ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

FERNANDO RESENDE

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO: AVALIAÇÃO E CONTROLE NOS CANTEIROS DE
OBRAS DE EDIFÍCIOS**

SÃO PAULO

2007

FERNANDO RESENDE

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO: AVALIAÇÃO E CONTROLE NOS CANTEIROS DE
OBRAS DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil.

SÃO PAULO

2007

FERNANDO RESENDE

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO: AVALIAÇÃO E CONTROLE NOS CANTEIROS DE
OBRAS DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador:
PROF. DR. FRANCISCO FERREIRA CARDOSO

SÃO PAULO

2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 10 de julho de 2007.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Resende, Fernando

Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios / Fernando Resende. – Edição Revisada - São Paulo, 2007.

210p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Poluição atmosférica 2. Material particulado 3. Canteiro de obras 4. Edifícios I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

DEDICATÓRIA

À minha esposa. Por estar sempre ao meu lado, me apoiando, me incentivando, me dando forças para superar todos os obstáculos. Sem a sua presença na minha vida, muitas coisas não teriam sido possíveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso por acreditar em mim e sempre me apoiar em todos os momentos decisivos do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço muito à toda à equipe da CETESB, que foi sempre muito atenciosa e colaborou muitíssimo para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Engenheiro John Kinsey da US EPA, que desde o primeiro momento e, apesar da distância, foi sempre prestativo e forneceu informações relevantes para esta pesquisa.

Agradeço ao Prof. Dr. Racine Tadeu Araújo Prado pelo incentivo e por todas as suas recomendações e críticas que ajudaram a enriquecer bastante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. João Vicente de Assunção por todas as suas considerações, que contribuíram para que se enxergasse muito além do canteiro de obras.

Agradeço ao Engenheiro Renato Magnanini Auriemo da RMA Construtora por seu apoio e incentivo, sem os quais, todos os meus anos de mestrado teriam sido muito mais difíceis.

Agradeço muitíssimo à minha esposa, que suportou muitos finais de semana, muitos feriados, muitos dias e muitas noites sem a minha companhia. Agradeço por toda sua paciência, por todo seu apoio, por todo seu amor.

Agradeço a todos os professores do PCC que desde a minha especialização e ao longo do mestrado, foram sempre muito atenciosos e profissionais, fortalecendo demais o meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço a todos os colegas do mestrado, que foram fundamentais para que fossem superados os momentos mais difíceis.

RESUMO

Os canteiros de obras são causadores de diversos impactos ambientais relacionados ao grande consumo de recursos e à grande geração de poluição e incômodos que afetam toda sociedade. Dentre as fontes de poluição, está a emissão de material particulado na atmosfera, responsável por uma série de problemas respiratórios e cardíacos, danos à flora e à fauna, incômodos à vizinhança, danos ao solo, à água e à qualidade do ar, entre outros aspectos. Em vários países, os canteiros de obras são reconhecidos como uma das principais fontes de poluição por partículas.

O objetivo deste trabalho é identificar as principais fontes emissoras de material particulado entre as diversas atividades de construção, as principais ferramentas de controle e prevenção de emissão e os principais métodos de monitoramento aplicáveis aos canteiros de obras de edifícios. Sua metodologia está baseada em compilação e análise de bibliografia nacional e internacional disponível.

Como resultados, são identificadas as principais fontes de emissão de material particulado nas fases de demolição, movimentação de terra e serviços preliminares e serviços de construção.

Mostra-se, também, que o monitoramento, associado a ações de prevenção e controle, é uma ferramenta eficaz para manutenção de níveis de emissão aceitáveis, utilizando equipamentos de custo relativamente baixo, fácil operação e implantação no canteiro de obras.

Finalmente, o trabalho traz um conjunto de recomendações que podem ser utilizadas na composição de um plano de gestão para prevenção, controle e monitoramento de emissões de material particulado em canteiros de obras, a ser incorporado às práticas de gestão já em uso pela empresa construtora.

O trabalho conclui que o controle de emissões nos canteiros de obras de edifícios pode ser aplicado por empresas construtoras, dentro da atual realidade brasileira.

Palavras-chave: poluição atmosférica, material particulado, construção sustentável; canteiro de obras, edifício.

ABSTRACT

The construction sites cause many environmental impacts related to high consumption of resources and high levels of pollutions emissions, affecting the whole society. Among these pollutions, it is the particulate matter emission in the atmosphere, responsible for heart and lung diseases, damages to animals, plants, soil, water and air quality and nuisances to neighbors. In several countries, the construction sites are recognized as one of the main sources of particle pollution.

This work intends to identify the main emission sources of particulate matter among the great variety of construction activities, the main particle emissions control tools and the main monitoring methods available for building construction sites. The research is based on compilation of Brazilian and international bibliographies.

As result, are identified the main sources of particulate matter emission on demolition, earthmoving and construction activities.

The work presents that monitoring associated with prevention e control measures is an effective tool for maintenance of controlled emissions levels, through low cost, easy operation and easy implantation equipments.

Finally, the work presents a set of recommendation to elaborate a management plan to prevent, control and monitoring particulate matters emissions in the construction sites, easily adapted to the current management practices of the contractors firms.

The work concludes that the particulate matter emission control can be implanted by contractors firm within the current Brazilian reality.

