

RISCOS DE EXPOSIÇÃO AO CALOR E CIRCULAÇÃO DE POLUENTES EM AMBIENTE DE TRABALHO INDUSTRIAL: MÉTODO DE ANÁLISE EM OFICINA DE FUNDIÇÃO NAVAL

QUEIROZ, Teresa Cristina Ferreira de

Arq., M. Sc., Prof. Aux. FAU/UFRJ

DARF/FAU/UFRJ: Av. Brigadeiro Trompowski, s/n, Prédio da Reitoria, 3º. andar, Cidade Universitária Ilha do Fundão-Rio de Janeiro/RJ-CEP:21945-970-F.: 021-2902112, r.: 2728; Email: teresaq@acd.ufrj.br

BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves

Eng. Mec., D. Sc., Prof. Tit./EE/COPPE/UFRJ

EE/UFRJ, Av. Brigadeiro Trompowski, s/n, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ; C.P.: 68.503; CEP: 21945-970; Fax: 5521-2906626; Email: leopoldo@serv.com.ufrj.br

ABSTRACT

This paper presents an environment evaluation into a naval metallurgy workshop, about the heat exposure conditions and the indoor air circulation. This naval metallurgy is localized in a building of a Naval Yard in Rio de Janeiro city.

In this paper there are propositions about natural and artificial ventilation systems of the industrial building. The objectives of these suggestions are to make improvements about the workmen thermic stress. These suggestions considers too the air quality conditions, in relation to the workmen health and environment confort.

It was essential a participation into the environment metallurgy workshop. The analysis includes too the air temperature and humidity measure.

The thermic evaluation attended the Regulation Norms of Safety and Employment Medicine.

As well as, the recommendations of ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, about natural ventilation systems in metallurgy work were considerable too.

PALAVRAS-CHAVE

heat, thermic stress, risks control.

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes industriais onde os indivíduos estejam submetidos à condição de “*stress*” térmico pela exposição constante a fontes de *calor* e, onde, o tipo de atividade possa liberar agentes químicos, em forma de poeiras, vapores e partículas, a aplicação de uma avaliação corretiva possibilita o *controle de riscos* para beneficiar a saúde e o conforto ambiental desses indivíduos.

Nas últimas décadas, nos projetos de edifícios industriais têm sido adotadas soluções simples, de baixo custo e medidas que propiciam condições de higiene, segurança e bem-estar aos trabalhadores. Estas medidas visam uma qualidade ambiental do meio ocupacional e do entorno urbano onde se inserem os edifícios. Essas soluções têm sido alvo de

preocupações da classe empresarial e órgãos institucionais envolvidos, de forma que se assegure também a eficiência dos serviços e a conservação de energia.

No presente trabalho é realizada uma análise de um ambiente interno de um edifício industrial, localizado na cidade do Rio de Janeiro, onde funciona uma oficina de metalurgia-fundição e forjamento. Este edifício faz parte de um complexo industrial naval e militar- Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, marco representativo no cenário da história da construção e reparação naval brasileira, que se mantém a mais de dois séculos, com grande significado nos primórdios de industrialização do país[1].

O método de análise das condições de exposição dos trabalhadores na oficina escolhida foi desenvolvido a partir de uma convivência-participativa no ambiente de trabalho por um determinado período de tempo.

Neste período de convivência, foram identificadas as áreas mais críticas, relativas à exposição ao calor, exaurido através de fornos de fundição. Paralelamente, foram realizadas medições de dados de temperatura e umidade do ar no interior do edifício.

Os dados resultantes das medições foram avaliados conforme as Normas Regulamentares (NR), de Segurança, Higiene e Medicina Ocupacional, do Ministério do Trabalho[2] e a metodologia adotada pela Associação Brasileira de Prevenção de Acidentes- ABPA[3]. Essas normas tratam dos riscos ambientais e da avaliação de sobrecarga térmica no ambiente de trabalho, sob a égide da Organização Mundial de Saúde- OMS.

Além da avaliação da sobrecarga térmica no ambiente interno, foram também analisados os sistemas de renovação natural de ar existentes no edifício, com o objetivo de se propor melhorias nas condições de conforto térmico dos trabalhadores. Os resultados obtidos foram comparados com recomendações da ASHRAE- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers[4], no que se refere a ambientes de fundições.

