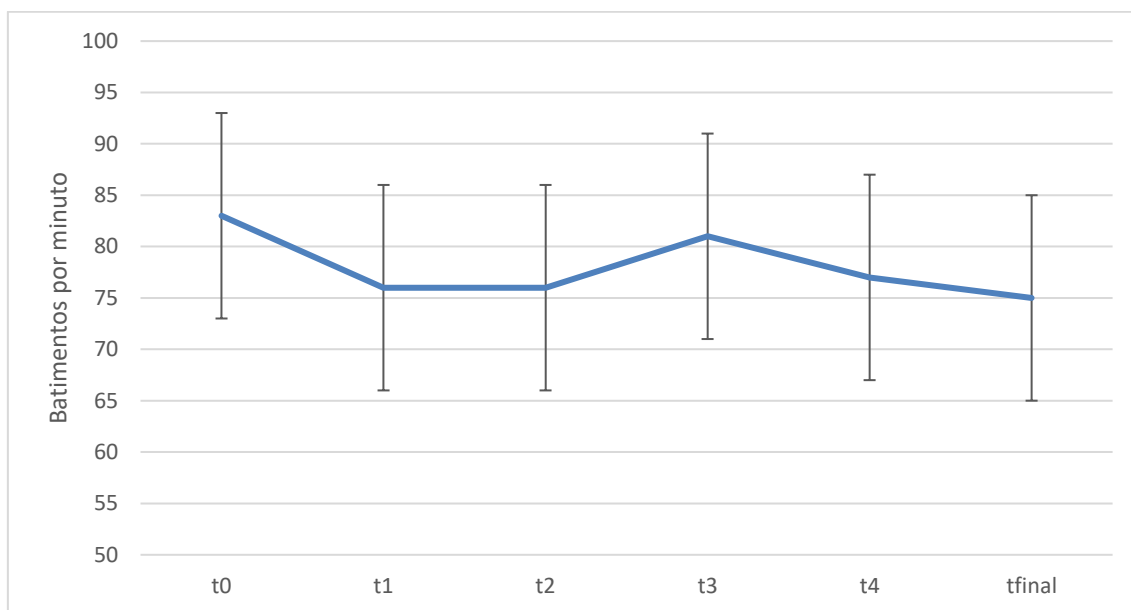


Figura 39 - Variação dos valores da FC durante a jornada de trabalho.

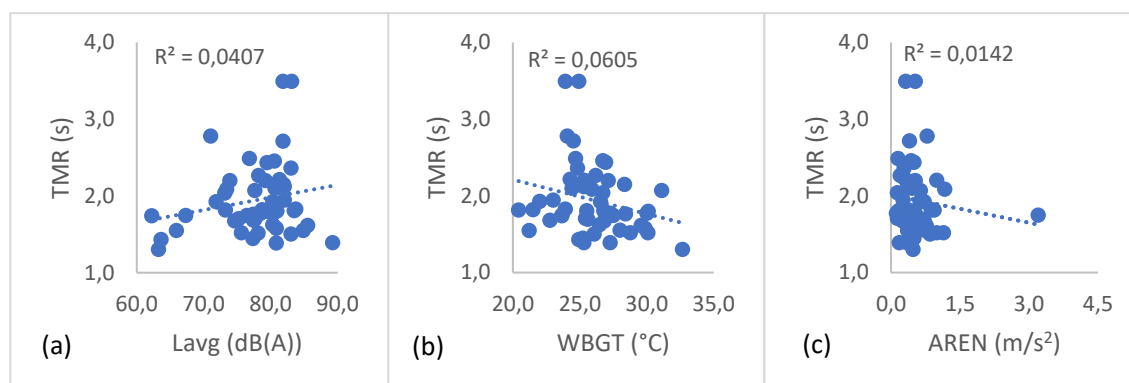
De acordo com a figura 39, os valores da FC dos operadores de ECC variam dentro do mesmo intervalo durante a jornada de trabalho. Isto demonstra que não existe diferença estatística, pela análise do intervalo de confiança, entre os dados de FC dos operadores no começo da jornada e os dados observados em cada um dos demais períodos de recolha. Neste contexto, os dados dos fatores de risco físico quando em simultâneo, não conseguem provocar uma mudança nos dados da FC. Com isso, a exposição ocupacional em simultâneo aos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro) não parece afetar a FC dos operadores de ECC durante a jornada de trabalho. Essa estabilização dos dados do FC pode estar associada a outros mecanismos fisiológicos de compensação não investigados pela dissertação. No início dos turnos o funcionário entra em movimento provocando a elevação da FC. Em seguida ocorre sua redução que pode estar relacionada a adaptação do trabalhador ao ambiente. E ainda devido a exposição ocorrer abaixo dos limites de tolerância.

Apesar dos dados das respostas fisiológicas (FC e TMR) se manterem constantes durante a jornada de trabalho, é necessário compreender que tais respostas são reflexos de uma exposição combinada aos fatores de risco físico (ruído, vibrações de corpo inteiro e estresse térmico). Com isso, a análise da correlação entre os dados dos fatores de risco físico e os dados das variáveis dependentes é necessário para compreender a relação existente entre os mesmos.

6.3 Análise da Correlação entre os dados dos fatores de risco físico e os dados das variáveis dependentes.

Na estatística, a relação entre duas variáveis é chamada de correlação. A importância de tal determinação ocorre porque, quando comprovada sua existência é possível estimar uma variável a partir da outra. Porém, quando a correlação não existe é necessária a utilização de outros métodos para análise dos dados.

Inicialmente, tentou-se verificar se existia alguma relação entre os dados coletados. Para isso, foram construídos os gráficos de dispersão de cada fator de risco em separado para cada resposta orgânica. A análise do gráfico de dispersão permitiu interpretar as correlações dos fatores de riscos físicos com as variáveis dependentes, baseado na aproximação dos pontos. Quando os pontos tendem a se alinhar, isso sugere que existe forte correlação entre as variáveis. Quando dispersos, existe fraca correlação entre as variáveis. Diante do exposto, é possível observar na figura 40 os diagramas de dispersão dos dados dos fatores de risco em relação ao TMR.



*Teste T - Valor-p < 0,05 para cada uma das três correlações

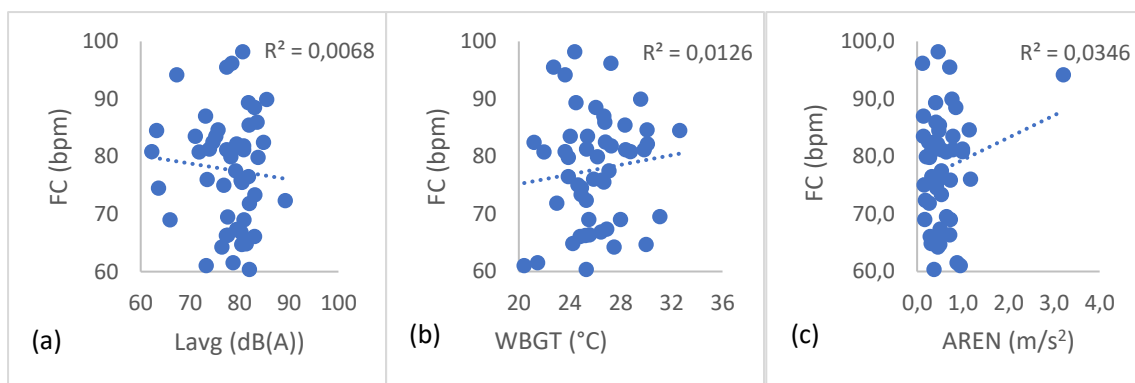
Figura 40 – Correlação entre os dados dos fatores de risco físicos (Lavg, WBGT e AREN) e o Tempo Médio de Resposta – TMR.

De acordo com a figura 40(a), é possível verificar que os valores do Lavg possuem fraca correlação com a TMR. Isso ocorre porque os pontos não se agrupam no formato de uma linha de tal forma a caracterizar uma forte correlação. E o valor de R^2 demonstra que apenas 4,07% dos valores de ruído conseguem explicar os valores de TMR. O mesmo ocorre na figura 40(b), onde os valores do WBGT também não se agrupam em linha e o valor de R^2 evidencia que apenas 6,05% dos dados de WBGT conseguem explicar os dados do TMR, dessa maneira existe fraca correlação do WBGT com o TMR. De forma similar o diagrama indicado na figura 40(c), é possível observar que os valores de AREN também possuem fraca correlação com os valores de TMR. Considerando que

os dados não se alinham e os valores de R^2 mostra que apenas 1,42% dos dados de AREN conseguem explicar os valores de TMR.

Nesse contexto, quando os valores dos fatores de riscos são comparados em separado com o TMR dos trabalhadores é possível constar que para nos três casos existe fraca correlação entre o dado do fator de risco e o dado do TMR. Logo, os valores dos fatores de risco em separado não conseguem explicar os valores de TMR.

Os dados dos fatores de riscos físicos também foram relacionados com os dados de frequência cardíaca (FC). A dispersão dos valores na figura 41, mostram a correlação entre fatores de risco físico e a frequência cardíaca.



*Teste T – Valor-P < 0,05 para cada uma das três correlações

Figura 41 - Correlação entre os dados dos fatores de risco físicos (Lavg, WBGT e AREN) e frequência cardíaca – FC dos operadores de máquinas na construção civil, para uma jornada de 8 horas de trabalho.

De acordo com a figura 41(a), é possível verificar o ruído quando em separado, possui fraca correlação com os dados de FC. Isso ocorre por que os dados do Lavg não se agrupam de maneira tal, a formar uma reta e os valor de R^2 (0,0068), demonstra que menos de 1% dos dados de Lavg conseguem explicar os dados de FC. O mesmo ocorre na figura 41(b), onde os dados do calor possuem fraca correlação com a FC, visto que os dados de WBGT conseguem explicar apenas 1,26% dos dados de FC, devido ao R^2 de 0,0126. Os dados das vibrações de corpo inteiro apresentado na figura 41(c), também apresentam fraca correlação com a FC quando analisado em separado, tendo em vista que os valores da AREN explicam apenas 3,46% dos valores da FC, considerando o valor de R^2 de 0,0346.

Diante do exposto é possível observar que os valores encontrados para os fatores de riscos, quando comparados em separado com os valores de FC possuem fraca correlação. Isso ocorre porque em cada um dos diagramas os pontos não se agrupam na forma de uma linha. E os valores de R^2 são baixos, fazendo com que os dados dos fatores de riscos físicos (Lavg, WBGT e AREN) quando

analisados em separado, estatisticamente não conseguem explicar os valores de TMR e FC dos operadores de equipamentos da construção civil.

A análise de correlação serviu para demonstrar que os valores dos fatores de riscos físicos, quando separados, não conseguem explicar estatisticamente os valores das variáveis dependentes dos operadores de máquinas, avaliados durante a jornada integral de trabalho. Por não haver correlação estatística entre as variáveis dependentes e independentes ou a mesma ser baixa, foi aplicado outro método que ao invés de avaliar os valores dos fatores de riscos em separado, faz a combinação entre os mesmos para demonstrar que os fatores de riscos físicos só conseguem explicar as mudanças nas variáveis dependentes de TMR e FC, quando analisados de forma combinada. Por isso, foram aplicados os modelos de regressões lineares múltiplas – RLM do tipo básica para os dados coletados dos 50 operadores de máquinas da construção civil.

6.4 Análise por Regressões Lineares Múltiplas (RLM)

A análise através de RLM parte de princípio de que em certos casos determinada variável pode estar relacionada com outras duas ou mais variáveis. Com isso, a RLM é o que melhor se adequa para análise de variáveis dependentes com múltiplas variáveis independentes. Essa condição se assemelha as exposições ocupacionais dos operadores de máquinas na construção civil, que se encontram expostos a múltiplos fatores de riscos (variáveis independentes) e manifestam respostas (variáveis dependentes). Considerando que tais respostas são reflexos da exposição em simultâneo, aos fatores de riscos físicos.

Dessa forma, a finalidade da RLM é estabelecer a equação que expresse a Frequência Cardíaca – FC e Tempo Médio de Resposta - TMR em função dos fatores de risco físico (ruído, vibração de corpo inteiro e estresse térmico). Com as equações, foi possível identificar valores para os fatores de riscos físicos abaixo dos limites de tolerância, que quando combinados manifestam variáveis dependentes semelhantes a condições em que o trabalhador esteja exposto acima dos limites de tolerância.

Para o melhor entendimento a análise foi subdividida segundo a variáveis dependentes: Tempo Médio de Resposta – TMR (segundos) e Frequência Cardíaca – FC (bpm), com dados utilizados referentes à jornada integral de trabalho.

Conforme discutido, não é possível explicar isoladamente a influência do ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro sobre o desempenho do tempo médio de resposta – TMR e da frequência cardíaca - FC dos operadores dos equipamentos de construção civil. Porém, quando

analisados de forma combinada os resultados permitem novas observações. Foi possível determinar equações para o cálculo do TMR e da FC em função dos três fatores de riscos físicos em simultâneo conforme apresentado de seguida. O ruído, vibrações de corpo inteiro e o estresse térmico possuem relação linear múltipla significativa com o TMR e a FC ao nível de 5%, conforme expresso pelo valor de F de significação expresso na tabela 15. Ou seja, o modelo possui confiabilidade superior a 95%.

Tabela 15 – Equações de RLM para operadores de equipamentos da construção civil.

Equação	*R ²	**F de significação
$TMR = 0,031xLavg - 0,018xWBGT + 0,012xAREN$	0,9246	9×10^{-30}
$FC = 0,517xLavg + 1,288xWBGT + 6,729xAREN$	0,9616	2×10^{-41}

* R² ajustado – Capacidade de explicação da variável dependente a partir da equação.

** Confiabilidade da equação, valor de referência <0,05

De acordo com a tabela 15, as equações geradas possuem variáveis padronizadas, ou seja, sem coeficiente independente. Sendo aplicado quando as variáveis independentes estão expressas em unidades diferentes. Assim é possível comparar o efeito relativo de cada variável independente na variável dependente.

A análise das equações está discutida no próximo tópico que trata sobre a análise estatística da sinergia dos limites de tolerância durante a exposição simultânea a múltiplos fatores de riscos.

6.5 Análise estatística da sinergia dos limites de tolerância durante a exposição simultânea a múltiplos fatores de riscos

De posse das equações geradas pela RLM, foram simuladas condições de trabalho que, no presente trabalho são denominadas de condições projetadas – CP. Foram simuladas CP de exposição com valores de ruído, vibrações e estresse térmico acima e abaixo dos limites de tolerância. O intuito é verificar se existe diferença estatística no TMR e na FC dos operadores de equipamentos da construção civil – ECC diante dessas condições.