Keywords: air pollution, particulate matter, sustainable construction; construction site, building

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Ciclo de vida do edifício	35
Figura 4-1 – Exemplo de dia com menor concentração e dia com maior concentração de poluentes, relacionados à visibilidade.	75
Figura 5.1. Obra de demolição protegida por andaimes fachadeiros e telas.	96
Figura 5.2. Aspersão de água durante atividade de demolição	96
Figura 5.3. – Lançamento de água nas rotas de trânsito de veículo	96
Figura 5.4 – Equipamento realizando serviço de nivelamento de terreno	98
Figura 5.5 – Carregamento de terra em caminhão	98
Figura 5.6 – Queima de resíduos em obra	105
Figura 5.7 – Corte de telhas e pedra com uso de serra manual sem dispositivo de controle de emissão de partículas.	108
Figura 5.8 – Perfuração de concreto com broca tubular diamantada acoplada a mangueira.	109
Figura 5.9 – Corte com serra de grande porte tipo <i>wall-saw</i> .	109
Figura 5.10 – Modelo de sistema de exaustão e coleta de pó para serra circular de bancada.	111
Figura 5.11 – Saco coletor de pó acoplado a serra de bancada.	111
Figura 5.12. Serra e perfuratriz manuais acopladas a dispositivo de coleta de pó por aspiração.	112
Figura 5.13 – Serra manual acoplada a mangueira de água.	112

Figura 5.14 – Mistura de argamassa diretamente sobre piso sem qualquer medida de prevenção de emissão	114
Figura 5.15 – Aspirador de pó para obra.	116
Figura 5.16 – Colocação de argamassa de assentamento com bisnaga.	118
Figura 5.17 – Uso de coifa para coleta de partículas.	119
Figura 5.18 – Edificação com e sem barreira física durante serviço de paisagismo.	121
Figura 5.19 – Caminhão realizando descarga de areia após transporte.	123
Figura 5.20 – Mini-escavadeira realizando transporte de areia.	123
Figura 5.21 – Armazenamento de areia desprotegido da ação dos ventos e chuvas.	124
Figura 5.22 - Armazenamento de areia protegido da ação de ventos e chuvas.	124
Figura 5.23 – Caminhão com caçamba coberta para evitar dispersão de partículas na atmosfera.	126
Figura 5.24 – Duto de descarga de entulho protegido por tela.	126
Figura 5.25 – Equipamento para varrição de acesso, vias de circulação do canteiro e vias públicas.	129
Figura 5.26 – Equipamento de lavagem de pneus de caminhões instalado na saída do canteiro de obras.	129
Figura 5.27 – Área reservada à lavagem de veículos durante a obra de ampliação do aeroporto de Heathrow em Londres.	130
Figura 6.1 – Amostrador de grande volume (AGV) para coleta de PTS.	136
Figura 6.2 - Amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas para coleta de MP ₁₀ .	137

Figura 6.3 – Monitor de aerodispersóides portátil para coletas localizadas e medição por espalhamento de luz.	139
Figura 6.4 – Amostrador TEOM.	140
Figura 6.5 – Conjunto de coleta de amostras na determinação da taxa de poeira sedimentável total.	147
Figura 6.6 – Amostrador para determinação da taxa de poeira sedimentável total de acordo com a BS 1747 parte I (<i>frisbee gauge</i>).	148
Figura 6.7 - Reflectômetro utilizado no “ <i>Sticky Pad System</i> ”.	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 - Aspectos ambientais relacionados a incômodos e poluição em função das diferentes fases de uma obra e de suas principais atividades – subsetor edificações.	28
Quadro 2-2 – Exemplos de responsabilidades dos principais agentes no ciclo de vida do edifício para alcance de um edifício mais sustentável	36
Quadro 3-1 – Classificação de poluentes atmosféricos	43
Quadro 3-2 – Efeitos dos principais poluentes sobre o meio ambiente.	48
Quadro 4-1 - Comparações entre partículas finas e partículas grossas.	69
Quadro 4-2 – Qualificação do ar conforme sua concentração MP_{10} no período de 24 horas e seus efeitos à saúde humana.	72
Quadro 4-3 – Padrões nacionais de qualidade do ar	80
Quadro 4-4 – Critérios para episódios agudos de poluição	81
Quadro 4.5 – Referência de qualidade do ar e metas interinas para material particulado da OMS para concentração média anual ¹	82
Quadro 4.6 – Referência de qualidade do ar e metas interinas para material particulado da OMS para concentração de 24 horas ¹	83
Quadro 4-7 – Padrões de qualidade do ar adotados nos EUA para material particulado	84
Quadro 4-8 – Padrões de qualidade do ar no Reino Unido	86
Quadro 5-1 - Efeitos nocivos potenciais da emissão de material particulado de canteiros de obras.	92
Quadro 5.4 – Atividades potencialmente geradoras de material particulado e principais serviços de construção do edifício em que ocorrem	103

Quadro 5.5. Medidas de controle e prevenção nos serviços de corte e perfuração.	110
Quadro 5.6. Medidas de prevenção e controle de emissão de material particulado durante o transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos	125
Quadro 5.7 – Controle e prevenção de emissões provenientes de veículos de construção e transporte nos canteiros de obras de edifícios.	128
Quadro 7.1. – Estruturação do plano de gestão de emissões de material particulado	164
Quadro 7.2 – Modelo de planilha de checagem para identificação de atividades emissoras e medidas de controle.	175
Quadro 7.3 – Exemplo de programação mensal de atividades emissoras.	176