Finalmente, foram propostas sugestões para melhor desempenho dos sistemas de ventilação natural de ar e aplicação de sistema de ventilação local exaustora na zona de trabalho mais crítica, quanto à exposição à energia radiante e à emissão de partículas poluentes[5].

Estas sugestões visaram o aproveitamento de condicionantes climáticos naturais e sazonais e atenderam à frequência dos serviços vigentes, no período analisado, na oficina industrial. Este aproveitamento de meios passivos foi proposto também no sentido de se conservar o partido arquitetônico e o sistema construtivo original do edifício industrial e o entorno urbano do complexo naval.

2. O EDIFÍCIO ESCOLHIDO

2.1. Características da Construção

O edifício escolhido tem forma retangular composta por três galpões geminados, com estrutura em pórticos de concreto armado aparente, espaçados simetricamente. A cobertura dos galpões é de fibrocimento e madeiramento, em duas águas, formando lanternins no topo em algumas áreas específicas.

O edifício tem 115,00 metros de comprimento e 50,00 metros de largura. Internamente há três níveis de pisos, onde se distribuem os serviços da oficina- no térreo funciona a área de produção (fundição, forjamento, tratamento térmico, limpeza de peças), no piso +3,20 metros se localizam vestiários e depósitos, no nível +6,30 metros estão os escritórios e as oficinas de manutenção e arquivos e no último piso (+9,80 metros) está localizada a modelagem de peças e depósitos afins.

Os fechamentos verticais do edifício são de alvenaria de tijolos com massa e pintura, painéis de vidro fixo e esquadrias metálicas com vidro (ver figura 1).

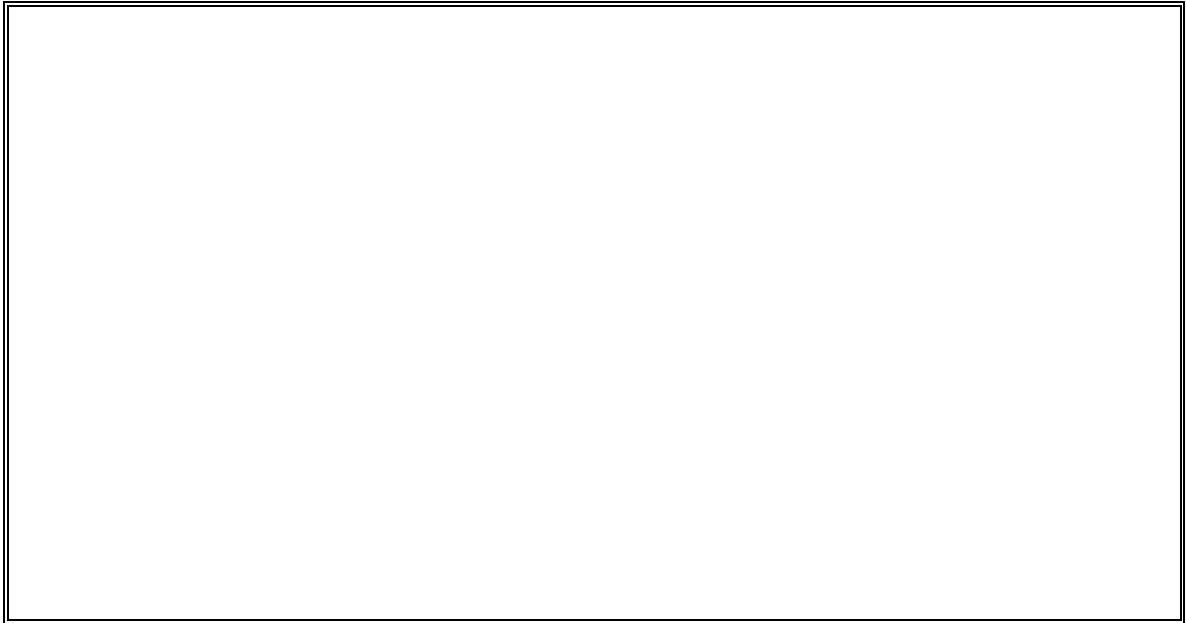


Figura 1: Corte Vertical Esquemático do Edifício: Oficina de Metalurgia. Esc. 1:250 (reduzida)
Localização assinalada das áreas de medição de temperatura e umidade do ar interior.