Para comparar duas ou mais CP (exemplo A e B) faz-se necessário o uso dos gráficos dos intervalos de confiança da série de dados conforme figura 42. Não foram aplicados testes de inferência estatística. Sendo realizada a comparação gráfica dos intervalos.

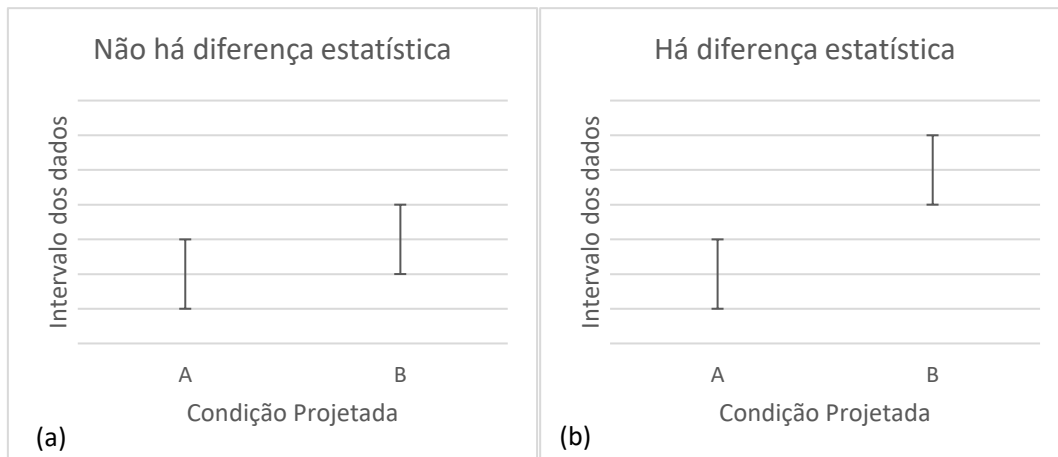


Figura 42 - Critério para análise estatística do intervalo de dados.

Caso ocorra interseção dos intervalos (figura 42a), significa dizer que não há diferença estatística entre os dados. Caso não ocorra interseção entre o intervalo de dados (figura 42b), significa que há diferença estatística entre os dados.

Com esse mecanismo é possível interpretar os dados projetados por meio da RLM das variáveis dependentes dos trabalhadores expostos a condições acima dos limites de tolerância. Além disso, permite compará-los com as variáveis dependentes quando expostos a condições abaixo dos limites de tolerância.

As CP foram criadas levando-se em consideração os critérios organizados na tabela 16.

De acordo com a tabela 16, as condições projetadas foram denominadas por letras de A – I, cujos valores dos fatores de riscos foram combinados tanto abaixo do limite de tolerância quanto no limite de tolerância. Foi criada também a condição considerada de risco, a condição I. Para tal, o ruído foi escolhido para ser simulado acima dos limites de tolerância com valor fixo de 90 dB(A), enquanto os outros dois fatores de riscos foram mantidos no limite de tolerância, caracterizando assim uma condição de risco. As 9 condições apresentadas de seguida se mostraram suficientes para comparar condição abaixo dos limites de tolerância para cada um dos fatores de riscos com uma situação de risco com o ruído acima dos limites de tolerância.

Tabela 16 - Critério para construção das 9 condições projetadas.

<i>Condição projetada</i>	<i>Ruído</i>	<i>Calor</i>	<i>VCI</i>
<i>A</i>	—	—	—
<i>B</i>	↓	—	—
<i>C</i>	—	↓	—
<i>D</i>	—	—	↓
<i>E</i>	↓	↓	—
<i>F</i>	—	↓	↓
<i>G</i>	↓	—	↓
<i>H</i>	↓	↓	↓
<i>I</i>	↑	—	—

Legenda:

No limite



Abaixo do

limite



Acima do

Limite

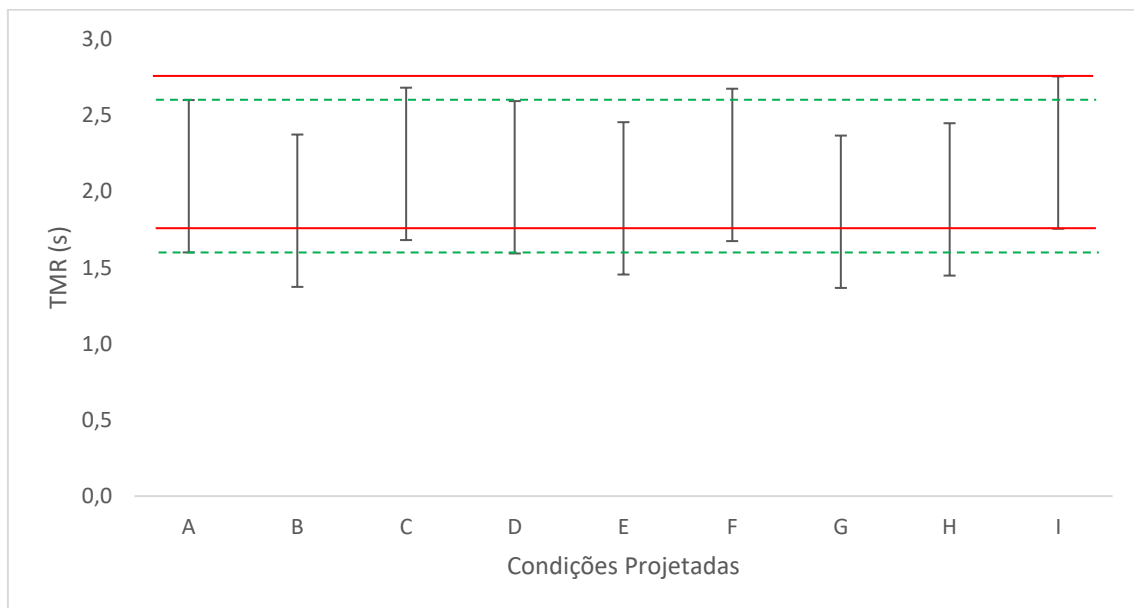


No total foram construídas nove condições projetadas, cujos valores foram organizados na tabela 17. Os valores médios obtidos das 50 medições realizadas em campo foram utilizados para simular os níveis abaixo dos limites de tolerância. Sendo: Lavg de 77,7 dB(A); WBGT de 26,0°C e AREN de 0,57 m/s².

Tabela 17 - Valores de TMR e FC calculados por meio da equação de RLM a partir de condições projetadas dos fatores de riscos físicos para os operadores de equipamentos da construção civil.

Condição Projetada	Lavg (dB(A))	WBGT (°C)	AREN (m/s²)	Estimados	
				TMR (s)	FC (bpm)
A	85	30,5	1,15	2,1	91
B	77,7	30,5	1,15	1,9	87
C	85	26,0	1,15	2,2	85
D	85	30,5	0,57	2,1	87
E	77,7	26,0	1,15	2,0	81
F	85	26,0	0,57	2,2	81
G	77,7	30,5	0,57	1,9	83
H	77,7	26,0	0,57	1,9	76
I	90	30,5	1,15	2,3	93

Os dados estimados apresentados na tabela 17, correspondem a aplicação direta das equações apresentadas na tabela 15. Com o valor estimado foi aplicado o erro padrão da equação (vide apêndice, RLM) para cada uma das variáveis dependentes. Os valores estimados com a variação do erro padrão corresponde ao intervalo de confiança apresentados na figura 43, o que permite a comparação gráfica entre eles.



Legenda:

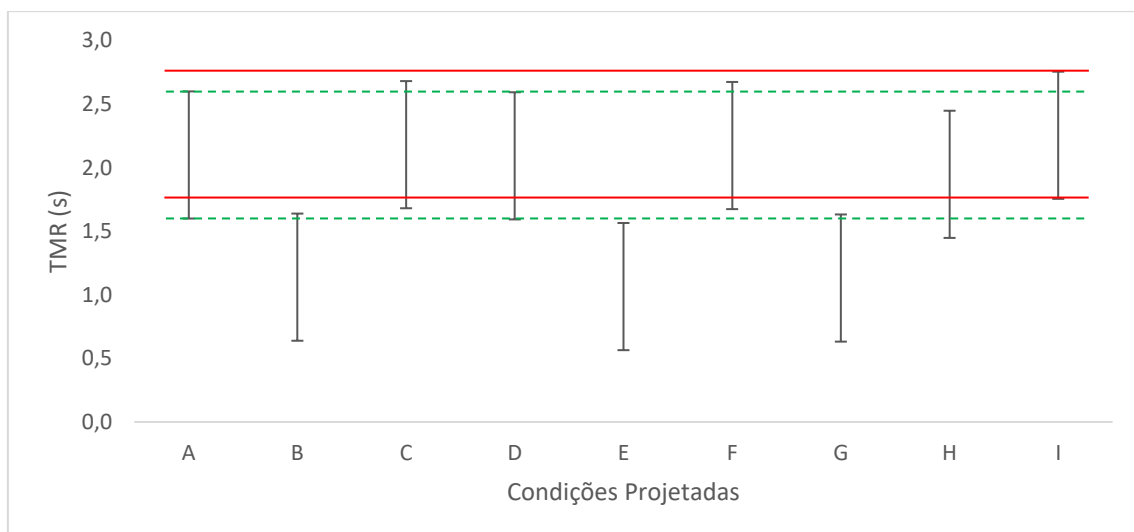
- Intervalo do Limite de Tolerância
- Intervalo da Condição de Risco

Figura 43 - Condições projetadas em relação TMR dos operadores de equipamentos da construção civil – ECC.

De acordo com a figura 43, as condições projetadas cujos dados dos fatores de riscos estão abaixo dos limites de tolerância (B; C; D; E; F; G e H), possuem dados de valor de tempo médio de resposta estatisticamente iguais (por meio da análise do intervalo de confiança) a condição projetada no limite de tolerância (condição A) e a condição de risco (condição I).

Partindo-se do princípio de que quando submetido a condições acima dos limites de tolerância, o organismo do trabalhador apresenta variáveis dependentes relativas a tal exposição, os dados das variáveis dependentes das condições projetadas abaixo dos limites de tolerância deveriam ser diferentes em relação a condição A e da condição I. Porém, estatisticamente não houve diferença (análise do intervalo de confiança), provavelmente devido ao fato de que quando os dados dos fatores de risco físico são combinados abaixo dos limites de tolerância, eles provocam um certo efeito sinérgico que produz um padrão nos dados de TMR, como se o trabalhador estivesse não só na condição de limite, como também em condição de risco. Logo, os dados dos fatores de riscos físicos, quando combinados, possuem uma certa sinergia em relação aos dados de TMR dos operadores de ECC.

Conforme discutido, para que haja diferença estatística (por meio da análise de intervalo de confiança) entre as condições projetadas, foram simulados valores aleatórios na equação do TMR para os operadores de ECC de modo a demonstrar as diferenças entre os intervalos. A figura 44 corresponde às condições projetadas com os menores valores necessários para que haja diferença estatística entre as mesmas.



Legenda:

Intervalo do Limite de Tolerância

Intervalo da Condição de Risco

Figura 44 - Condições projetadas com os menores valores necessários para existência de diferença estatística entre as mesmas.

De acordo com a figura 44, as condições projetadas B, E e G são diferentes da condição I classificada com de risco. Para tanto, o nível de ruído na condição B foi reduzido para 54 dB(A). Enquanto para a condição E o nível de ruído é de 49 dB(A) e estresse térmico de 23°C. E para a condição G o nível de ruído é de 54 dB(A) e VCI de 0,1m/s². O ruído se mostrou como o fator de risco determinante para produção da sinergia, quando comparado as mudanças realizadas nos outros fatores de riscos.

Durante os testes com níveis de WBGT e AREN, foi possível verificar que mesmo quando os dados das vibrações de corpo inteiro e o estresse térmico são reduzidos a níveis confortáveis, conforme visto nas condições projetadas C, D, F e H na figura 44, a variação dos dados do TMR para tais condições continuam estatisticamente iguais as condições A e a condição I.

Esse comportamento sugere que durante a exposição simultânea aos fatores de riscos físicos (ruído, calor e vibrações de corpo inteiro), o ruído é determinante para produção de algum tipo de sinergia entre os fatores de riscos físicos sobre o TMR dos operadores de equipamentos da construção civil - ECC. Fazendo com que os dados do TMR dos operadores expostos a condições abaixo dos limites de tolerância sejam estatisticamente iguais aos dados do TMR dos operadores expostos a condições no limite de tolerância ou em condição de risco.

Diante do exposto, o valor do Lavg pode assumir três níveis diferentes a partir dos quais a ação combinada dos fatores de risco físico produz um certo tipo de sinergia sobre os dados do TMR dos operadores de ECC, os quais:

- 54 dB(A) quando os outros fatores de riscos forem mantidos nos limites de tolerância;
- 49 dB(A) quando o WBGT for mantido em 23°C e a AREN no limite de tolerância;
- 54 dB(A) quando a AREN for mantida em 0,1m/s² e o WBGT no limite de tolerância.

Tendo como referência os limites de tolerância para os fatores de risco físico e os dados obtidos com as condições projetadas, foi possível construir um ábaco (figura 45) que ilustra a zona de sinergia entre os fatores de riscos físicos sobre o TMR dos operadores de equipamentos da construção civil – ECC.