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1 – Fontes de emissão de material particulado nos Estados Unidos	5
Gráfico 3-1 – Inversões térmicas a 200 metros do solo na RMSP.	51
Gráfico 4-1 – Fontes de emissão de material particulado nos Estados Unidos	57
Gráfico 4-2 – Fontes de emissão de poluentes em 2005 na região metropolitana de São Paulo	57
Gráfico 4-3 – Distribuição proposta para partículas que poderia ser obtida no trânsito, apresentando a classificação modal.	62
Gráfico 4-4 – Curvas de definição de partículas inaláveis (IPM), torácicas (TPM), respiráveis (RPM), PM_{10} e $PM_{2,5}$.	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
AGV	Amostrador de grande volume
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BS	<i>British Standard</i>
CaCO₃	Carbonato de Cálcio
CaSO₄	Sulfato de Cálcio
CEN	<i>European Standardization Committee</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH₄	Metano
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
CFC	Clorofluorcarbono
Cl	Cloro
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	<i>Environment Protection Act</i> (Reino Unido)
EPD HONG KONG	<i>Environmental Protection Department of Hong Kong</i>
EUA	Estados Unidos da América
Hi-Vol	<i>High Volume Sampler</i>
HNO₃	Ácido Nítrico
H₂S	Ácido Sulfídrico
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IETC	<i>International Environmental Technology Centre</i>
ILO	<i>International Labor Organization</i>
IPC	<i>Integrated Pollution Control</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Km	Quilômetro
LAPPC	<i>Local Air Pollution and Prevent Control</i>

MP	Material Particulado
MP_{2,5}	Material Particulado menor que 2,5 µm
MP₁₀	Material Particulado menor que 10 µm
MPS	Material Particulado em suspensão
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NAAQS	<i>National Ambient Air Quality Standards</i>
NaCl	Cloreto de Sódio
NH₃	Amônia
NSW EPA	New South Wales Environmental Protection Authority (Austrália)
PM	<i>Particulate Matter</i>
PH	Potencial de Hidrogênio iônico
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTS	Partículas Totais em Suspensão
NO₂	Dióxido de Nitrogênio
NO_x	Óxidos de nitrogênio
Nr	Nitrogênio reativo
O₃	Ozônio
Pb	Chumbo
PIB	Produto Interno Bruto
PMBok	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SIP	<i>State Implementation Plan</i>
SO₂	Dióxido de Enxofre
SO₃	Trióxido de Enxofre
SO_x	Óxidos de enxofre
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE QUADROS	X
LISTA DE GRÁFICOS	XII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XIII
SUMÁRIO	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	1
1.2. Objetivos Gerais e Específicos	6
1.3. Metodologia	7
1.4. Estruturação do Trabalho	9
2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	11
2.1 Evolução da interação do ser humano com o meio ambiente	11
2.2 Desenvolvimento sustentável	13
2.3 Construção Sustentável	16
2.4 Impactos ambientais da construção civil	18
2.4.1 Consumo de recursos naturais	20
2.4.2 Geração de resíduos	22
2.4.3 Consumo de energia	24
2.4.4 Consumo de água	25
2.4.5 Poluição ambiental	26

2.4.6	Poluição do ar interior de edifícios	29
2.4.7	Outros impactos	30
2.5	Aspectos sociais da construção civil	31
2.6	Aspectos econômicos da construção civil	33
2.7	O ciclo de vida do edifício e o papel dos seus agentes	34
2.8	Considerações sobre o capítulo	38
3	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	40
3.1	A Atmosfera	40
3.2	Classificação dos poluentes atmosféricos	42
3.3	Fontes de poluição atmosférica	44
3.4	Principais poluentes atmosféricos	44
3.4.1	Dióxido de enxofre (SO₂)	45
3.4.2	Monóxido de Carbono (CO)	45
3.4.3	Ozônio (O₃)	46
3.4.4	Compostos de nitrogênio (NO_x)	46
3.4.5	Material particulado (MP)	47
3.5	Efeitos da poluição atmosférica	47
3.6	Efeitos das condições meteorológicas na poluição do ar	50
3.6.1	Inversão térmica	50
3.6.2	Ventos	51
3.6.3	Chuvas	51
3.6.4	Temperatura	52
3.6.5	Estabilidade atmosférica	52

3.7 Controle da poluição atmosférica	52
4 MATERIAL PARTICULADO	54
4.1 Conceituação	54
4.2 Classificação e fontes de emissão	55
4.3 Tamanho das partículas	58
4.3.1 Diâmetro equivalente	59
4.3.2 Distribuição granulométrica	61
4.4 Composição química	67
4.5. Comparação entre partículas finas e grossas	68
4.6 Efeitos da poluição por material particulado	70
4.6.1 Efeitos sobre o ser humano	71
4.6.2 Efeitos sobre materiais	73
4.6.3 Efeitos sobre a visibilidade	74
4.6.4 Efeitos sobre a natureza	75
4.7 Legislação para poluição atmosférica aplicável ao material particulado	78
4.7.1 Legislação nacional	78
4.7.2 Legislações internacionais	82
4.7.2.1 Padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS)	82
4.7.2.2 Legislação norte-americana	84
4.7.2.3 Legislação britânica	86
4.8 Considerações finais	87
5 EMISSÃO E CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO NO CANTEIRO DE OBRAS DE EDIFÍCIOS	89

5.1 Material particulado na construção civil	89
5.2 Características do material particulado emitidos na produção de edifícios	90
5.3 Efeitos nocivos da poluição por material particulado gerada no canteiro de obras	91
5.4 Identificação e controle das atividades geradoras de material particulado	93
5.4.1 Emissão e controle nas atividades de demolição	93
5.4.2 Emissão e controle nas atividades de movimentação de terra e serviços preliminares	97
5.4.3 Emissão e controle nos serviços de construção	102
5.4.3.1 Controle e prevenção de emissões de material particulado nas atividades de construção	107
5.4.4 Transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos	122
5.4.5 Veículos de produção e transportes	127
5.5 Considerações finais sobre o capítulo	131
6 MONITORAMENTO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NOS CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFÍCIOS	133
6.1 Introdução	133
6.2 Monitoramento de material particulado em suspensão	134
6.2.1 Amostrador de grande volume	135
6.2.2 Amostrador de médio volume	137
6.2.3 Amostradores de pequeno volume	137
6.2.4 Outros amostradores	138
6.2.5 Planejamento do monitoramento de material particulado em suspensão	141
6.2.6 Considerações sobre o monitoramento de materiais em suspensão	143