3. MÉTODO DE ANÁLISE

3.1. Convivência-participativa

Foi necessário um período de convivência no ambiente interno do edifício, com o intuito de conhecer as características físico-construtivas do edifício e do ambiente interno. Com a permanência no ambiente, também foi possível uma aproximação com os trabalhadores e uma melhor compreensão do funcionamento das áreas ou zonas de trabalho. O período total de convivência-participativa na oficina foi de quatro meses[5].

A princípio foram identificadas nessas áreas as principais fontes geradoras de calor- fornos de fundição, elétricos e a óleo e observados os aspectos técnicos dos processos de produção da metalurgia naval. Nessa fase preliminar foram também identificadas as áreas com maior emissão de partículas poluentes.

Com a fundamentação das normas NR-15 do Ministério do Trabalho, referente a critérios de avaliação de atividades e operações insalubres, estabeleceu-se uma escala de valores concernente aos parâmetros de conforto térmico. Esta avaliação teve o objetivo de identificar as áreas mais críticas quanto à exposição ao calor e a poluentes no ambiente de trabalho (ver tabela 1).

3.2. Medições Internas Locais

As medições de dados de temperatura e umidade do ar foram realizadas com termômetros de bulbo seco e protegido e de bulbo úmido, com precisão de $\pm 0,1$ °C, referência “Incotherm”. Ocorreram durante os meses de março e abril, com temperaturas médias do ar exterior elevadas, conforme dados obtidos da Estação Meteorológica do Aeródromo Santos Dumont, próxima ao sítio geográfico onde se localiza o edifício escolhido.

Foi também utilizado um anemômetro térmico, referência “Chauvin Arnoux-CV 2010”, para medições de velocidades de ventos, medidas nas aberturas de entrada de ar e por nível de piso.

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo NAPPA - Núcleo de Avaliação e Prognóstico de Projetos de Arquitetura AMBIENTE INDUSTRIAL: Oficina de Metalurgia Naval LOCAL: Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro					DATA: MAR/96
ATIVIDADE: Aplicar valores em escala de níveis a parâmetros de conforto ambiental, por convivência-participativa e fundamentados na Legislação de Segurança e Medicina do Trabalho.					TABELA : 1
OFICINAS DE METALURGIA : ÁREA GERAL DE PRODUÇÃO					
PARÂMETROS	ESCALA DE NÍVEIS				OBSERVAÇÕES
	1	2	3	4	
1- EXPOSIÇÃO AO CALOR				X	Altas temperaturas dos fornos, estufas.
2- NÍVEL DE ILUMINAÇÃO			X		Em todas as áreas.
3- UMIDADE			X		
4- EXPOSIÇÃO A AGENTES QUÍMICOS:					
•CHUMBO E COMPOSTOS				X	Fundição, laminação (chumbo,cobre,latão)
•CARVÃO				X	Fornos- fusão, fundição, forja, estufas.
•CARBONO E COMPOSTOS				X	Fundição: fornos, estufas.
•SILICATOS				X	Poeira de sílica na areia dos moldes.
•CÁDMIO E COMPOSTOS				X	Soldas, preparação de ligas, revestimentos
•HIDROCARBONETOS				X	Manipulação de óleos minerais, óleo queimado (fornos a óleo e estufa).
5- NÍVEL DE POLUIÇÃO:				X	Poeira, areias,gases tóxicos (aerossóis).
• PRESENÇA DE FUMAÇAS				X	Fumaça e fumo de fundição..
• EXAUSTÃO DE GASES E PARTÍCULAS TÓXICAS				X	CO;CO ₂ ;NO;SO ₂ ;silicatos e outros.
6- SIST. DE VENTILAÇÃO:					
• VENTILAÇÃO NATURAL		X			Lanternim, esquadrias fachadas, frestas
• VENTILAÇÃO ARTIFICIAL				X	Exaustores, ventiladores, filtragem de ar
ESCALA DE NÍVEIS: (1) boa situação; (2)regular situação; (3)situação ruim; (4) pior situação.					