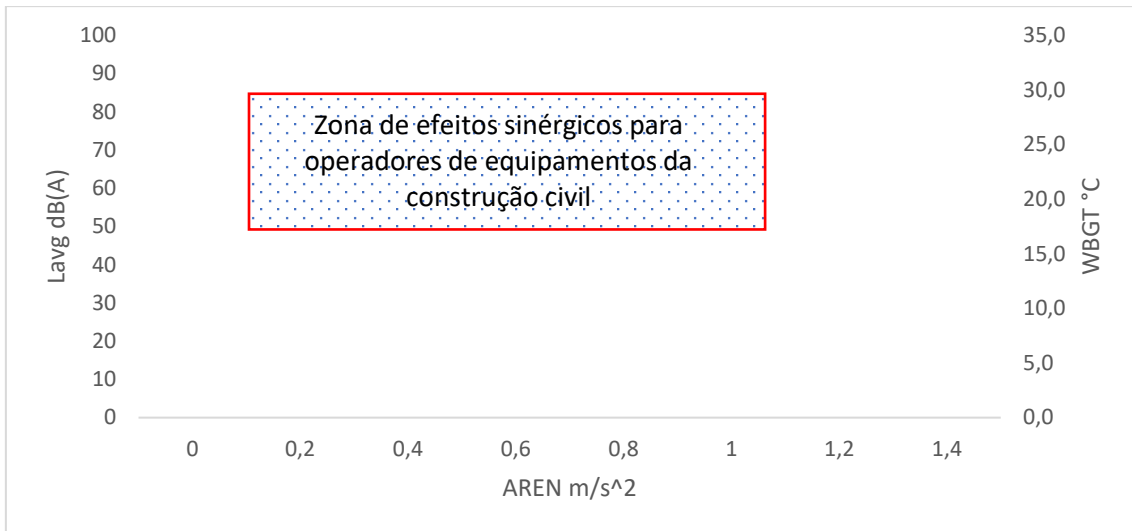
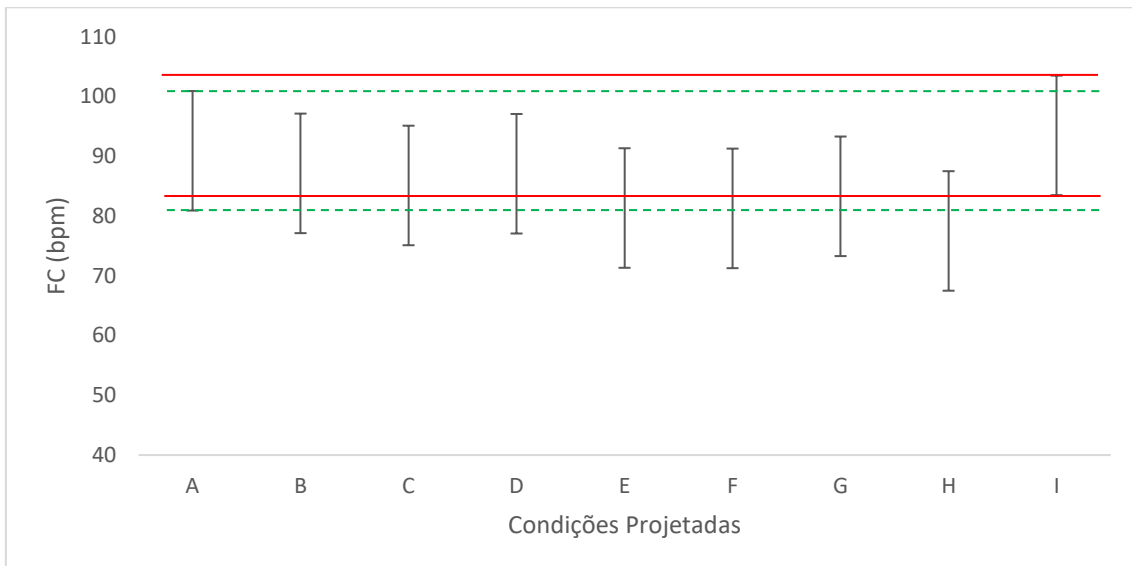


Figura 45 - Zona de efeitos sinérgicos dos fatores de risco físico sobre o TMR dos operadores de equipamentos da construção civil.

De acordo com a figura 45, qualquer valor de Lavg, AREN e WBGT selecionado dentro da área de sinergia, quando combinados por meio da RLM, apresentará resultados para a TMR dos operadores de ECC iguais as condições de exposição em condição de risco. Para valores fora das áreas não há sinergia.

De forma análoga ao TMR, a figura 46 apresenta a comparação das condições projetadas em relação a FC dos operadores de ECC.



Legenda:

Intervalo do Limite de Tolerância

Intervalo da Condição de Risco

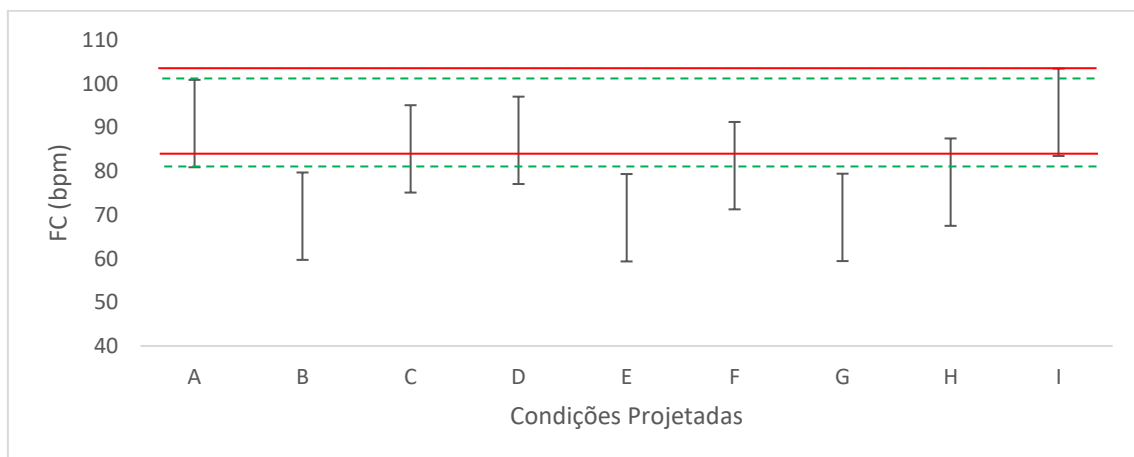
Figura 46 - Condições projetadas em relação a FC dos operadores de equipamentos da construção civil.

De acordo com a figura 46, as condições projetadas cujos dados dos fatores de riscos estão abaixo dos limites de tolerância (B; C; D; E; F; G e H), possuem valores de frequência cardíaca iguais (do ponto de vista estatístico) a condição projetada no limite de tolerância (condição A) e a condição de risco (condição I).

Partindo-se do princípio de que quando submetido a condições acima dos limites de tolerância, o organismo do trabalhador apresenta variáveis dependentes peculiares a tal exposição, os dados das variáveis dependentes das condições projetadas abaixo dos limites de tolerância deveriam ser diferentes em relação a condição A e a condição I. Porém, pela análise do intervalo de confiança não há diferença entre eles.

Não havendo diferença entre eles, a explicação encontrada para esse resultado é que quando os dados dos fatores de riscos físicos são combinados abaixo dos limites de tolerância por meio da RLM, eles provocam algum tipo de efeito sinérgico que produz um padrão nos valores de FC, como se o trabalhador estivesse não só na condição de limite (condição A) como também em condição de risco (condição I). Logo, os dados dos fatores de riscos físico quando combinados por meio da RLM, possuem um certo tipo de sinergia em relação aos dados da frequência cardíaca (FC) dos operadores de ECC.

Conforme discutido, para que exista diferença estatística entre as condições projetadas, foram simulados outros valores na equação da FC para os operadores de ECC. A figura 47 corresponde as condições projetadas com os menores valores necessários para que haja diferença estatística entre as mesmas.



Legenda:

Intervalo do Limite de Tolerância

Intervalo da Condição de Risco

Figura 47 - Condições projetadas com diferença estatística em relação a FC dos operadores de equipamentos da construção civil.

De acordo com a figura 47, as condições projetadas B, E e G são diferentes da condição A e da condição I. Para tanto, os dados do Lavg na condição B simulada com 44 dB(A). Enquanto para a condição E, o Lavg é de 62 dB(A) e o WBGT é de 23°C. E para a condição G o Lavg é de 57 dB(A) e AREN de 0,1m/s². Com isso, o ruído se mostrou como o fator de risco determinante para produção de uma certa sinergia, quando comparado as mudanças observadas nas outras condições projetadas quando realizadas alterações nos outros fatores de risco.

Durante os testes com os dados de WBGT e AREN, foi possível observar que mesmo quando a AREN e o WBGT são reduzidos a níveis confortáveis, conforme visto nas condições projetadas C, D, F e H da figura 47, o intervalo de variação dos dados da FC para tais condições continuam iguais as condições A e a condição I, pela análise do intervalo de confiança.

Esse comportamento sugere que durante a exposição simultânea aos fatores de riscos físicos, o valor do nível de ruído é determinante para produção de algum tipo de sinergia entre os dados dos fatores de risco físico sobre os dados da FC dos operadores de ECC. Fazendo com que os dados da FC dos operadores expostos a condições abaixo dos limites de tolerância sejam iguais, pela análise do intervalo de confiança, aos dados da FC dos operadores expostos a condições no limite de tolerância ou em condição de risco.

Diante do exposto, o valor do Lavg pode assumir três níveis a partir dos quais a ação combinada dos dados dos fatores de risco físico produz algum tipo de sinergia sobre os dados da FC dos operadores de ECC, os quais:

- 44 dB(A) quando os outros fatores de riscos forem mantidos nos limites de tolerância;
- 62 dB(A) quando o WBGT for mantido em 23°C e a AREN no limite de tolerância;
- 57 dB(A) quando AREN for mantida em 0,1m/s² e o WBGT no limite de tolerância.

Tendo como referência os limites de tolerância para os fatores de risco físico e os dados obtidos com as condições projetadas, foi possível construir um ábaco (figura 48) que ilustra a zona de possível sinergia entre os fatores de riscos físicos sobre a FC dos operadores de ECC.

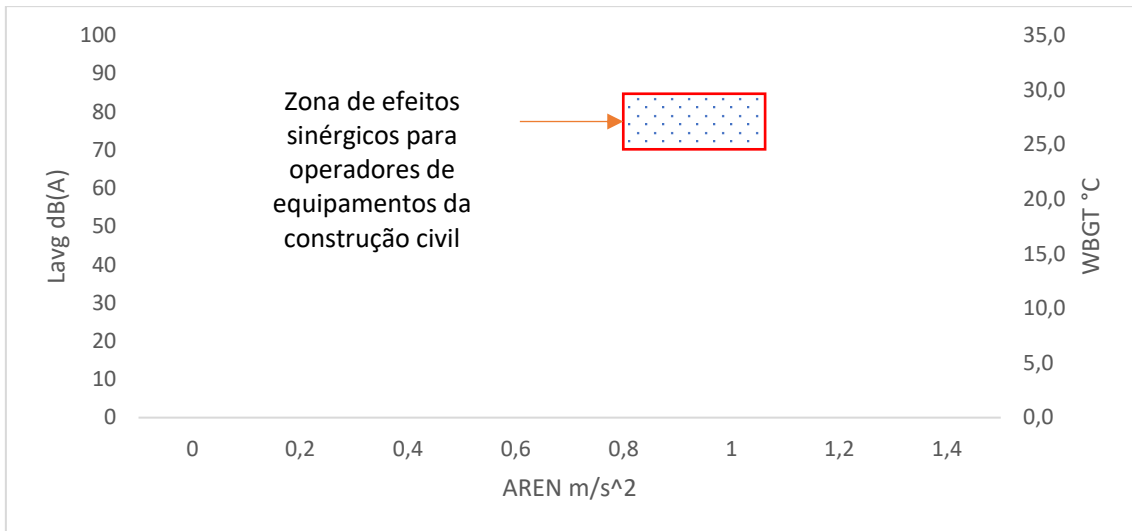


Figura 48 - Zonas de efeitos combinados dos fatores de risco físico sobre a FC dos operadores de equipamentos da construção civil.

De acordo com a figura 48, qualquer valor de Lavg, AREN e WBGT selecionado dentro da área de sinergia, quando combinados por meio da RLM, apresentam resultados para os valores de FC dos operadores de ECC iguais as condições de exposição nos limites de tolerância e a condição de risco, pela análise do intervalo de confiança. Para valores fora das áreas não há sinergia.

Capítulo 7. Conclusões e trabalhos futuros

7.1 Conclusões

Após o tratamento e análise dos dados coletados dos fatores de riscos físico (ruído, vibração de corpo inteiro e estresse térmico) e das variáveis dependentes frequência cardíaca (FC) e tempo médio de resposta (TMR) dos operadores de equipamentos da construção civil é possível tecer as conclusões apresentadas de seguida.

A exposição ao ruído nas operações com EEC, como fator de risco isolado, não parece ter potencial para causar danos à saúde dos operadores expostos, dado que os valores de exposição individual obtidos se encontram todos eles abaixo dos limites de tolerância para este fator de risco.

Similar ao ruído, o estresse térmico nas operações com ECC, de forma isolada, não parece oferecer risco a saúde dos trabalhadores expostos, considerando que todos os dados de exposição individual obtidos se encontram abaixo dos limites de tolerância para este fator de risco

A exposição as vibrações de corpo inteiro nas operações com ECC, também como fator de risco em separado, não parece ter potencial de gerar danos à saúde dos operadores expostos, considerado que os valores de exposição individual obtidos se encontram todos eles abaixo dos limites de tolerância para este fator de risco.

Não foi possível perceber se os fatores de riscos físicos quando combinados tornavam-se mais agressivos durante a jornada, do que quando avaliados em separado. O que foi possível constatar é que durante a jornada a FC e TMR variam em torno de valores médios. Era esperado que durante a jornada de trabalho a TMR fosse afetada de alguma forma para mais ou para menos, bem como a FC. Contudo, o fato dos valores se manterem variando em torno de níveis médios, conduz a ideia de que o organismo manifesta outros mecanismos fisiológicos, não estudados na pesquisa, para manter as variáveis dependentes dentro de um mesmo intervalo de variação.

As análises estatísticas permitiram observar que o TMR e a FC parecem ser melhor explicados quando os dados dos fatores de risco físico são combinados em modelos de regressão linear múltipla (RLM).

Por meio da análise da correlação entre os dados dos fatores de riscos físicos e TMR é possível observar que os dados do ruído em separado possuem fraca correlação estatística com os dados do TMR dos operadores de equipamentos da construção civil. Ou seja, quando em separado os

dados dos níveis de ruído não conseguem se relacionar com os dados dos valores de TMR dos operadores.

De forma similar, o estresse térmico e as vibrações de corpo inteiro em separado também possuem fraca correlação estatística com o tempo médio de resposta dos operadores. Com isso, os dados dos fatores de riscos físicos (ruído, estresse térmico e vibração de corpo inteiro) quando analisados separadamente não são capazes explicar os dados de tempo médio de resposta dos operadores de máquinas da construção civil. Provavelmente o fator "aprendizagem" foi um fator de viés que deve ser equacionado.

Por meio da análise da correlação entre os dados dos fatores de riscos e a frequência cardíaca é possível observar que os dados de ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro, em separado possuem fraca correlação estatística com a FC dos operadores de equipamentos da construção civil. Com isso os valores dos fatores de riscos físicos quando analisados separadamente não são capazes explicar os valores de frequência cardíaca dos operadores de máquinas da construção civil.

Contudo, a regressão linear múltipla (RLM) dos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro) consegue explicar 92,5% dos dados de TMR dos operadores de máquinas de construção civil com confiabilidade superior a 95%. Ou seja, a observação do TMR deve levar em consideração os fatores de risco físico de forma combinada, tendo em vista que quando em separado os fatores de risco não possuem correlação com o TMR.