6.3	Monitoramento da taxa de poeira sedimentável total	145
6.3.1	Planejamento do monitoramento da taxa de poeira sedimentável total	150
6.4	Padrões de qualidade do ar para construção civil	151
6.4.1	Padrões para MP10 e PTS	151
6.4.2	Padrões para taxa de poeira sedimentável total	154
6.5	Considerações sobre influência de fatores meteorológicos no monitoramento	156
6.6	Considerações sobre o capítulo	157
7	GESTÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NO CANTEIRO DE OBRAS DE EDIFÍCIOS	159
7.1	Introdução	159
7.2	Plano de gestão	159
7.2.1	Planejamento	165
7.2.1.1	Iniciação	165
7.2.1.2	Avaliação do grau de risco e estimativa de emissões	166
7.2.1.3	Verificação de aspectos legais	170
7.2.1.4	Apoio à concepção de projetos e planejamento da execução	170
7.2.1.5	Identificação das atividades emissoras de material particulado e procedimentos de controle	172
7.2.1.6	Plano de monitoramento	177
7.2.1.7	Plano de comunicação	179
7.2.1.8	Requisitos para contratações	179
7.2.1.9	Encerramento da etapa de planejamento	180
7.2.2	Implementação e operação	181

7.2.3	Verificação e ação corretiva	182
7.2.3.1	Verificação do grau de risco	183
7.2.3.2	Verificação das atividades emissoras correntes	183
7.2.3.3	Verificação da implantação das ações de controle	184
7.2.3.4	Verificação do plano de monitoramento e equipamentos de monitoramento	185
7.2.3.5	Verificação da eficiência das ações de prevenção, controle e monitoramento	186
7.2.3.6	Verificação de treinamentos e plano de comunicação	188
7.2.3.7	Planos de ações corretivas e emergências	188
7.2.3.8	Encerramento	189
7.3	Considerações sobre o capítulo	190
8	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	193
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	197
	ANEXO A	202
	APÊNDICE A	206

1 INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A partir da Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX passou-se a estabelecer uma economia industrializada centrada no espaço urbano e baseada no consumo elevado de matérias-primas e energia, alterando significativamente o impacto do homem sobre a natureza. Tinha-se um pensamento implícito de que os recursos da natureza são infinitos e o meio ambiente tem capacidade para absorver indefinidamente os detritos gerados pela sociedade industrial.

Somente a partir do século XX o ser humano começou a perceber a sua influência negativa sobre o meio ambiente, principalmente, após os grandes estragos causados pelas duas guerras mundiais. Porém, o crescimento da população e da atividade econômica globais mostrou que a preocupação apenas com o controle da poluição e regulamentações ambientais de proteção à fauna e à flora eram insuficientes perante o problema que se estabelecia (JOHN, 2000). A população global cresceu de 1950 até 2000 de cerca de 3 bilhões de habitantes para cerca de 6 bilhões de habitante. Neste mesmo período, o crescimento da economia quintuplicou (*United Nations Environment Programme* - UNEP, 2006). A demanda mundial por diferentes fontes de energia em 1990 era quatro vezes maior que em 1950 (World Wide Fund for Nature, s.d.). Camargo (2003) afirma que “pela primeira vez na história humana a atividade econômica é tão extensiva que produz mudanças ambientais em escala global”. Cada vez mais fica evidente que o fator limitativo do desenvolvimento do século XXI será o enfraquecimento dos serviços prestados pelos ecossistemas vitais (HOLTHAUSEN, 2000).

Toda essa mudança no pensamento global e a conscientização ambiental e social movimentada nos últimos anos do século XX levaram ao desenvolvimento do que se entende hoje por *Desenvolvimento Sustentável*.

Segundo Camargo (2003) “O desenvolvimento sustentável em seu sentido mais amplo visa promover a harmonia entre os seres humanos e entre a humanidade e a natureza. O objetivo é caminhar na direção de um desenvolvimento que integre os interesses sociais, econômicos e as possibilidades e os limites que a natureza define”.

Entender e colocar em prática o desenvolvimento sustentável é o grande desafio do século XXI. É o início de uma nova era, assim como foi a Revolução Industrial, não há como reverter isso. Se o ser humano não souber se desenvolver economicamente, atendendo às necessidades da sociedade e em equilíbrio com o meio ambiente será muito difícil o futuro das próximas gerações.

A construção civil tem forte relação com o alcance do desenvolvimento sustentável seja em escala local, regional, nacional ou global. É a indústria que mais causa impactos ambientais (SILVA, 2003) (levando-se em conta toda a sua macro indústria, da extração de recursos até a disposição final de seus produtos). Em todas as suas atividades, seja na fabricação, construção, demolição, reforma, entre outros, são consumidas grandes quantidades de recursos naturais, gerada grande quantidade de resíduos e consumida grande quantidade de energia.

Sua influência social e econômica é também bastante significativa. É uma grande fonte geradora de empregos; além disso, sua atividade está vinculada ao atendimento de necessidades básicas como habitação, saúde, educação, infraestrutura e interação social. No Brasil e na Europa ela representa 11% do PIB (SILVA, 2003 e *International Council For Research And Innovation In Building And Construction* - CIB, 1999).

Sem que haja mobilização no setor da construção civil, é praticamente impossível que haja desenvolvimento sustentável. O desafio é bastante grande, dado o universo que a construção civil abrange.