Tabela 1: Avaliação Preliminar do Ambiente Industrial

As medições de temperatura foram realizadas nas seguintes condições: diárias, horárias, durante e após o horário de trabalho, com e sem o funcionamento dos fornos. Os termômetros foram distribuídos conforme a proximidade das fontes de calor, nas áreas de evolução dos trabalhadores, em locais neutros (sem fontes de calor) e por nível de piso (ver áreas assinaladas por círculos na figura 1).

Os resultados das medições diárias foram comparados com os dados da estação meteorológica local durante o período mencionado (ver tabela 2). Os resultados serviram de parâmetros orientadores para a análise da sobrecarga térmica nas áreas mais críticas.

Universidade Federal do Rio de Janeiro Mestrado em Arquitetura - CONFORTO AMBIENTAL Avaliação do Ambiente Industrial							
Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro - Oficinas de Metalurgia: Seção de Fundição de Metais Medição de Dados Climáticos no Ambiente de Trabalho Diferencial entre temperaturas internas e externas por nível de altura							
24/04/96 Local	Nível de Piso(m)	Temperatura/ Umidade	Horário				Observações
			8:00	9:00	10:00	11:00	
• 1A INT.	TÉRREO	TBS - ° C	26,30	26,50	30,00	31,70	Fundição de bronze-nave oeste
• 1B INT.	TÉRREO	TBS - ° C	26,40	25,30	27,80	29,50	Forno Morgan a óleo c/ cadinho
• 2A INT.	+ 6,30	TBS - ° C	25,20	25,00	27,00	26,60	Início-8:30 hs./9:50 hs: aquecim.
• 2B INT.	+ 6,30	TBS - ° C	26,10	24,90	26,70	26,50	e recebimento da fusão
• 3A EXT.	+ 9,80	TBS - ° C	22,60	24,40	26,20	26,00	Locais:
• 3B EXT.	+ 9,80	TBS - ° C	22,80	24,60	26,15	25,90	1-próximo ao forno/operador;
• 4A EXT.	+ 9,80	TBS - ° C	28,50	29,00	32,50	29,20	2-saída interna lanternim oeste;
• 4B EXT.	+ 9,80	TBS - ° C	28,00	28,10	31,60	29,20	3-saída externa lanternim oeste;
• REF INT	TÉRREO	TBS - ° C	24,50	24,50	25,00	26,00	4-saída externa lanternim leste;
• REF EXT	TÉRREO	TBS - ° C	23,20	23,20	24,00	26,00	N. EXT.-fachada norte
• 3' EXT.	+ 9,80	TBH - ° C		22,00	22,00	21,50	Local A-bulbo sem proteção;
• 3' EXT.	+ 9,80	TBS - ° C		25,00	27,00	26,50	Local B-bulbo protegido (efeito radiação)
• 3 EXT.	+ 9,80	UMIDADE%		77	64	64	
• N. EXT	TÉRREO	TBS - ° C		24,50	25,00	29,20	

Tabela 2: Medição de temperatura e umidade relativa do ar em áreas de produção

3.3. Avaliação da Sobrecarga Térmica

Conforme metodologia adotada pela Associação Brasileira de Prevenção de Acidentes e fundamentada pela NR-15 do Ministério do Trabalho[3], a avaliação de sobrecarga térmica refere-se ao cálculo de um índice denominado de IBUTG (índice de temperatura de globo-úmido). Este índice é calculado a partir da combinação entre os valores da temperatura média do ar, medida com termômetro de bulbo protegido e de bulbo úmido- que representa a carga térmica ambiental e o valor médio da carga metabólica- basal e muscular. Utiliza-se a expressão a seguir:

$$TGBU = 0,7 t_{un} + 0,3 t_g$$

Onde: t_{un} = temperatura de bulbo úmido natural (°C) e t_g = temperatura de globo (°C).