A regressão linear múltipla (RLM) dos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e vibrações de corpo inteiro) consegue explicar 98,4% dos dados de FC dos operadores de máquinas de construção civil com confiabilidade superior a 95%. Ou seja, a observação da FC deve levar em consideração os fatores de risco de forma combinada, tendo em vista que quando em separado os fatores de riscos não possuem correlação com o FC.

Seria esperado que quando os operadores de ECC fossem expostos aos fatores dos riscos físicos com valores individuais abaixo dos limites de tolerância que suas variáveis dependentes fossem diferentes do que quando observados com uma exposição acima dos limites. Porém, por meio da análise dos intervalos de confiança, é possível observar que não há diferença entre os mesmos. Tal parece acontecer devido à sinergia existente entre os vários fatores de risco físico.

Nesse contexto, o ruído o estresse térmico e a vibração de corpo inteiro, mesmo com exposições a níveis abaixo dos limites de tolerância, possuem a capacidade de gerar respostas nos

operadores, estatisticamente iguais como se os mesmos estivessem em condições de trabalho no limite de tolerância ou em condição de risco.

Essa capacidade de produzir efeitos sobre as variáveis dependentes como se o operador estivesse acima dos limites de tolerância, para existir necessita que os níveis dos fatores de riscos físicos estejam em intervalos específicos de valores, caso contrário esse efeito não é identificado por meio do RLM.

Nesse contexto, o efeito sinérgico teoricamente é a causa por trás dessas variáveis dependentes, tendo como base o modelo de previsão gerado pela análise estatística de RLM.

Por meio da RLM é possível observar que durante as operações com ECC, o ruído é o fator determinante do efeito combinado dos demais fatores sobre o TMR dos operadores. A sinergia entre fatores de risco físico apenas acontece quando a exposição ao ruído for superior a 54 dB(A) e as restantes exposições estiverem abaixo dos respectivos valores limite.

De forma análoga ao TMR, o ruído é o fator determinante do efeito sinérgico sobre a FC dos operadores de equipamentos da construção civil. O efeito sinérgico entre os fatores de risco físico apenas acontece com o ruído superior a 44 dB(A) e as outras exposições estiverem abaixo dos limites de tolerância.

Diante do exposto, do ponto de vista estatístico, existe certa sinergia dos fatores de risco físico (ruído, estresse térmico e VCI) sobre as variáveis dependentes (TMR e FC) dos operadores de equipamento da construção civil.

A sinergia entre os fatores de risco observados não está relacionada a capacidade de ser mais agressivo ao ser humano durante a exposição, mas sim ao fato dos dados das variáveis dependentes obtidas só poderem ser explicados pela combinação dos mesmos. Ao ponto de quando um dos fatores ser retirado da análise o modelo perde sua capacidade de previsão.

7.2 Perspectiva de trabalhos futuros

A construção de modelos de previsão é tendência crescente em todas as áreas do conhecimento humano. Entender as variáveis associadas a comportamentos ou saúde que podem no futuro estar relacionado a alguma consequência na mudança dos padrões de comportamento ou de saúde, pode determinar quais soluções ou medidas de controle deverão ser tomadas em médio e longo prazo.

Nesse contexto, o estudo dos padrões de exposição ocupacional por meio das regressões lineares múltiplas ou de outras ferramentas estatísticas que auxiliem na interpretação desses padrões é o

próximo desafio a ser superado. Assim como nos esportes, o atleta de alto rendimento tem seus padrões de frequência cardíaca, respostas cognitivas, nutrição, rendimento nos treinos mapeados por meio de modelos de previsão, para que novos treinos sejam preparados e assim alcançar níveis elevados de rendimento. A saúde e segurança do trabalho, bem como a ergonomia também devem explorar os padrões fisiológicos que antecedem as doenças ocupacionais. A análise desses padrões por meio dos modelos de previsão permitirá que empresas e sociedade não só se antecipem a problemas ocupacionais como trabalhe para o aumento do rendimento dos trabalhadores. Fazendo com que o mesmo atinja seu nível de excelência individual, sem comprometer a saúde, da mesma forma que os atletas de alto rendimento o fazem.

A tendência do século XXI é a ampliação das análises estatísticas para o desenvolvimento de modelos de previsão mais precisos nos diversos setores do conhecimento humano. Isso já é visto na área de tecnologia da informação, onde os padrões de consumo são mapeados para o desenvolvimento de novos produtos e serviços, determinado pelos modelos de projeção. Nos esportes o atleta tem sua rotina alterada baseada no objetivo de melhoria identificado por meio de modelos de projeção. Para prevenir doenças e acidentes de trabalho e otimização das tarefas as rotinas devem ser criadas partir do estudo dos padrões de realização da mesma.

Estudos futuros poderão desenvolver a análise de outros padrões de variáveis dependentes como níveis hormonais, síntese proteica, glicemia, entre outros e cruzar esses dados com os dados de exposição aos fatores de riscos físico. Também poderão associar os padrões de exposição atuais com as manifestações de doenças futuras e criar modelos de previsão que permitam a implantação de medidas de controle antes que o trabalhador manifeste qualquer tipo de doença ocupacional.

Em novos estudos é recomendado que o número de participantes seja o suficiente para se construir grupos de controle. Esses grupos devem ter as mesmas características do grupo avaliado, porém com níveis de exposições menores.

Em novas pesquisas será possível avaliar os padrões de respostas fisiológicas atuais de trabalhadores e avaliar até que ponto os mesmos correspondem a manifestação de doenças. Da mesma forma podem ser identificados padrões operacionais e de saúde ocupacional que se relacionam com a ocorrência de acidentes.

Em trabalhos futuros a identificação de padrões e previsão de consequência por meio de modelos de previsão deverão ser explorados, e assim da mesmas forma que outros segmentos já o fazem, a engenharia humana também desenvolverá algoritmos para previsão de acidentes, doenças,

desempenho humano em tarefas tendo como base os padrões de exposição ocupacional, padrões de respostas fisiológicas, padrões de comportamento do trabalhador, entre outros que forem descobertos.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

Bibliografia

- Aboobackr, R., Ghugare, B. W., & Dinkar, M. R. (2014). Brainstem evoked response audiometry in stone cutting workers at a construction site. *Indian Journal of Otology*, 20(4), 203–207.
- ACGIH (2015). *Guide to occupational exposure values 2015*. Cincinnati, OH: ACGIH.
- Aggarwal, A., & Upadhyay, R. (2013). *Heat stress and animal productivity*. India: Springer.
- Ahmadi, N., & Shahandashti, M. (2017). Comparative empirical analysis of temporal relationships between construction investment and economic growth in the United States. *Construction Economics and Building*, 17(3), 85.
- Alchorne, A. D. O. D. A., Alchorne, M. M. D. A., & Silva, M. M. (2010). Dermatoses ocupacionais. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 85(2), 137-147.
- Alfonsi, P., Adam, F., & Bouhassira, D. (2016). Thermoregulation and pain perception: Evidence for a homeostatic (interoceptive) dimension of pain. *European Journal of Pain*, 20(1), 138–148.
- Allard, J. F., & Atalla, N. (2009). *Propagation of sound in porous media: Modelling sound absorbing materials*. San Francisco, CA: John Wiley and Sons.
- American Industrial Hygiene Association - AIHA. (1971). Ergonomics Guild to Assessment of Metabolic and Cardiac Costs of Physical Work. *Ergonomics Guilds*, 1, 560-564.
- Antwi-Afari, M. F., Li, H., Edwards, D. J., Pärn, E. A., Seo, J., & Wong, A. Y. L. (2017). Biomechanical analysis of risk factors for work-related musculoskeletal disorders during repetitive lifting task in construction workers. *Automation in Construction*, 83, 41–47.
- Arezes, P. M., & de Carvalho, P. V. R. (2016). *Ergonomics and human factors in safety management*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Arezes, P. M., & Miguel, A. S. (2005). Individual perception of noise exposure and hearing protection in industry. *Human Factors*, 47(4), 683-692.
- Armstrong, N., & McManus, A. M. (2010). *The elite young athlete*. United Kingdom: S Karger AG.
- Azevedo, L. F., Costa-Pereira, A., Mendonça, L., Dias, C. C., & Castro-Lopes, J. M. (2016). The economic impact of chronic pain: a nationwide population-based cost-of-illness study in Portugal. *European Journal of Health Economics*, 17(1), 87–98.
- Banfalvi, G. (2014). *Homeostasis - tumor - metastasis*. Netherlands: Springer.
- Baptista, V. (2015). Starting physiology: bioelectrogenesis. *Advances in Physiology Education*,

39(4), 397–404.

- Barbosa, A. M. G., Fattore, G. L., Peres, M. C., & Silva, R. C. (2013). *Segurança e saúde na indústria da construção*. Brasília: V. S. Santana, Ed.
- Barcellos, M., Faletti, M. M., Madureira, L. A. dos S., & Bauer, F. C. (2016). Analytical evaluation of the protection offered by sealed tractor cabins during crop pulverization with fenitrothion. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), 600-670.
- Barkokébas Júnior, B., Lordsllem Junior, A. C., Vasconcelos, B. M., Duarte, C. M. M. (2009). *Sistema de gestão em segurança e saúde do trabalho e de gestão da qualidade na construção civil*. Recife-PE: EDUPE.
- Barkokébas Júnior, B., Martins, L. B., Lago, E. M. G., Guimarães, B. M., & Cruz, F. M. (2013). Working conditions in the urban transport sector in the metropolitan region of Recife : Risk analysis of the jobs of driver and conductor. *In Occupational Safety and Hygiene 2013*, (pp. 601–605). London, UK: Taylor & Francis Group.
- Barlow, H. B., & Hill, R. M. (1963). Evidence for a physiological explanation of the waterfall phenomenon and figural after-effects. *Nature*. 200. 1345-1347.
- Batista, M., Wallerstein, L., & Dias, R. (2007). Efeitos do treinamento com Plataformas vibratórias. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 15(3), 103–113.
- Bellia, M., Ferrara, A., Bellia, S., Serafino, L., Milana, F., & Farruggia, E. (2007). Silica carcinogenicity: description of a clinical case. *La Medicina Del Lavoro*, 98(4), 312–9.
- Bhanarkar, A. D., Srivastava, A., Joseph, A. E., & Kumar, R. (2005). Air pollution and heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing unit in india. *Environmental Monitoring and Assessment*, 109(1–3), 73–80.
- Biglari, H., Ebrahimi, M., Salehi, M., Poursadeghiyan, M., Ahmadnezhad, I., & Abbasi, M. (2016). Relationship between occupational stress and cardiovascular diseases risk factors in drivers. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 29(6), 895–901.
- Birch, R. (2011). *Surgical disorders of the peripheral nerves*. London: Springer.
- Bishop B. (1974). Vibratory stimulation - neurophysiology of motor responses evoked by vibratory stimulation. *Physical Therapy*, 54, 1273–1282.
- Boiarynova, K. O. (2016). Functionality of innovative activities of machine-building enterprises within the processing industry. *Actual Problems of Economics*, 182(8), 352–360.
- Bongiovanni, L. G., Hagbarth, K. E., & Stjernberg, L. (1990). Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. *The Journal of Physiology*, 423(1),

15–26.

- Bønløkke, J. H., Cormier, Y., Veillette, M., Radu, A., Mériaux, A., & Duchaine, C. (2013). Immunologic mechanisms in the adaptation of swine farm workers to their work environment. *Innate Immunity*, 19(4), 403–410.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Brasil (2011a). *Portaria MTb n.o 3.214, de 08 de junho de 1978. NR 15 – Atividades e operações insalubres*. Brasília: MTE.
- Brasil (2011b). *Portaria MTb n.o 3.214, de 08 de junho de 1978. NR 06 – Equipamentos de proteção individual*. Brasília: MTE.
- Brasil (2014). *Portaria MTb n.o 3.214, de 08 de junho de 1978. NR 09 – Programa de prevenção de riscos ambientais*. Brasília: MTE.
- Brueck, S. E., Panaccio, M. P., Stancescu, D., Woskie, S., Estill, C., & Waters, M. (2013). Noise exposure reconstruction and evaluation of exposure trends in two large automotive plants. *Annals of Occupational Hygiene*, 57(9), 1091–1104.
- Bruel & Kjaer (1985). *Technical Review n. 2 - Heat Stress*. Dinamarca.
- Burgess-Limerick, R., & Lynas, D. (2016). Long duration measurements of whole-body vibration exposures associated with surface coal mining equipment compared to previous short-duration measurements. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(5), 339–345.
- Cakar, H. I., Cidem, M., Sebik, O., Yilmaz, G., Karamehmetoglu, S. S., Kara, S., ... Türker, K. S. (2015). Whole-body vibration-induced muscular reflex: Is it a stretch-induced reflex? *Journal of Physical Therapy Science*, 27(7), 2279–2284.
- Campos, M. H. A. C. (2002). *A evolução da construção. Perspectiva e enquadramento histórico. A construtibilidade em projectos de edificios para o ensino superior público em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho: Braga, 221pgs.
- Capra, F. (2012). *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix.
- Cardinale, M., & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(1), 3–7.
- Cardinale, M., Soiza, R. L., Leiper, J. B., Gibson, A., & Primrose, W. R. (2010). Hormonal responses to a single session of wholebody vibration exercise in older individuals. *British Journal of Sports Medicine*, 44(4), 284–288.