Dentro do pensamento sustentável as ações devem ser pensadas de maneira sistêmica, avaliando todo o ciclo de vida dos produtos gerados. No caso do edifício, por exemplo, o ciclo de vida envolve desde a concepção, passando pela fabricação, construção, operação, demolição e finalmente pela destinação final dos resíduos,

podendo ser gerados impactos ambientais, sociais e econômicos relevantes. A escolha de um material que provenha de fontes de recursos não-renováveis, que não seja reciclável ou desmontável, que consuma grande quantidade de energia (seja na fabricação, na construção, na operação ou na reciclagem), é apenas um exemplo da responsabilidade das escolhas e decisões a serem tomadas num ambiente sustentável.

Este trabalho se propõe a avaliar, dentro do ciclo de vida do edifício, características da etapa de construção, mais especificamente do canteiro de obras. Embora seja uma etapa de curto prazo se comparada às demais, seus impactos são significativos, ainda mais se pensarmos num grande volume de obras, o que é uma realidade em muitos países, incluindo o Brasil.

O canteiro de obras é uma indústria, com a diferença que após a conclusão do produto, quem sai do local é a indústria, ficando o produto. Como em muitas indústrias convencionais, há grande consumo de recursos e grande geração de resíduos e poluição, além de incômodos à região onde está inserida e aos profissionais que nela trabalham.

A poluição e incômodos gerados causam impactos sobre o meio físico (solo, ar e água) sobre o meio biótico (fauna e flora) e sobre o meio antrópico (trabalhador, a vizinhança ou a sociedade em si) (ARAÚJO; CARDOSO, 2006).

Entre os aspectos ambientais do canteiro de obras que causam esta poluição e incômodos estão as gerações de resíduos perigosos, a emissão de ruídos, a emissão de vibração, o lançamento de materiais fragmentados, a emissão de material particulado, entre outros (ARAÚJO; CARDOSO, 2006).

A poluição e incômodos gerados nos canteiros de obras são reconhecidos pela sociedade em geral, principalmente a poluição sonora, a vibração e a emissão de material particulado.

O foco deste trabalho é a poluição do ar e os incômodos por deposição gerados pela emissão de material particulado a partir dos canteiros de obra.

Segundo a *United States Environmental Protection Agency* - US EPA (2006) o material particulado é caracterizado pela mistura de partículas sólidas ou líquidas encontradas no ar. Algumas destas partículas podem ser vistas a olho nu, como é o caso das poeiras ou resíduos, outras somente com uso de microscópios eletrônicos, como é o caso do $MP_{2,5}$ que são partículas com diâmetro de 2,5 micrômetros ou menos e o MP_{10} , partículas com diâmetro entre 2,5 e 10 micrômetros. O material particulado pode ser emitido diretamente na atmosfera ou se formar na atmosfera a partir de emissões primárias de gases. As poeiras de construção, por exemplo, são emitidas diretamente no ar. Já os sulfatos são formados a partir, por exemplo, da emissão de SO_2 pelas indústrias. As partículas MP_{10} ou de maior diâmetro geralmente são emitidas diretamente no ar, enquanto as partículas $MP_{2,5}$ geralmente, são formadas por emissões gasosas.

As partículas MP_{10} ou de diâmetro menor são partículas que representam riscos à saúde humana e que recebem maior atenção de órgãos nacionais e internacionais ligado ao meio ambiente (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB e US EPA, por exemplo). Tais partículas têm facilidade em penetrar nas vias respiratórias e pulmões e estão relacionadas a várias doenças nos pulmões e coração, levando muitas vezes à morte. Muitos problemas de saúde estão relacionados à longa exposição ou ainda exposição diária ou de picos (1 hora, por exemplo); são exemplos: asma, bronquites, alergias, arritmia cardíaca e ataques do coração. As crianças e idosos são os mais afetados.

Além de ser um problema de saúde pública, o material particulado também causa outros impactos ao meio ambiente como a redução de visibilidade, impactos à vegetação e ecossistemas, danos a edificações, incômodos a vizinhos, poluição dos solos e das águas, entre outros.

A emissão de material particulado está relacionada há algumas fontes como emissão dos escapamentos de veículos, gases emitidos por indústrias, queimas de matas, estradas de terra, canteiros de obras, pulverização de pesticidas, ou ainda causas naturais como erupções de vulcões, água do mar, decomposições biológicas, entre outras (ALMEIDA, 1999; US EPA, 2006).

Na Região Metropolitana de São Paulo, em 2005, a emissão por veículos foi a maior fonte de emissão (40%), seguida das partículas formadas na atmosfera pelos diversos gases (25%), pelas partículas em ressuspensão (25%) e finalmente pelos processos industriais (10%). Nas partículas em ressuspensão se encontram a maior parte das emissões geradas pelos canteiros de obras, sem contar os veículos e equipamentos de construção e algumas partículas formadas na atmosfera por emissão de gases.

Nos Estados Unidos, a US EPA fez uma caracterização genérica das fontes de material particulado, conforme o gráfico 1-1.

Gráfico 1-1 – Fontes de emissão de material particulado nos Estados Unidos

Fonte: US EPA (s.d.)

Nota-se que a construção civil, sozinha, representa 13% das emissões. No Brasil, não há dados que representem as emissões específicas da construção civil, mas é notável, na atmosfera de cidades como São Paulo, a presença de partículas emitidas pelos canteiros de obras, seja pela deposição de poeiras nas propriedades, seja por problemas de saúde que os vizinhos de obras sofrem, entre outros.

Nota-se que a poluição por material particulado tem grande relevância ambiental, social e econômica e, sendo a construção civil uma das principais fontes de emissão, faz-se necessário o estudo e o controle das mesmas no ambiente do canteiro de obras.