O resultado encontrado pela expressão acima foi avaliado em um gráfico de curvas traçadas, de acordo com um conceito de *zona permissível* (LSZP), descrito por LIND, em 1970 [3]. Nesse gráfico (ver figura 2), uma curva limite para exposição contínua ao calor ou zona permissível, de mais de oito horas de trabalho, representa o ponto máximo para combinações de fatores ambientais e cargas de trabalho, que não superam mais que 38 °C a temperatura interna, em 95% de indivíduos aclimatados ao calor. Podem também ser projetadas outras curvas relacionadas a diferentes combinações de períodos de trabalho e de descanso no mesmo ambiente considerado.

O valor do índice estimado no ambiente da oficina, através da metodologia referida, foi de 28,10 °C e a carga de trabalho foi de aproximadamente 220 Kcal/min. Este índice foi inserido no gráfico de zona permissível (ver figura 2) e indicou condições aceitáveis de trabalho em relação a uma curva-limite, representando um período de 60 minutos de

trabalho contínuo. O valor atendeu também a um regime de trabalho com as seguintes características: 50% de trabalho e 50% de repouso, com 3 intervalos de 10 minutos de atividade contínua e 3 intervalos de 10 minutos de descanso no mesmo local.

Figura 2: Gráfico de Exposição Permissível ao calor[3].

3.4. Sistemas de Ventilação Natural

Foram analisadas as condições de renovação natural de ar pelo cálculo da vazão de ar em volume/hora, através de efeito combinado entre a ação dos ventos e o efeito termossifão entre o nível térreo e a cobertura.

Inicialmente foi calculada a vazão em volume/hora considerando a ação dos ventos, conforme metodologia adotada por MACINTYRE[6], através da seguinte equação:

$$Q = \varphi A v$$

Onde:

Q = vazão de ar em m³/min;

φ = coeficiente de eficiência que depende das características das aberturas; considerado de 0,5 a 0,6 para ventos com direção perpendicular à superfície onde estão localizadas as aberturas de entrada e de 0,25 a 0,35 para direção diagonal em relação à superfície onde estão as aberturas;

A = área total útil das aberturas de entrada e saída, supostamente iguais, em m²;

v = velocidade média sazonal dos ventos locais, recomendando-se adotar 50% do seu valor como base de cálculo, em m/min.

Posteriormente, calculou-se a vazão em vol/hora, através de outra equação, considerando o efeito do diferencial térmico (termossifão):

$$Q = 104,69 \sqrt{h(ti - te)}$$

Onde:

Q = vazão de ar em m³/min;

A constante 104,69 refere-se à efetividade das aberturas, correspondendo a condições de escoamento desfavoráveis à entrada de ar;

h = distância vertical média entre as aberturas de entrada e saída de ar, ou seja, diferença de alturas, em m. Esta distância poderá ser medida entre os pontos médios dessas aberturas[7];
 $t_i - t_e$ = diferencial térmico entre as aberturas de entrada e as de saída de ar, em °C.

A soma dos dois valores encontrados nas duas equações resultou no valor da vazão total, em m³/min. Da relação entre a vazão provocada pelo efeito termossifão e a vazão total, obteve-se um fator multiplicador, através de um gráfico de correção. Este fator foi acrescido ao valor obtido pelo efeito do diferencial térmico e correspondeu à vazão ocasionada pelo efeito combinado.

Os resultados obtidos são resumidos na tabela 3, a seguir:

RENOVAÇÃO NATURAL DE AR						
LOCAL	VOLUME	Nº. TROCAS DE AR /HORA			ABERTURAS	
MEDIÇÃO	(m ³)	Efeito Natural Ventos Sazonais	Efeito Combinado Diferenc. Térmico	ASHRAE (Recomendações p/ Fundições)	Entradas de Ar	Saídas de Ar
1-Área Global Prod. (três naves)	73313,97	3,21	7,90	5-20	Fachada Leste/Norte	Fachada Oeste Lanternim
2-Fundição/Ferrosos (nave lateral leste)	13020,48	4,61	11,51	5-20	Fachada Leste/Norte	Lanternim Cobertura
3- Fundição/não-ferr. (nave lateral oeste)	14204,16	4,03	15,37	5-20	Fachada Oeste/Norte	FachadaOeste/Lanternim

Tabela 3: Resultados da Avaliação das Condições de Renovação Natural de Ar na Oficina de Fundição

3.5. Sistemas de Ventilação Artificial

Nas áreas identificadas como mais críticas quanto às condições térmicas, foi avaliada a aplicação na cobertura de exaustores eólicos isolados e sistemas de exaustão contínua. Estes sistemas foram estudados com o intuito de se avaliar a complementação dos sistemas naturais na cobertura da edificação.