- Casanovas, M., Armengou, J., & Ramos, G. (2014). Occupational risk index for assessment of risk in construction work by activity. *Journal of Construction Engineering and Management* 140(1), 1–9.
- Caterpillar. (2017). *Máquinas e equipamentos Caterpillar*. Consultado em 12/12/2017, disponível em: <https://www.cat.com>
- Cavagioni, L. C., Pierin, A. M. G., Batista, K. de M., Bianchi, E. R. F., & Costa, A. L. S. (2009). Health problems, hypertension and predisposition to stress in truck drivers. *Revista da Escola de Enfermagem*, 43(2), 1263–1267.
- Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil - CBIC. (2015). *Banco de Dados - CBIC*. Consultado em 12/12/2015, disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/emprego/>
- Cegolon, L., Lange, J. H., & Mastrangelo, G. (2010). The primary care practitioner and the diagnosis of occupational diseases. *BMC Public Health*, 10 (405), 1-4.
- Celi, F. S., Brychta, R. J., Linderman, J. D., Butler, P. W., Alberobello, A. T., Smith, S., ... Chen, K. Y. (2010). Minimal changes in environmental temperature result in a significant increase in energy expenditure and changes in the hormonal homeostasis in healthy adults. *European Journal of Endocrinology*, 163(6), 863–872.
- Cheng, C. W., & Wu, T. C. (2013). An investigation and analysis of major accidents involving foreign workers in Taiwan's manufacture and construction industries. *Safety Science*, 57, 223–235.
- Chiang, C. M., Liu, C. C., Lin, F. M., Wang, W., & Chou, P. C. (2012). Using ryodoraku measurement to evaluate the impact of environmental noise on human physiological response. *Indoor and Built Environment*, 21(2), 241–252.
- Chih, Y.Y., Kiazad, K., Zhou, L., Capezio, A., Li, M., & D. Restubog, S. L. (2016). Investigating employee turnover in the construction industry: A psychological contract perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(6), 1-9.
- Chinnadurai, J., Venugopal, V., Kumaravel, P., & Paramesh, R. (2016). Influence of occupational heat stress on labour productivity – a case study from Chennai, India. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 65(2), 245–255.
- Chiu, M.C. (2009). Optimization of equipment allocation and sound-barriers shape in a multi-noise plant by using simulated annealing. *Noise and Vibration Worldwide*, 40(7), 23–35.
- Chohan, J. S., & Bilga, P. S. (2011). Occupational health hazards in small scale steel manufacturing industries: A case study. *International Journal of Manufacturing Technology*

- and Management*, 24(1–4), 182–192.
- Cioca, L. I., & Ivascu, L. (2016). Investigating occupational diseases in the metallurgical industry. *Metalurgija*, 55(4), 852–854.
- Cîrțînă, D., Ionescu, N., & Cîrțînă, L. M. (2016). Environmental impact assesment related to metallurgical industry activities. *Metalurgija*, 55(3), 481–484.
- Cochran, W. G., & Cox, G. M. (1957). *Experimental designs*. San Francisco, CA: John Wiley & Sons.
- Cohen, A. (1977). Extra-auditory effects of acoustic stimulation. In *Handbook of physiology, sect 9: Reaction to environmental agents* (pp. 31–44). Bethesda, MD: American Physiological Society.
- Coyte, J. L., Stirling, D., Du, H., & Ros, M. (2016). Seated whole-body vibration analysis, technologies, and modeling: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 46(6), 725–739.
- Cruz, F. M., (2014). *Aplicação do princípio da matriz de leopold na análise da exposição combinada a agentes ambientais em operadores de equipamentos de pavimentação*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco: Recife-PE, 104 pgs.
- Cruz, F. M., Lago, E. M. G., & Barkokébas Júnior, B. (2013). Evaluation of noise generated by propagation equipment beat stakes construction site. In *Occupational Safety and Hygiene 2013* (pp. 437–441). London, UK: Taylor & Francis Group.
- Cunha, I. de Â., & Giampaoli, E. (2012). *Norma de higiene ocupacional procedimento técnico 09 - Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro - Procedimento técnico*. São Paulo: FUNDACENTRO.
- D'Errico, A., Mamo, C., Tomaino, A., Dalmasso, M., Demaria, M., & Costa, G. (2002). Mortality of a cohort of road construction and maintenance workers with work disability compensation. *Medicina Del Lavoro*, 93(6), 519–526.
- De Souza, R. J. S. A. P., Mattedi, A. P., Corrêa, M. P., Rezende, M. L., & Ferreira, A. C. A. (2011). Estimativa do custo do tratamento do câncer de pele tipo não-melanoma no estado de São Paulo - Brasil. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 86(4), 657–662.
- De Souza, T. C. F., Périssé, A. R. S., & Moura, M. (2015). Noise exposure and hypertension: investigation of a silent relationship. *BMC Public Health*, 15(1), 1–9.
- Degorre, C., Décima, P., Dégrugilliers, L., Ghyselen, L., Bach, V., Libert, J. P., & Tourneux, P. (2015). A mean body temperature of 37°C for incubated preterm infants is associated with lower energy costs in the first 11 days of life. *Acta Paediatrica, International Journal of*

- Paediatrics*, 104(6), 581–588.
- Dernedde', E., & Gilbert, D. (1991). Prediction of wet-bulb globe temperatures in aluminum smelters. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 52(3), 120–126.
- Di Giminiani, R., Fabiani, L., Baldini, G., Cardelli, G., Giovannelli, A., & Tihanyi, J. (2014). Hormonal and neuromuscular responses to mechanical vibration applied to upper extremity muscles. *PLoS ONE*, 9(11), 1–8.
- Dianat, I., Vahedi, A., & Dehnavi, S. (2016). Association between objective and subjective assessments of environmental ergonomic factors in manufacturing plants. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 54, 26–31.
- Dias, A., Cordeiro, R., Corrente, J. E., & Gonçalves, G. de O. G. (2006). Associação entre perda auditiva induzida pelo ruído e zumbidos. *Cadernos de Saude Publica*, 22(1), 63–68.
- Dieroff, H. D. (1982). Behavior of high-frequency hearing in noise. *Audiology*, 21 (1), 83–92.
- Donáth, T. (2006). Effects of environmental noises and sounds on the quality of life controlled by the central nervous system. *Orvosi Hetilap*, 147(16), 737–739.
- Grandjean. (1980). *Fitting the task to the man: Ergonomic approach*. United Kingdom: Taylor & Francis.
- Enslin, G. M., Hamman, J. H., & Kotzé, A. F. (2008). Intestinal drug absorption enhancers: Synergistic effects of combinations. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 34(12), 1343–1349.
- Erickson, D. A., Fausti, S. A., Frey, R. H., & Rappaport, B. Z. (1980). Effects of steady-state noise upon human hearing sensitivity from 8000 to 20000 Hz. *American Industrial Hygiene Association journal*, 41(6), 427–432.
- Ericson, C. A. (2005). *Hazard analysis techniques for system safety*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Evanoff, B., Kaskutas, V., Dale, A. M., Gaal, J., Fuchs, M., & Lipscomb, H. (2012). Outcomes of a revised apprentice carpenter fall prevention training curriculum. *Work*, 41(1), 3806–3808.
- Evgen'Ev, M. B., Garbuz, D. G., & Zatsepina, O. G. (2014). *Heat shock proteins and whole body adaptation to extreme environments*. Netherlands: Springer.
- Fohr, J.P. (2015). *Heat and moisture transfer between human body and environment*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Fonseca, H., Santos, V., & Ferreira, A. (2002). *A natureza do som e ouvido humano*. Consultado em 10/11/2017, disponível em:

http://telecom.inescn.pt/research/audio/cienciaviva/natureza_som.htm

- Fuchs, H. (2013). *Applied acoustics: Concepts, absorbers, and silencers for acoustical comfort and noise control: Alternative solutions - Innovative tools - Practical examples*. Berlin: Springer-Verlag.
- FUNDACENTRO (2001). *Norma de Higiene Ocupacional 06 (NHO 06) - Procedimento técnico - Avaliação da exposição ocupacional ao calor*. Brasília: FUNDACENTRO.
- Gerges, S. N. Y. (1992). *Ruído: Fundamentos e controle*. Florianópolis: Universidade Federal de São Carlos.
- Gholami, T., Veyseh, P. P., Aliabadi, M., & Farhadian, M. (2014). Study of noise pollution and its effects on subjective fatigue of staff in the governmental banks of Hamadan city. *Iran Occupational Health*, 11(5), 65–73.
- Giang, D. T. H., & Sui Pheng, L. (2011). Role of construction in economic development: Review of key concepts in the past 40 years. *Habitat International*, 35(1), 118–125.
- Gomes, J., Lloyd, O., & Norman, N. (2002). The health of the workers in a rapidly developing country: Effects of occupational exposure to noise and heat. *Occupational Medicine*, 52(3), 121–128.
- Gong, P. (2015). Application of noise standard in environmental impact assessment on railway and urban rail transit. *Journal of Railway Engineering Society*, 32(8), 106–110.
- Grime, J. P., & Pierce, S. (2012). *The evolutionary strategies that shape ecosystems*. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell.
- Gubernot, D. M., Anderson, G. B., & Hunting, K. L. (2015). Characterizing occupational heat-related mortality in the United States, 2000-2010: An analysis using the census of fatal occupational injuries database. *American Journal of Industrial Medicine*, 58(2), 203–211.
- Guignard, J. C. (1960). Physiological effects of mechanical vibration. *Royal Society of Medicine*, 53, 92–6.
- Habibi, P., Momeni, R., & Dehghan, H. (2015). Relationship of environmental, physiological, and perceptual heat stress indices in Iranian men. *International Journal of Preventive Medicine*, 6(1), 116–120.
- Hailes, W. S., Cuddy, J. S., Cochrane, K., & Ruby, B. C. (2016). Thermoregulation during extended exercise in the heat: Comparisons of fluid volume and temperature. *Wilderness and Environmental Medicine*, 27(3), 386–392.
- Hancock, P. A., & Pierce, J. O. (1985). Combined effects of heat and noise on human performance:

- A review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 46(10), 555–566.
- Harrison, J. (2012). Occupational safety and health in the United Kingdom: Securing future workplace health and wellbeing. *Industrial Health*, 50(4), 261–266.
- Harrison, J., & Dawson, L. (2016). Occupational health: Meeting the challenges of the next 20 years. *Safety and Health at Work*, 7(2), 143–149.
- Hemmelgarn, C., & Gannon, K. (2013). Heatstroke: thermoregulation, pathophysiology, and predisposing factors. *Compendium*, 35(7), 1–6.
- Hilyer, B., Leviton, L., Overman, L., & Mukherjee, S. (2000). A union-initiated safety training program leads to improved workplace safety. *Labor Studies Journal*, 24(4), 53–66.
- IBGE (2015). *Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA*. Consultado em 15/06/2016, disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/demografia-das-empresas/tabelas>
- Igboh, N. M., Onwubiko, D., Agomuo, E. N., Onyesom, I., Maduagwunal, C. A., & Uzuegbu, U. E. (2009). Synergistic effect of alcohol and antiretroviral drugs on hepatic function. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 6(1), 107–110.
- ILO. (2016). *Key indicators of the labour market*. Genebra: International Labour Office.
- IMD. (2016). *World competitiveness yearbook*. Lausanne: IMD World Competitiveness Center.
- Isbell, W. M. (2005). *Shock waves: Measuring the dynamic response of materials*. Londres: Imperial College Press.
- International Organization for Standardization. (1997). *ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*. Genebra: ISO.
- International Organization for Standardization. (2001). *ISO 5349-1 Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements*. Genebra: ISO.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 7243 Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index*. Genebra: ISO.
- International Organization for Standardization. (1998). *ISO 7726 - Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities*. Genebra: ISO.
- International Organization for Standardization. (2004). *ISO 8996 - Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate*. Genebra: ISO.
- iStockphoto. (1993). *Ponte da Normandia*. Consultado em 12/12/2017, disponível em:

<https://www.istockphoto.com.br>

- Jain, R. K. (2012). *Handbook of environmental engineering assessment*. Stockton, CA: Elsevier Inc.
- Ji, X., Eger, T. R., & Dickey, J. P. (2017). Evaluation of the vibration attenuation properties of an air-inflated cushion with two different heavy machinery seats in multi-axis vibration environments including jolts. *Applied Ergonomics*, 59, 293–301.
- Josipovic, S., & Ludwig, E. (2012). *Heat stress: Causes, treatment and prevention*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc.
- Kaas, J. H. (2010). *Evolution of nervous systems*. Nashville, TN: Elsevier Inc.
- Kerschman-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V., & Imhof, H. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology*, 21(3), 377–382.
- Key, D. J. (2014). Comprehensive thermoregulation for the purpose of skin tightening using a novel radiofrequency treatment device: a preliminary report. *Journal of Drugs in Dermatology*, 13(2), 185–189.
- Kim, J. H., Yang, J. M., Yong, J.W., Ko, B. S., Yoo, B., & Ko, J. W. (2014). Development of hazardous work mapping methodology based on layout of workplace handling the accident preparedness substances. *Korean Chemical Engineering Research*, 52(6), 736–742.
- Kim, Y. H. (2010). *Sound propagation: An impedance based approach*. Hoboken, NJ: Wiley.
- King, F., & Chawla, R. C. (1984). Enthalpy for phase change. In *AIChE Modular Instruction Series F: Material and Energy Balances* (pp. 35–46). New York: Elsevier B.V.
- Klusackova, P., Pelclova, D., & Lebedova, J. (2008). Possibilities of early diagnosis of occupational asthma. *Prague Medical Report*, 109, 247–260.
- Komi, P. V. (2007). *Força e potência no esporte*. São Paulo: Artmed.
- Krumlová, H., Pánek, D., & Pavlů, D. (2010). Measurement of EMG activity of muscular tissue after the application of whole-body cool therapy (-130 ° C). *Rehabilitace a Fyzikalni Lekarstvi*, 17(1), 14–20.
- Kurtz, L. A., Vi, P., & Verma, D. K. (2012). Occupational exposures to hand-arm vibration, whole-body vibration, and noise among crane operators in construction: A pilot study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9(6), 117–122.
- Kuzawa W., C. (2004). *Allostasis, homeostasis, and the costs of physiological adaptation*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Lago, E. M. G. (2006). *Proposta de sistema de gestão em segurança no trabalho para empresas de construção civil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco: Recife, 169 pgs.
- Lai, Z., Wang, X., Tan, H., Huang, Y., & Lu, C. (2015). Effect of underground work on cardiovascular system in coal miners. *Journal of Central South University*, 40(10), 1103–1108.
- Lajkó, E., Pállinger, É., & Csaba, G. (2012). Durable effect of heat-stress on the hormone production of *Tetrahymena*. Effect of insulin on the consequences of stress. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 59(2), 249–256.
- Latash, M. L. (2009). *Synergy*. Pennsylvania: Oxford University Press.
- Li, A. P. (2007). *Drug–drug interactions in pharmaceutical development*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Li, B., Yang, Y., Yao, R., Liu, H., & Li, Y. (2017). A simplified thermoregulation model of the human body in warm conditions. *Applied Ergonomics*, 59, 387–400.
- Li, W., Zhang, M., Lv, G., Han, Q., Gao, Y., Wang, Y., Li, Z. (2015). Biomechanical response of the musculoskeletal system to whole body vibration using a seated driver model. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 45, 91–97.
- Li, Y., Li, Y., Zhao, Y., & Wang, F. (2014). Which factor dominates the industry evolution? A synergy analysis based on China's ICT industry. *Engineering Economics*, 25(3), 273–282.
- Li, Z., Zhang, M., Chen, G., Luo, S., Liu, F., & Li, J. (2012). Wavelet analysis of lumbar muscle oxygenation signals during whole-body vibration: Implications for the development of localized muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 3109–3117.
- Lindsley, M., & Cadorette, M. (2015). Preventing heat-related illness in the workplace. *Workplace Health & Safety*, 63(4), 192–192.
- Linseman, M. E., Palmer, M. S., Sprenger, H. M., & Spriet, L. L. (2014). Maintaining hydration with a carbohydrate–electrolyte solution improves performance, thermoregulation, and fatigue during an ice hockey scrimmage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), 1214–1221.
- Lira, M. J. (2014). *Avaliação da exposição ocupacional a poeiras de madeiras no processamento de madeiras na cadeia de fornecedores da construção civil*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco: Recife, 141 pgs.
- Ljungberg, J. K. (2007). Cognitive degradation after exposure to combined noise and whole-body vibration in a simulated vehicle ride. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 3(2),

130–142.