Este trabalho pretende estudar a emissão de material particulado nos canteiros de obras de edifícios inseridos no meio urbano, com ênfase em alguns aspectos: a) identificação das principais fontes de emissão de material particulado entre as atividades realizadas no canteiro de obra, b) identificação dos principais métodos de controle para estas emissões; c) identificação de metodologias de monitoramento de emissões aplicáveis à realidade do canteiro de obras de edifícios e d) fornecer elementos para elaboração de planos de gestão para controle de emissões de material particulado no canteiro de obras de edifícios.

No Brasil, não se tem conhecimento de trabalhos que abordem especificamente este assunto. E dada a relevância que a questão tem, principalmente em áreas urbanas, onde há grande concentração de pessoas, faz-se necessário este estudo, adaptado às condições brasileiras.

Com este trabalho pretende-se criar instrumentos para novas pesquisas sobre impactos ambientais do canteiro; propor um conjunto de boas práticas que possa auxiliar, principalmente, as empresas construtoras a controlar a emissão de material particulado em seus canteiros melhorando sua imagem frente à sociedade, reduzindo o número de reclamações, entre outros aspectos; contribuir socialmente para a redução de impactos ambientais da construção civil, que se faz cada vez mais necessário, à medida que se busca uma sociedade mais sustentável, entre outros aspectos.

1.2. Objetivos Gerais e Específicos

A pesquisa ser desenvolvida tem como objetivo geral identificar fontes de emissão de material particulado do canteiro de obras de edifícios e estudar os principais dispositivos para controle e monitoramento destas emissões.

Além disso, a pesquisa tem alguns objetivos específicos:

- apresentar as principais propriedades do material particulado para melhor compreensão dos seus efeitos poluidores;
- apresentar os impactos das emissões do material particulado sobre o meio ambiente, com enfoque ao meio urbano;
- apresentar legislações e limites de emissões de material particulado;
- determinar as principais atividades geradoras de material particulado nos canteiros de obras, nas principais fases de construção do edifício;
- determinar as principais medidas mitigadoras para os impactos ambientais gerados pela emissão de material particulado no canteiro de obras;
- fornecer informações para estruturação de planos de gestão de emissão de material particulado nos canteiros de obras de edifícios;
- Gerar informações para estudos de impactos ambientais de canteiros de obra de maneira geral;
- contribuir para a identificação de outros temas de pesquisa.

1.3. Metodologia

A metodologia de desenvolvimento da pesquisa está baseada em pesquisa bibliográfica e em consulta a especialistas em avaliação da qualidade do ar.

O trabalho está dividido em dois núcleos. O primeiro núcleo desenvolve o levantamento bibliográfico obtido sobre construção sustentável, poluição atmosférica e caracterização do material particulado. O segundo núcleo desenvolve o levantamento bibliográfico obtido sobre a emissão, controle e monitoramento de material particulado no canteiro de obras, complementado por opiniões e proposições do autor e especialistas. Ambos os núcleos exploram bases teóricas. Não foram realizados estudos de caso.

Como o tema de pesquisa é, ainda, pouco explorado no Brasil e no mundo, há número restrito de referências bibliográficas sobre emissões de material particulado

especificamente para canteiros de obras de edifícios. Além disso, as informações para avaliação de emissões de material particulado a partir do canteiro de obras

dependem de outras áreas de conhecimento, além da construção civil, como saúde pública, poluição atmosférica, química, entre outros, o que torna o assunto mais complexo. Por isso, a pesquisa baseou-se, também, em consulta a especialistas em qualidade do ar de agências ambientais e universidade, buscando elementos que fossem compatíveis à realidade da construção civil, a partir da experiência destes profissionais na avaliação da qualidade do ar em situações diversas (emissões de veículos, emissões de indústrias diversas, ressuspensões, saúde pública, entre outros).

Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica está baseada na avaliação de bibliografia nacional e internacional relacionada ao tema de pesquisa. Foram consultados livros, dissertações, teses, boletins técnicos, revistas científicas de interesse, jornais, artigos de congressos, códigos de prática, leis, normas técnicas, entre outros.

Os documentos foram obtidos por meio de bancos de dados, como o Infohab e Dedalus, nas bibliotecas de Engenharia Civil e da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, na biblioteca da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), além da internet, onde foram obtidas informações relevantes sobre material particulado e sua relação com a construção civil. Devido ao restrito desenvolvimento do tema no Brasil (relacionando material particulado à construção civil), a consulta a publicações informativas e científicas internacionais foi de fundamental importância. As principais bases consultadas foram as publicações da *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) dos Estados Unidos, do *Building Research Establishment* (BRE) do Reino Unido, da *Greater London Authority* do Reino Unido, da *NetRegs* do Reino Unido, do *Environmental Protection Department* de Hong Kong (EPD Hong Kong) e da *NSW Environmental Protection Authority* (NSW EPA) da Austrália.

As palavras chaves usadas em buscas de bibliografia foram: material particulado, poeiras, poluição atmosférica, canteiros de obras e construção civil, tanto em língua portuguesa quanto inglesa.

Consulta a especialistas

Para elaboração da pesquisa foram consultados, através de visitas pessoais e correio eletrônico, os seguintes profissionais:

- Profissionais da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) da divisão de apoio às ações de controle e da divisão de tecnologia de avaliação de qualidade do ar;
- Profissional da *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). (Eng. John S. Kinsey - Cientista Ambiental do *National Risk Management Research Laboratory*);
- Professor da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. (Prof. Dr. João Vicente de Assunção).

1.4. Estruturação do Trabalho

A pesquisa será estruturada em oito capítulos.

O capítulo 1 apresenta a justificativa da pesquisa, seus objetivos gerais e específicos, a metodologia de pesquisa e a estruturação do trabalho.

O capítulo 2 discute os principais aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil. São avaliadas as principais interfaces entre a construção civil, o meio ambiente e o desenvolvimento social e econômico. São gerados elementos para o entendimento da relação da poluição por material particulado a partir do canteiro de obras e o desenvolvimento sustentável.