Por pesquisa fabricantes locais, foi calculada a vazão em volume/hora para atender as recomendações da ASHRAE-American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers[4], relativas ao número de trocas de ar por hora para fundições.

A vazão média de um exaustor eólico foi estimada em 3500 m³/h, correspondendo a 50% do valor médio da velocidade dos ventos sazonais (6,3 km/h).

Também foi identificada a área mais problemática quanto à dissipação de partículas poluentes. Por pesquisa em bibliografia específica[8] e junto a fabricantes locais, foram identificados tipos de captos adequados ao tipo de processo, de forma a se evitar o efeito energia radiante na face do operador.

4. CONCLUSÃO

Como principais conclusões deste trabalho enumeram-se as considerações a seguir:

- as condições de “stress”térmico no ambiente interno da oficina de fundição foram aceitáveis devido a menor demanda e à frequência vigentes de serviços no período da análise. Vale ressaltar que, caso haja alguma alteração no regime de trabalho e nas condições de funcionamento, as condições de sobrecarga térmica, ditas aceitáveis, podem se tornar desfavoráveis;

- apesar do aumento gradual de temperatura média do ar interior por hora não ter sido significativo, observou-se um período de exposição do operador ao efeito da energia radiante devido à proximidade dos fornos elétricos de indução;
 - ocorrência de diferencial térmico significativo entre o nível térreo e o nível de saída na cobertura (lanternim) durante hora de “pico” de funcionamento dos fornos.
- Foram propostas as seguintes sugestões, com o objetivo de aproveitar os sistemas naturais de ventilação e de minimizar o custo de fontes de energia artificiais:
- aumento da área de saída de ar, em altura e comprimento dos lanternins, conservando o sistema construtivo original;
 - substituição das esquadrias nas empenas laterais leste-oeste e frontal por venezianas translúcidas de cor clara, principalmente nas partes mais baixas do edifício e nos lanternins de exaustão de ar quente;
 - instalação de sistema de exaustor local com tratamento de ar na área de maior risco-fundição com fornos a óleo oscilantes e rotativos, com referência à contaminação por partículas em suspensão e fumaça metalúrgica.

5. BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

- [1]. TELLES, Pedro Carlos da Silva. História da Engenharia no Brasil- Século XX. Rio de Janeiro, Clavero, 1984-1993, volume II.
- [2]. Manuais de Legislação: Segurança e Medicina do Trabalho. Normas Regulamentadoras. São Paulo, Atlas, 1994, 27^a edição.
- [3]. GOELZER, Berenice. Avaliação da Sobrecarga Térmica no Ambiente de Trabalho. São Paulo, ABPA, Bernardino Ramazzini, vol. 2 (Higiene Industrial), s/d.
- [4]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Handbook of Systems, section II, Industrial Ventilation, 1980, 21-22-23; section IV: 21-33.
- [5]. QUEIROZ, Teresa C. Ferreira de. Edifício Industrial- Avaliação Ambiental das Condições de Ventilação. Estudo de Caso: Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro- Oficinas de Metalurgia Naval. Tese de Mestrado. Rio de Janeiro, FAU/UFRJ, 1996.
- [6]. MACINTYRE, A. Joseph. Ventilação Industrial e Controle da Poluição. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1990.
- [7]. COSTA, Ennio Cruz da. Arquitetura Ecológica: condicionamento térmico natural. São Paulo, Edgard Blücher, 1982, capítulo 6, p. 170-190.
- [8]. Conception et Calcul des Installations de Ventilation des Bâtiments et des Ouvrages. Paris, AICVF, PYC Édition, 1992.