- Ljungberg, J. K., & Neely, G. (2007). Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *Journal of Environmental Psychology, 27*(1), 44–54.
- Ljungberg, J., & Neely, G. (2005). Attention Performance after Exposure to Combined Noise and Whole-Body Vibration. Proceedings from: *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Orlando, FL.
- Ljungberg, J., Neely, G., & Lundström, R. (2004). Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 77*(3), 217–221.
- Lohman, E. B., Petrofsky, J. S., Maloney-Hinds, C., Betts-Schwab, H., & Thorpe, D. (2007). The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Medical Science Monitor, 13*(2), 71–76.
- López-Alonso, M., Ibarondo-Dávila, P., & Rubio-Gámez, M. C. (2015). Analysis the cost of prevention in construction sites. *Informes de La Construcción, 67*(537), 1–10.
- López-valcárcel, A., Lima Júnior, J. M., & Dias, L. A. (2005). Segurança e saúde no trabalho da construção: experiência brasileira e panorama internacional. Brasília: OIT Brasil.
- Lorenzi, A., & Chaix, B. (2016). *Som*. Consultado em 10/11/2017, disponível em: <http://www.cochlea.eu/po/som>
- Lu, W.Y., & Wang, W.H. (2009). Diagnosis and control of machine induced noise and vibration in steel construction. *Journal of Mechanical Science and Technology, 22*(11), 2107–2121.
- Machado, D. E., Loureiro, G., Tavares, B., Calado, G., Ribeiro, C. A., Chieira, C. M. S., & Pereira, C. (2009). Specific inhalation challenge chamber test in textile industry workers with occupational environment related respiratory symptoms. *Revista Portuguesa de Imunoalergologia, 17*(3), 243–260.
- Malcolm, S., Armstrong, R., Michaliades, M., & Green, R. (2000). A thermal assessment of army wet weather jackets. *International Journal of Industrial Ergonomics, 26*(3), 417–424.
- Mancini, M. E., Cazzell, M., Kardong-Edgren, S., & Cason, C. L. (2009). Improving workplace safety training using a self-directed CPR-AED learning program. *Journal of the American Association of Occupational Health Nurses, 57*(4), 159-167-169.
- Mandal, B. B., & Srivastava, A. K. (2010). Musculoskeletal disorders in dumper operators exposed to whole body vibration at indian mines. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 24*(3), 233–243.

- Manjunatha, R., Kiran, D., & Thankappan, K. R. (2011). Sickness absenteeism, morbidity and workplace injuries among iron and steel workers - a cross sectional study from Karnataka, Southern India. *Australasian Medical Journal*, 4(3), 143–147.
- Manninen, O. (1983a). Simultaneous effects of sinusoidal whole body vibration and broadband noise on TTS2's and R-wave amplitudes in men at two different dry bulb temperatures. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 51(4), 289–297.
- Manninen, O. (1983b). Studies of combined effects of sinusoidal whole body vibrations and noise of varying bandwidths and intensities on TTS2 in men. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 51(3), 273–288.
- Manninen, O. (1984). Hearing threshold and heart rate in men after repeated exposure to dynamic muscle work, sinusoidal vs stochastic whole body vibration and stable broadband noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 54(1), 19–32.
- Manninen, O. (1985). Cardiovascular changes and hearing threshold shifts in men under complex exposures to noise, whole body vibrations, temperatures and competition-type psychic load. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 56(4), 251–274.
- Manninen, O. (1986). Bioresponses in men after repeated exposures to single and simultaneous sinusoidal or stochastic whole body vibrations of varying bandwidths and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 57(4), 267–295.
- Manninen, O., & Ekblom, A. (1984). Single and joint actions of noise and sinusoidal whole body vibration on TTS2 values and low frequency upright posture sway in men. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 54(1), 1–17.
- Maric, J., Marjanovic, M., Jovanovic, D., Stojanovic, F., Vukmirovic, D., & Jakovljevic, V. (2015). Simple and complex cognitive functions under exertional heat stress. *Serbian Journal of Experimental and Clinical Research*, 16(1), 1471–1478.
- Marinacci, C., D'Errico, A., Cardano, M., Perini, F., & Costa, G. (2005). Occupational differences in exposure to hazardous work conditions. *La Medicina Del Lavoro*, 96(1), 127-140.
- Martinez, M. C., & Latorre, M. do R. D. de O. (2006). Risk factors for hypertension and diabetes mellitus in metallurgic and siderurgic company's workers. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 87(4), 471–479.
- Martins, A. R. B. (2009). *Caracterização e avaliação de poeiras presentes em canteiros de obras de edificações verticais*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco: Recife, 214 pgs.

- McLellan, T. M. (2001). The importance of aerobic fitness in determining tolerance to uncompensable heat stress. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 128(4), 691–700.
- McNeil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2015). *Quantitative risk management: Concepts, techniques and tools*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Megbele, Y., Lam, K. B. H., & Sadhra, S. (2012). Risks of cataract in Nigerian metal arc welders. *Occupational Medicine*, 62(5), 331–336.
- Mélo Filho, E. C., Rabbani, E. R. K., & Barkokébas Júnior, B. (2012). Avaliação da segurança do trabalho em obras de manutenção de edificações verticais. *Production*, 22(4), 817–830.
- Mester, J., Kleinöder, H., & Yue, Z. (2006). Vibration training: Benefits and risks. *Journal of Biomechanics*, 39(6), 1056–1065.
- MF., INSS., & DATAPREV. (2015). *Anuário Estatístico da Previdência Social*. Brasília: MPS
- Miyake, Y. (2013). Pathophysiology of heat illness: Thermoregulation, risk factors, and indicators of aggravation. *Japan Medical Association Journal*, 56(3), 167–173.
- Moraes, G. F. de S., Sampaio, R. F., Silva, L. F., & Souza, M. A. P. (2016). Whole-body vibration and musculoskeletal diseases in professional truck drivers. *Fisioterapia em Movimento*, 29(1), 159–172.
- Morales, A. L., Nieto, A. J., Chicharro, J. M., & Pintado, P. (2015). An adaptive pneumatic system for the attenuation of random vibrations. *Journal of Vibration and Control*, 21(5), 907–918.
- Mościcka-Teske, A., Sadłowska-Wrzesińska, J., Butlewski, M., Misztal, A., & Jacukowicz, A. (2017). Stressful work characteristics, health indicators and work behavior: the case of machine operators. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(4), 510–518.
- MPT., & OIT. (2017). *Observatório digital de saúde e segurança do trabalho*. Consultado em 02/08/2017, disponível em: <https://observatoriosst.mpt.mp.br/>
- Mukherjee, A. K., Bhattacharya, S. K., Ahmed, S., Roy, S. K., Roychowdhury, A., & Sen, S. (2003). Exposure of drivers and conductors to noise, heat, dust and volatile organic compounds in the state transport special buses of Kolkata city. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(1), 11–19.
- Mulligan, G., Taylor, N., Glen, M., Tomlin, D., & Gaul, C. A. (2011). Cross-disciplinary thermoregulation and sweat analysis laboratory experiences for undergraduate chemistry and exercise science students. *Advances in Physiology Education*, 35(2), 206–212.
- Muzammil, M., Khan, A. A., & Hasan, F. (2007). Effect of noise, heat stress and exposure duration

- on operators in a die casting operation. *Occupational Ergonomics*, 7(4), 233–245.
- National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH. (1986). *Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Hot Environments*. Estados Unidos.
- Neitzel, R. L., Heikkinen, M. S. A., Williams, C. C., Viet, S. M., & Dellarco, M. (2016). Pilot study of methods and equipment for in-home noise level measurements. *Applied Acoustics*, 102, 1–11.
- Nicchi, E. R. (2014). *Noise pollution - Sources, effects on workplace productivity and health implications*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Noda, M. (2011). *Mechanosensing biology*. Tokyo: Springer Japan.
- Nolan, D. P. (2014). Safety and security review for the process industries: Application of HAZOP, PHA, what-IF and SVA reviews. Waltham, MA: Elsevier Science.
- Núcleo de Segurança e Higiene do Trabalho - NSHT. (2017). *Base de imagens de auditorias de segurança do trabalho*. Consultado em 12/09/2017, disponível em: <https://www.poli.upe.br/nsht/acervo>.
- Occupational Safety and Health Administration - OSHA. (1990). *Instruction CPL 2-2.20.B - Capítulo 3 - "Heat stress"*. Washington.
- OIT - Organização Internacional do Trabalho. (2013). *A prevenção das doenças profissionais*. Brasília: OIT Brasil.
- Oliveira, K. P. M. (2009). *Efeito do protetor solar sobre a fadiga durante corrida com exposição ao sol*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 124 pgs.
- OMS. (2010). *Relatório mundial de saúde - Financiamento dos sistemas de saúde*. Brasília: OMS Brasil.
- Ortolani, C. (2012). The allergologic risk in food industry. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro*, 34(3), 480–483.
- Ozer, A. B., Yildiz Altun, A., Erhan, Ö. L., Catak, T., Karatepe, U., Demirel, I., & Caglar Toprak, G. (2016). The effect of body mass index on perioperative thermoregulation. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 12, 1717–1720.
- Park, D. (2009). Aging Asia's looming pension crisis. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*, 165, 1-32.
- Pasman, H. (2015). *Risk analysis and control for industrial processes - gas, oil and chemicals: A system perspective for assessing and avoiding low-probability, high-consequence events*. New

York: Elsevier Inc.

- Passos Junior, A. L. (2013). *Particularidades e ineficiências na gestão de riscos químicos em fundições de metais ferrosos no estado de São Paulo e seu impacto na prevenção da ocorrência e do agravamento de danos à saúde do trabalhador*. Dissertação de Mestrado. FUNDACENTRO: São Paulo, 182 pgs.
- Patil, M. K., Palanichamy, M. S., & Ghista, D. N. (1980). Response of human body to tractor vibrations and its minimisation by provision of relaxation suspensions to both wheels and seat at the plane of centre of gravity. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 18(5), 554–562.
- Pellerin, N., & Candas, V. (2003). Combined effects of temperature and noise on human discomfort. *Physiology and Behavior*, 78(1), 99–106.
- Peticaroli, S. ., Campo, G. ., Priolo, G. ., Leva, A. ., De Merich, D. ., Marangi, G. ., ... Mastrangelo, G. . e. (2008). Working and health conditions and preventive measures in a random sample of 5000 workers in the Veneto Region examined by telephone interview. *Medicina Del Lavoro*, 99(1), 9–30.
- Peters, R. J., Smith, B. J., & Hollins, M. (2013). *Acoustics and noise control*. New York, NY: Routledge.
- Picu, A. (2009). A study upon occupational noise pollution exposure at a metallic confections plant. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(2), 65–74.
- Pinch, T., & Bijsterveld, K. (2012). *The Oxford handbook of sound studies*. Oxford: Oxford University Press.
- Pordata. (2016). PORDATA - *Estatísticas, gráficos e indicadores de municípios, Portugal e Europa*. Consultado em 5/4/2016, disponível em: <http://www.pordata.pt/>
- Pretrus, T., & Kleiner, B. H. (2003). New developments concerning workplace safety training: managing stress arising from work. *Management Research News*, 26(6), 68–76.
- PUC RIO. (2016). *Sistema massa-mola*. Consultado em 10/12/2016, disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>
- Quilles, A. L. G., Bitto, C. H., Toffoli, S. F. L., & Sodré, U. (2004). *Trigonometria: Funções trigonométricas circulares*. Consultado em 10/12/2017, disponível em: <http://pessoal.sercomtel.com.br/matematica/trigonometria/trigo07.htm>
- Raffler, N., Ellegast, R., Kraus, T., & Ochsmann, E. (2016). Factors affecting the perception of whole-body vibration of occupational drivers: an analysis of posture and manual materials

- handling and musculoskeletal disorders. *Ergonomics*, 59(1), 48–60.
- Rausand, M. (2011). *Risk assessment: Theory, methods, and applications*. Oslo: Wiley Blackwell.
- Reinhold, K., Kalle, S., & Paju, J. (2014). Exposure to high or low frequency noise at workplaces : differences between assessment, health complaints and implementation of adequate personal protective equipment. *Agronomy Research*, 12(3), 895–906.
- Rentzsch, M., Prescher, W., & Weinreich, W. (1984). The combined effect of climate and noise on labour efficiency and stress. Proceedings from: *First International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors held in Tampere*. Tampere, Finland.
- Rumin, C. R., & Schmidt, M. L. G. (2008). Influências das condições e organização do trabalho de uma indústria de transformação de cana-de-açúcar na ocorrência de acidentes de trabalho. *Saude e Sociedade*, 17(4), 56–67.
- Rydlewska-Liszkowska, I. (2008). Financial incentives in workers' health management. *Medycyna Pracy*, 59(5), 429–34.
- Rzepecki, J. (2012). Cost and benefits of implementing an occupational safety and health management system (OSH MS) in enterprises in Poland. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2), 181–193.
- Sackner, M. A., Gummels, E., & Adams, J. A. (2005). Nitric oxide is released into circulation with whole-body, periodic acceleration. *Chest*, 127(1), 30–39.
- Sanders, M. S., & McCormik, E. J. (1992). *Human factors in engineering and design*. New York, NY: McGraw Hill.
- Santana, V. S., Araújo-Filho, J. B., Albuquerque-Oliveira, P. R., & Barbosa-Branco, A. (2006). Occupational accidents: social insurance costs and work days lost. *Revista de Saude Publica*, 40(6), 1004–1012.
- Santana, V. S., & Oliveira, R. P. (2004). Saúde e trabalho na construção civil em uma área urbana do Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 20(3), 797–811.
- Santos, A. M. do A., Bon, A. M. T., Gronchi, C. C., Lima, C. Q. B., Trivelato, G. da C., Valente, I. F., Cecatti, S. G. P. (2004). *Introdução à higiene ocupacional*. São Paulo: FUNDACENTRO.
- Santos, M. P., Sebben, V. C., Farenzena, P. R., Dexheimer, C. F., Santos, C. P., & Steffen, V. M. (2005). Exposure to chemical agents and noise in tanneries. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 30(111), 51–56.
- Sato, N. (2004). *Chemical energy and exergy: An introduction to chemical thermodynamics for engineers*. New York, NY: Elsevier.