O capítulo 3 apresenta um levantamento bibliográfico sobre poluição atmosférica. São identificados os principais poluentes atmosféricos, suas fontes de emissão, seus

principais efeitos nocivos ao meio ambiente, a influência de fatores meteorológicos na poluição atmosférica e considerações sobre o controle da poluição na atmosfera.

O capítulo 4 apresenta as principais características do material particulado. São apresentadas suas propriedades físicas e químicas, suas principais fontes de emissão, seus diversos efeitos nocivos ao meio ambiente, além das principais legislações nacionais e internacionais que abordam o assunto.

O capítulo 5 faz a identificação das principais fontes de emissão de material particulado no canteiro de obras. São abordadas as fases de demolição, movimento de terra e construção do edifício. Além das fontes de emissão, são apontados os principais métodos de controle que podem ser aplicados no canteiro de obras para regular a emissão de material particulado, conforme a sua fonte de geração. O capítulo é baseado na experiência internacional sobre o assunto.

O capítulo 6 reúne a experiência internacional sobre monitoramento de emissões de material particulado a partir dos canteiros de obras, complementada pela experiência nacional no monitoramento da qualidade do ar em situações diversas. São apresentados os principais métodos e equipamentos de amostragem disponíveis, além de serem apontadas as suas principais vantagens e limitações na aplicação no canteiro de obras.

O capítulo 7 propõe um conjunto de elementos necessários para a elaboração de um plano de gestão de emissão de material particulado no canteiro de obras. São abordados todos os aspectos necessários para o gerenciamento das emissões do material particulado, desde a fase de concepção do edifício até a conclusão das obras, de forma a garantir que as emissões do canteiro permaneçam dentro dos níveis pré-estabelecidos.

O capítulo 8 apresenta as conclusões e considerações finais sobre a pesquisa.

2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

2.1 Evolução da interação do ser humano com o meio ambiente

Ao longo da história a interação do ser humano com a natureza tem se modificado bastante. Nos primórdios, o ser humano era subjugado pela natureza, sendo o mundo natural considerado por ele como onipotente, imprevisível e indomável. Essa relação se modificou de forma considerável, a partir das Revoluções Científica e Industrial, onde o ser humano passou a se considerar superior ao mundo natural, tendendo a domar, explorar e revelar todos os segredos da natureza (CAMARGO, 2003).

A Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX passou a estabelecer uma economia industrializada centrada no espaço urbano e baseada no consumo elevado de matérias-primas e energia, alterando significativamente o impacto do homem sobre a natureza. A sociedade passou a ser orientada por um paradigma desbravador, segundo o qual existe uma contraposição entre o meio ambiente e o desenvolvimento. A defesa do meio ambiente é vista como antidesenvolvimentista (JOHN, 2000).

O modelo de produção é linear: bens são concebidos, projetados, construídos, utilizados e, após sua vida útil, são acumulados no meio ambiente juntamente com os resíduos do processo de produção. Tinha-se um pensamento implícito de que os recursos da natureza eram infinitos e o meio ambiente tinha capacidade para absorver indefinidamente os detritos gerados pela sociedade industrial.

Uma conscientização ambiental das ações do ser humano sobre a natureza passou a ser desenvolvida somente a partir do século XX. Segundo Camargo (2003) “os efeitos devastadores das duas grandes guerras mundiais foram decisivos para que houvesse um impulso na conscientização dos seres humanos a respeito dos problemas ambientais”. Dentro dessa consciência ambiental e dos movimentos

ecológicos que se desenvolveram, principalmente a partir da segunda metade do século XX, as principais preocupações estavam ligadas à limitação da poluição gerada pelos processos de produção e à proteção da fauna e da flora. A proteção ambiental passa a ser vista como um “mal necessário” (JOHN, 2000).

No século XX, a evolução da percepção dos problemas ambientais ocorreu de maneira diferenciada ao longo do tempo. Numa primeira etapa, ocorreu a percepção de problemas ambientais localizados. Numa segunda etapa, a degradação ambiental foi percebida como um problema generalizado, porém confinado nos limites territoriais dos países. Somente nas últimas décadas a degradação ambiental passou a ser percebida como um problema global e que atinge a todos (BARBIERI, 1997).

A evolução do conhecimento científico acerca do funcionamento do planeta e dos efeitos das ações do ser humano sobre o meio ambiente foi um dos principais fatores para o entendimento dos problemas ambientais como questão global. A evolução dos meios de comunicação e seu alcance global, também foram determinantes na sensibilização da população mundial (MAIMON, 1996). Alphandéry; Bitoun; Dupont (1992) afirmam que “a era otimismo do crescimento em um desenvolvimento linear do progresso parece hoje encerrada, desde que uma grande parcela da sociedade tomou consciência de sua dependência em relação aos equilíbrios fundamentais da natureza”. O crescimento da população e o crescimento econômico globais foram, também, determinantes para que se entendesse que os modelos que antes se preocupavam apenas com o controle da poluição e regulamentações ambientais de proteção à fauna e à flora eram insuficientes perante o problema que se estabelecia. A população global cresceu de 1950 até 2000 de cerca de 3 bilhões de habitantes para cerca de 6 bilhões de habitantes, além disso, neste mesmo período o crescimento da economia quintuplicou (UNEP, 2006). A demanda mundial por diferentes fontes de energia em 1990 era quatro vezes maior que em 1950 (World Wide Fund for Nature s.d.). Camargo (2003) afirma que “pela primeira vez na história humana a atividade econômica é tão extensiva que produz mudanças ambientais em escala global”. Cada vez mais fica evidente que o fator limitativo do desenvolvimento do século XXI será o

enfraquecimento dos serviços prestados pelos ecossistemas vitais (HOLTHAUSEN, 2000).