- Schaefer, L. F. D., Silva, A. L. E., Moraes, J. A. R., Rohlfes, A. L. B., & Brum, T. M. M. (2015). Risk management in a plating company with cold blackening process. *Espacios*, 36(15), 1–15.
- Schalow, G. (2013). *Human neurophysiology: Development and repair of the human central nervous system*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc.
- Seidel, H., Harazin, B., Pavlas, K., Sroka, C., Richter, J., Blüthner, R., ... Rothe, R. (1988). Isolated and combined effects of prolonged exposures to noise and whole-body vibration on hearing, vision and strain. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 61(1–2), 95–106.
- Seidel, H., Meister, A., Metz, A. M., Rothe, R., Ullsperger, P., Bluethner, R., & Sroka, C. H. (1984). Effects of exposure to whole-body vibration and noise on the TTS, performance, postural sway, and auditory evoked brain potentials. Proceedings from: *1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors*. Berlin.
- Sellappan, E., & Janakiraman, K. (2014). Environmental noise from construction site power systems and its mitigation. *Noise and Vibration Worldwide*, 45(3), 14–20.
- Sheffield, P. E., Herrera, J. G. R., Lemke, B., Kjellström, T. E., & Romero, L. E. B. (2013). Current and future heat stress in nicaraguan work places under a changing climate. *Industrial Health*, 51(1), 123–127.
- Sherwood, N., & Griffin, M. J. (1990). Effects of whole-body vibration on short-term memory. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 61(12), 1092–1097.
- Shih, Y. N., Huang, R. H., & Chiang, H. Y. (2012). Background music: Effects on attention performance. *Work*, 42(4), 573–578.
- Silva, H. R., Couto, B. P., & Szmuchowski, L. A. (2008). Effects of mechanical vibration applied in the opposite direction of muscle shortening on maximal isometric strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1031–1036.
- Silva, T. R. F. (2013). *Gestão de segurança do trabalho e da manutenção em máquinas e equipamentos em obras de edificações verticais da indústria da construção*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco: Recife, 172 pgs.
- Silveira, C. A., Robazzi, M. L. D. C. C., Walter, E. V., & Marziale, M. H. P. (2005). Acidentes de trabalho na construção civil identificados através de prontuários hospitalares. *Revista Escola de Minas*, 58(1), 39–44.
- Sirvinskas, L. P. (2007). *Manual de direito ambiental*. São Paulo: Editora Saraiva.
- SkyscraperCity. (2003). *Taipei Finance Center - Taiwan*. Consultado em 12/12/2017, disponível

em: [http:// SkyscraperCity%20-%202003%20-%20Taipei%20Finance%20Center%20-%20Taiwan.html](http://SkyscraperCity%20-%202003%20-%20Taipei%20Finance%20Center%20-%20Taiwan.html)

- Smith, A. P., & Miles, C. (1987). The combined effects of occupational health hazards: an experimental investigation of the effects of noise, nightwork and meals. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 59(1), 83–89.
- Solberg, G. (2008). *Postural disorders & musculoskeletal dysfunction*. Netanya: Elsevier Ltd.
- South, T. (2013). *Managing noise and vibration at work: A practical guide to assessment, measurement and control*. United Kingdom: Routledge.
- Souza, S. S. B. (2008). *Adequação das exigências normativas de proteção contra choques elétricos às características funcionais dos canteiros de obras*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco: Recife, 144 pgs.
- Su, E., Tang, E., Lai, K. K., & Lee, Y. P. (2015). *Operational risk management in container terminals*. Hong Kong: Taylor and Francis Inc.
- Tamrin, S. B. M., Yokoyama, K., Aziz, N., & Maeda, S. (2014). Association of risk factors with musculoskeletal disorders among male commercial bus drivers in Malaysia. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 24(4), 369–385.
- Tanaka, Y., Horikawa, S., & Murata, S. (2016). An evaluation method for measuring SPL and mode shape of tire cavity resonance by using multi-microphone system. *Applied Acoustics*, 105, 171–178.
- Tang, Y., Wang, D., Li, J., Li, X., Wang, Q., Liu, N., Li, Y. (2016). Relationships between micronutrient losses in sweat and blood pressure among heat-exposed steelworkers. *Industrial Health*, 54, 215–223.
- Tankisheva, E., Jonkers, I., Boonen, S., Delecluse, C., Harry van Lenthe, G., Druyts, H. L., Verschueren, S. M. P. (2013). Transmission of whole-body vibration and its effect on muscle activation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2533–2541.
- Thouvenin, I., Bouneb, F., & Mercier, T. (2017). Operator dermal exposure and protection provided by personal protective equipment and working coveralls during mixing/loading, application and sprayer cleaning in vineyards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(2), 229–239.
- Trans, T., Aaboe, J., Henriksen, M., Christensen, R., Bliddal, H., & Lund, H. (2009). Effect of whole body vibration exercise on muscle strength and proprioception in females with knee osteoarthritis. *Knee*, 16(4), 256–261.

- Tucker, R. (2008). Thermoregulation, fatigue and exercise modality. *Medicine and Sport Science*, 53, 26–38.
- Tulashie, S. K., Addai, E. K., & Annan, J. S. (2016). Exposure assessment, a preventive process in managing workplace safety and health, challenges in Ghana. *Safety Science*, 84, 210–215.
- Van der Molen, H. F., de Vries, S. C., Stocks, S. J., Warning, J., & Frings-Dresen, M. H. W. (2016). Incidence rates of occupational diseases in the Dutch construction sector, 2010–2014. *Occupational and Environmental Medicine*, 73(5), 350–352.
- Vandergrift, J. L., Gold, J. E., Hanlon, A., & Punnett, L. (2012). Physical and psychosocial ergonomic risk factors for low back pain in automobile manufacturing workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 69(1), 29–34.
- Vangelova, K., Deyanov, C., & Ivanova, M. (2006). Dyslipidemia in industrial workers in hot environments. *Central European Journal of Public Health*, 14(1), 15–17.
- Vangelova, K. K., Deyanov, C. E., Velkova, D., Ivanová, M. V., Email, P. (2008). Heat stress in two manufacturing units. *Acta Medica Bulgarica*, 35(2), 40–46.
- Varoufakis, Y. (2015). *Conversando sobre economia com a minha filha*. São Paulo: Editora Planeta.
- Vasconcelos, B. M. (2009). *Segurança do trabalho no projeto de arquitetura: diretrizes para o controle dos riscos de acidentes na fase pós-obra*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco: Recife, 121 pgs.
- Viana, M. J., Silva, A. C. M., Mantovani, O. C., Souza, P. C., & Ferreira, S. S. (2007). *Instalações elétricas temporárias em canteiros de obras - Recomendação técnica de procedimentos - RTP 05*. São Paulo: FUNDACENTRO.
- Vincoli, J. W. (2014). *Basic Guide to System Safety*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Walling, R. E. (2014). *Dermis : Structure , composition and role in thermoregulation*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc.
- Wei, X., & van Bommel, W. (2011). Inferior verso superior: Inferior retinal light exposure is more effective in pupil contraction in humans. *Light and Engineering*, 19(2), 14–18.
- Wenemark, M., Lundström, R., Hagberg, M., & Nilsson, T. (1996). Vibrotactile perception thresholds as determined by two different devices in a working population. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 22(3), 204–210.
- Westphal, W. H. (1956). *Tratado de física*. Consultado em 16/6/2016, disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/>
- WHO. (2014). *Deafness and hearing loss*. World Health Organization. Consultado em 14/6/2016,

disponível em: <https://doi.org/doi.org/entity/mediacentre/factsheets/fs300/en/index.html>

- Willems, M. (2013). *Skeletal muscle: Physiology, classification and disease*. United Kingdom: Nova Science Publishers, Inc.
- Willemsen, A. M., Poradek, F., & Rao, M. D. (2009). Reduction of noise in an excavator cabin using order tracking and ultrasonic leak detection. *Noise Control Engineering Journal*, 57(5), 400.
- Wissmann, T. (2014). *Geographies of urban sound*. Mainz: Ashgate Publishing Ltd.
- Wright, H. E., McLellan, T. M., Stapleton, J. M., Hardcastle, S. G., & Kenny, G. P. (2012). Cortisol and interleukin-6 responses during intermittent exercise in two different hot environments with equivalent WBGT. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9(4), 269–279.
- Xia, Y., Yang, D., Hu, C., Wu, C., & Han, J. (2016). Numerical simulation of ventilation and dust suppression system for open-type TBM tunneling work area. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 56, 70–78.
- Yokoyama, T., Osako, S., & Yamamoto, K. (1974). Temporary threshold shifts produced by exposure to vibration, noise, and vibration-plus-noise. *Acta Otolaryngol*, 78(3–4), 207–212.
- Zannin, P. H. T. (2013). *Noise and ergonomics in the workplace*. Paraná: Nova Science Publishers, Inc.
- Zhang, L., Helander, M. G., & Drury, C. G. (1996). Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. *Human Factors*, 38(3), 377–389.
- Zhang, Q., Ericson, K., & Styf, J. (2003). Blood flow in the tibialis anterior muscle by photoplethysmography during foot-transmitted vibration. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5–6), 464–469.

APÊNDICE. Análise estatística dos dados

As análises foram organizadas e 6 subitens. Sendo eles: Análise descritiva dos dados; análise de correlação e regressões lineares múltiplas

Análise descritiva dos dados

A análise descritiva tem como finalidade caracterizar os dados obtidos em campo, descrever como eles se comportam e selecionar as informações relevantes para o processo de construção da tese. Para a melhor visualização dos dados, a análise descritiva foi separada entre: Dados de entrada – Fatores de riscos físicos; e Dados de saída – Variáveis dependentes.

Dados de entrada – Fatores de Risco Físico

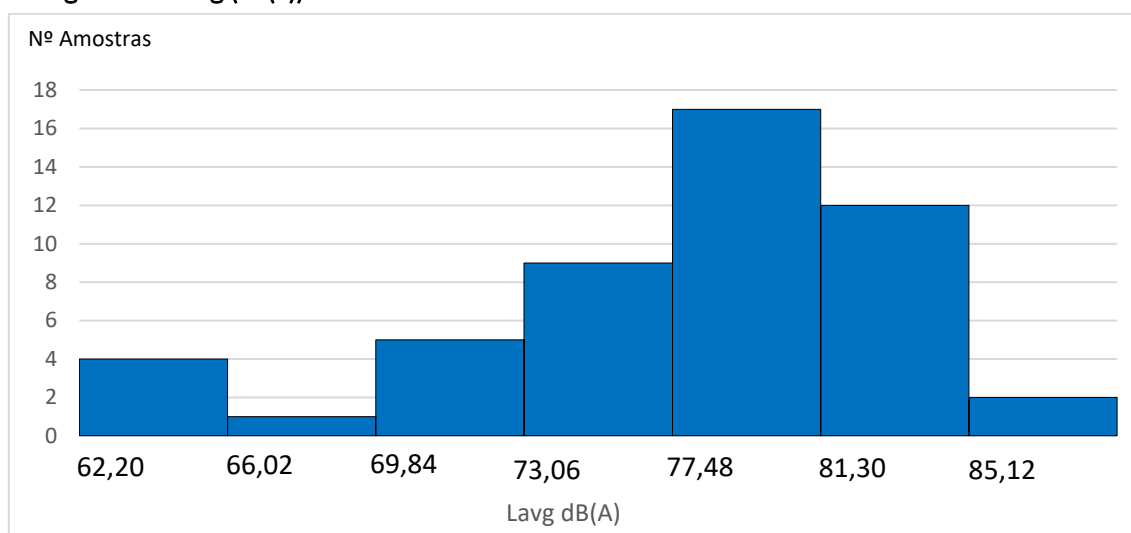
Os fatores de riscos físicos (ruído, vibração de copo inteiro e estresse térmico) coletados nas 50 amostras foram organizados na tabela 11 conforme mostrado abaixo.

Dados registrados - Fatores de Risco Físico

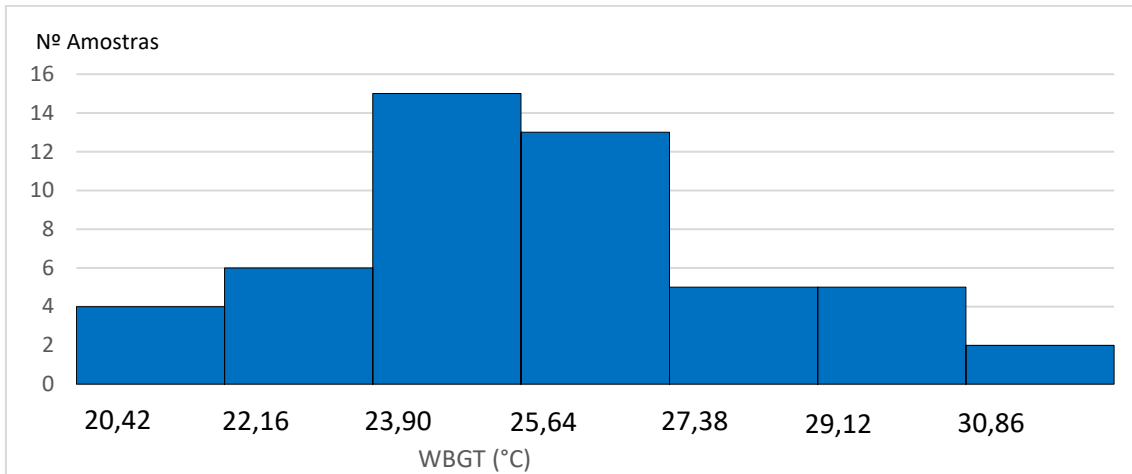
Medição	Lavg (dB)	WBGT (°C)	Aeq (m/s2)
1	63,20	32,66	0,478
2	80,40	30,00	0,499
3	65,90	28,00	0,731
4	84,80	21,20	0,364
5	63,60	24,92	0,425
6	77,30	25,22	0,501
7	77,60	31,10	0,642
8	71,00	24,04	0,786
9	80,30	26,54	0,726
10	85,50	29,57	0,767
11	73,90	25,32	0,995
12	82,00	25,30	0,367
13	80,50	26,70	0,442
14	79,20	27,10	0,533
15	76,40	27,50	0,452
16	73,20	20,42	0,943
17	78,70	21,49	0,876
18	75,60	30,08	1,143
19	81,90	28,34	0,491
20	78,10	28,77	0,993
21	77,60	25,57	0,716
22	71,80	21,99	0,635
23	83,00	24,82	0,283
24	78,20	26,18	0,203
25	79,40	26,92	0,501
26	82,00	22,99	0,266
27	83,50	26,77	0,410

Medição	Lavg (dB)	WBGT (°C)	Aeq (m/s ²)
28	81,80	24,50	0,407
29	80,60	24,40	0,461
30	83,10	24,90	0,531
31	83,70	23,90	0,274
32	81,80	23,90	0,324
33	81,30	24,26	0,311
34	67,30	23,64	3,204
35	62,20	23,64	0,312
36	79,40	30,10	0,447
37	89,20	25,30	0,184
38	83,00	26,05	0,849
39	80,80	29,87	0,784
40	77,40	22,75	0,711
41	76,80	24,66	0,156
42	80,90	25,52	0,166
43	75,20	25,41	0,141
44	78,40	27,24	0,119
45	73,10	26,70	0,139
46	73,40	25,89	1,172
47	77,40	28,40	0,535
48	80,30	26,46	0,498
49	80,80	27,26	0,352
50	74,6	26,82	0,252

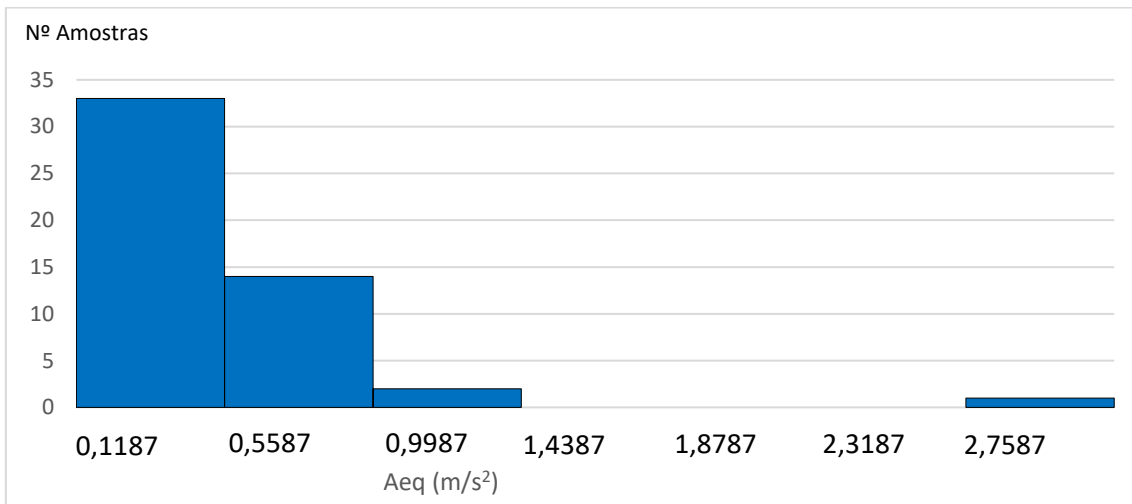
Histograma do Lavg (dB(A))



Histograma do WBGT (°C)



Histograma da Aeq (m/s²)



Níveis médios de ruído ocupacional agrupados por tipo de equipamentos da construção civil

Lavg - dB(A)			
Nº de Medições	Equipamentos de Terraplanagem	Veículos	Elevadores
01	63,20	71,00	82,00
02	80,40	80,30	80,50
03	65,90	78,70	79,20
04	84,80	75,60	76,40
05	63,60	78,10	81,90
06	77,30	77,60	83,00
07	77,60	77,40	78,20
08	85,50	80,30	79,40
09	73,90	80,80	82,00
10	73,20	74,6	83,50
11	71,80	-	81,80
12	67,30	-	80,60
13	62,20	-	83,10
14	79,40	-	83,70
15	83,00	-	81,80
16	80,80	-	81,30
17	77,40	-	89,20
18	78,40	-	76,80
19	73,10	-	80,90
20	73,40	-	75,20

Dados de estresse térmico – WBGT (°C) agrupados por tipo de operação com máquinas na construção civil

Nº de Medições	WBGT (°C)		
	Equipamentos de Terraplanagem	Veículo	Elevadores
01	32,66	24,04	25,30
02	30,00	26,54	26,70
03	28,00	21,49	27,10
04	21,20	30,08	27,50
05	24,92	28,77	28,34
06	25,22	25,57	24,82
07	31,10	28,40	26,18
08	29,57	26,46	26,92
09	25,32	27,26	22,99
10	20,42	26,82	26,77
11	21,99	-	24,50
12	23,64	-	24,40
13	23,64	-	24,90
14	30,10	-	23,90
15	26,05	-	23,90
16	29,87	-	24,26
17	22,75	-	25,30
18	27,24	-	24,66
19	26,70	-	25,52
20	25,89	-	25,41

Dados de Vibração de Corpo Inteiro (VCI) agrupados por tipo de máquina da construção civil.

Nº de Medições	Aeq (m/s²)		
	Equipamentos de Terraplanagem	Veículo	Elevadores
01	0,478	0,786	0,367
02	0,499	0,726	0,442
03	0,731	0,876	0,533
04	0,364	1,143	0,452
05	0,425	0,993	0,491
06	0,501	0,716	0,283
07	0,642	0,535	0,203
08	0,767	0,498	0,501
09	0,995	0,352	0,266
10	0,943	0,252	0,410
11	0,635	-	0,407
12	3,204	-	0,461
13	0,312	-	0,531
14	0,447	-	0,274
15	0,849	-	0,324
16	0,784	-	0,311
17	0,711	-	0,184
18	0,119	-	0,156
19	0,139	-	0,166
20	1,172	-	0,141

Análise dos Dados de Saída – Variáveis dependentes

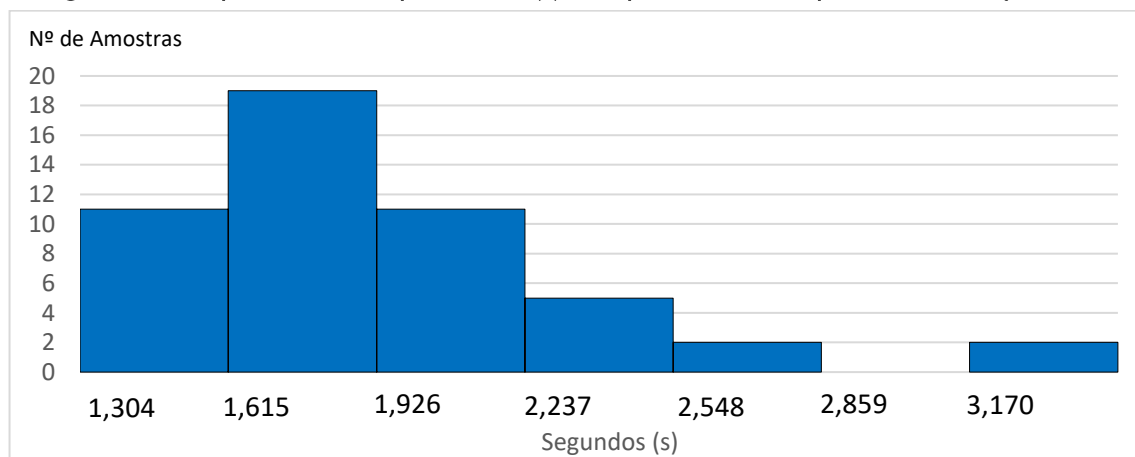
Conforme mostrado no capítulo de Metodologia foram coletadas 2 variáveis dependentes sendo elas: Tempo Médio de Respostas – TMR (s) e Frequência Cardíaca – FC (bpm). A tabela abaixo apresenta os dados coletados para as 50 amostras.

Dados coletados – Variáveis dependentes

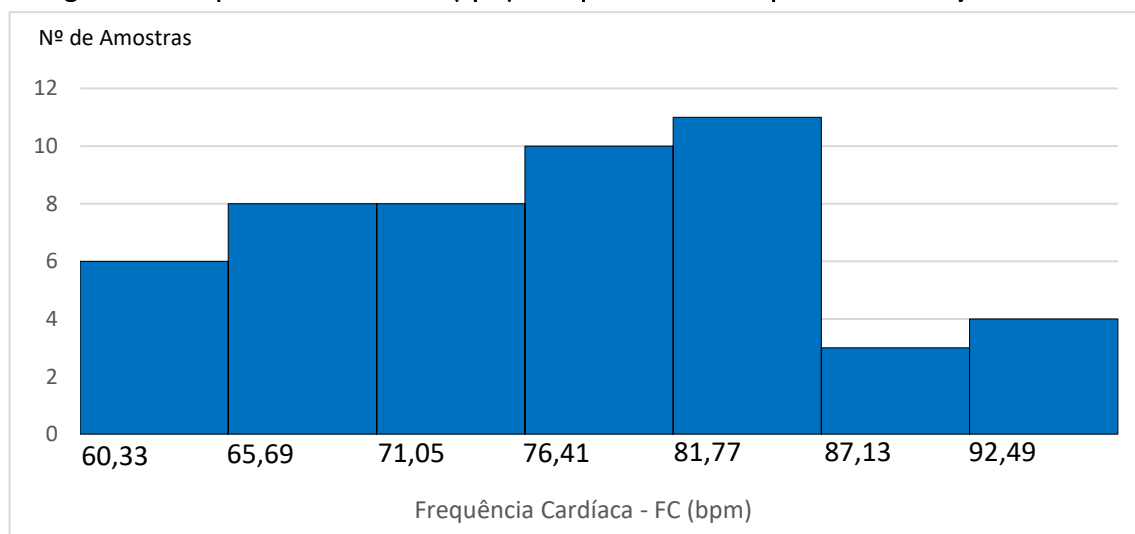
Medições	TMR (s)	FC (bpm)
1	1,304	85
2	1,776	65
3	1,553	69
4	1,551	82
5	1,435	75
6	1,449	66
7	2,073	70
8	2,782	84
9	1,925	76
10	1,617	90
11	2,204	81
12	2,123	60
13	2,458	76
14	2,203	78
15	1,747	64
16	1,818	61
17	1,821	62
18	1,521	85
19	2,150	85
20	1,520	81
21	1,698	66
22	1,928	81
23	2,364	66
24	2,270	80
25	2,437	67
26	1,947	72
27	1,809	86
28	2,717	89
29	2,103	98
30	3,497	73
31	1,832	80
32	3,497	77
33	2,216	65
34	1,749	94
35	1,743	81

Medições	TMR (s)	FC (bpm)
36	1,801	82
37	1,393	72
38	1,506	89
39	1,581	81
40	1,684	96
41	2,490	75
42	1,808	69
43	1,707	84
44	1,775	96
45	2,042	87
46	2,088	76
47	1,766	81
48	1,626	67
49	1,390	82
50	1,676	83

Histograma do Tempo Médio de Resposta - TMR (s) dos operadores de máquinas na construção civil



Histograma da Frequência Cardíaca - FC (bpm) dos operadores de máquinas na construção civil



Dados de tempo médio de resposta – TMR (s) dos operadores de equipamentos da construção civil separados por tipo de equipamentos

Nº de Medições	TMR (s)		
	Equipamento de terraplanagem	Veículo	Elevadores
01	1,304	2,782	2,123
02	1,776	1,925	2,458
03	1,553	1,821	2,203
04	1,551	1,521	1,747
05	1,435	1,520	2,150
06	1,449	1,698	2,364
07	2,073	1,766	2,270
08	1,617	1,626	2,437
09	2,204	1,390	1,947
10	1,818	1,676	1,809
11	1,928	-	2,717
12	1,749	-	2,103
13	1,743	-	3,497
14	1,801	-	1,832
15	1,506	-	3,497
16	1,581	-	2,216
17	1,684	-	1,393
18	1,775	-	2,490
19	2,042	-	1,808
20	2,088	-	1,707

Dados de frequência cardíaca – FC (bpm) dos operadores de equipamentos da construção civil separados por tipo de equipamento

Nº de Medições	FC (bpm)		
	Equipamentos de Terraplanagem	Veículo	Elevadores
01	84,50	83,50	60,33
02	64,67	75,83	75,50
03	69,00	61,50	77,50
04	82,42	84,58	64,25
05	74,50	80,83	85,42
06	66,25	66,33	66,08
07	69,50	81,17	79,92
08	89,92	66,83	67,33
09	81,25	81,83	71,83
10	61,00	82,50	85,92
11	80,75	-	89,33
12	94,17	-	98,17
13	80,83	-	73,33
14	82,17	-	79,83
15	88,50	-	76,50
16	81,17	-	64,83
17	95,50	-	72,33
18	96,17	-	75,00
19	87,00	-	69,00
20	76,00	-	83,50

Regressões lineares múltiplas (RLM)

RLM dos fatores de riscos físicos sobre o TMR dos operadores de equipamentos da construção civil ECC

Regressão linear múltipla dos fatores de riscos físicos sobre o TMR dos operadores de equipamentos da construção civil

<i>Estatística de regressão</i>					
	R múltiplo				0,973701627
	R-Quadrado				0,948094858
	R-quadrado ajustado				0,924609533
	Erro padrão				0,47
	Observações				50
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	189,322363	63,10745435	286,1659866	9,45158E-30
<i>Coefficientes</i>			<i>valor-P</i>		
	Ruído (dB)	0,031			4,29942E-05
	Calor (°C)	-0,018			0,385401242
	Vibração (m/s ²)	0,012			0,934913613

Equação:

$$TMR = 0,031xRuído - 0,018xCalor + 0,012xVCI$$

RLM dos fatores de riscos físicos sobre a FC dos operadores de equipamentos da construção civil
ECC

Regressão linear dos fatores de riscos físicos sobre a FC dos operadores de equipamentos da construção civil

<i>Estatística de regressão</i>						
	R múltiplo					0,991761529
	R-Quadrado					0,983590931
	R-quadrado ajustado					0,961616077
	Erro padrão					10
	Observações					50
ANOVA						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	3	301593,5351	100531,1784	939,0899187	2,96844E-41	
		<i>Coefficientes</i>		<i>valor-P</i>		
	Ruído (dB)	0,517		0,001307555		
	Calor (°C)	1,288		0,007284228		
	Vibração (m/s ²)	6,729		0,037666021		

Equação:

$$FC = 0,517xRuído + 1,288xCalor + 6,729xVCI$$

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)