Toda essa mudança no pensamento global e conscientização ambiental e social movimentada nos últimos anos do século XX levaram ao desenvolvimento do que se entende hoje por *Desenvolvimento Sustentável*.

2.2 Desenvolvimento sustentável

Uma das primeiras publicações a tratar do termo “desenvolvimento sustentável” surgiu em 1987 quando a Comissão Brundtland¹ divulgou o relatório *Our common future* (Nosso futuro comum). O relatório surgiu após o aprimoramento de uma série de estudos que tiveram início na década de 60 e que ganharam intensidade a partir da realização da Conferência de Estocolmo² e da publicação do relatório denominado *The limits to growth*³ (Os limites do crescimento) pelo Clube de Roma, ambos em 1972. Nesta época começava o entendimento das relações entre o desenvolvimento sócio-econômico e as modificações do meio ambiente global.

Os estudos e ações para entendimento do desenvolvimento sustentável pelas comunidades globais continuaram ao longo dos anos que se seguiram. Em 1992, a Agenda 21, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, com a participação de 179 países, estabeleceu um plano ambicioso de ação global para o século seguinte, que

¹A Comissão Brundtland ou Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi criada em 1983 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma). Seu objetivo era reexaminar os problemas críticos do meio ambiente e do desenvolvimento do planeta e formular propostas realistas para solucioná-los. Ficou conhecida por comissão Brundtland por ter sido presidida pela então primeira-ministra da Noruega Gro Harlem Brundtland.

²A Conferência de Estocolmo ou Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano contou com a participação de 113 países e destacou os problemas da pobreza e do crescimento populacional e elaborou metas ambientais e sociais centrando sua atenção nos países em desenvolvimento.

³O relatório fez projeções matemáticas do crescimento populacional, poluição e esgotamento dos recursos naturais da Terra, concluindo que, mantidos os níveis de industrialização, poluição, produção de alimentos e exploração de recursos materiais, o limite do desenvolvimento do planeta seria atingido no máximo em 100 anos (FRANCO, 2000).

estabeleceu uma visão de longo prazo para equilibrar necessidades econômicas e sociais com os recursos naturais do planeta (SILVA,2003). Segundo CAMARGO (2003) estabeleceram-se pela primeira vez as bases para alcançar o desenvolvimento sustentável em escala global, fixando direitos e obrigações individuais e coletivos, no âmbito do meio ambiente e do desenvolvimento.

Em 1996, foi publicada a Agenda Habitat II pela Conferência das Nações Unidas em Istambul. Segundo o CIB (1999) foi uma das agendas de maior significado para construção civil, até então, pois tratava de aspectos do assentamento humano, mas também continha seções que tratavam especificamente do desenvolvimento da indústria da construção.

Após a Agenda 21 e a Agenda Habitat II, diversas ações internacionais, locais e setoriais continuaram a se desenvolver. O desafio continua nos dias atuais. Um dos grandes objetivos do século XXI é desenvolver uma sociedade “mais sustentável”.

Diversas definições são dadas para desenvolvimento sustentável. Segundo CAMARGO (2003):

O desenvolvimento sustentável em seu sentido mais amplo visa promover a harmonia entre os seres humanos e entre a humanidade e a natureza. O objetivo é caminhar na direção de um desenvolvimento que integre os interesses sociais, econômicos e as possibilidades e os limites que a natureza define.

Segundo o *Center of excellence for sustainable development* (2006) desenvolvimento sustentável

é uma estratégia através da qual comunidades buscam um desenvolvimento econômico que também beneficie o meio ambiente local e a qualidade de vida [...] fornece uma estrutura através da qual comunidades podem usar recursos mais eficientemente, criar infra-estruturas eficientes, proteger e melhorar a qualidade de vida e criar novos negócios para fortalecer suas economias. Isso pode auxiliar a criar

comunidades saudáveis que possam sustentar nossa geração tão bem quanto as que vierem.

De maneira geral o desenvolvimento sustentável busca o equilíbrio entre o crescimento econômico, as limitações do meio ambiente e as necessidades da sociedade.

Embora o desenvolvimento sustentável esteja hoje no centro de diversas discussões mundiais e locais ainda é considerado um tema complexo, controverso e polêmico. Apresenta-se circunscrito em um difícil contexto de se encontrar respostas que tenham capacidade efetiva para preservar a biosfera e ao mesmo tempo produzir uma relação equilibrada entre a sociedade humana e a natureza.

As prioridades para atingir o desenvolvimento sustentável variam em âmbito global, regional, nacional, local e setorial até mesmo entre empresas e consumidores individuais (JOHN, 2000). O que é sustentável para um país desenvolvido não é necessariamente o que atende às necessidades dos países pobres e dependentes. Características como densidade demográfica da população, economia nacional e padrão de vida, geografia e desastres naturais, disponibilidade de terra e água, produção e suprimento de energia, entre outros, são fatores que influenciam e modificam os objetivos nacionais, por exemplo (CIB, 1999).

O desenvolvimento sustentável também é multidisciplinar, pois um único segmento científico ou tecnológico é incapaz de dar todas as respostas necessárias para seu entendimento e desenvolvimento.

O desenvolvimento sustentável não pode ser implementado de uma só vez, mas como uma evolução, de forma gradual, passo a passo (SCHWARTZMAN, 2006). É um processo dinâmico, no qual metas têm que ser continuamente conferidas e melhoradas. Não é tarefa somente para uma geração; é um processo a ser instituído, um projeto global que demandará tempo, compromisso e esforço de várias gerações. Sua concepção, dimensões e desafios certamente precisarão de tempo para revelar toda a sua complexidade e importância, assim como seu amadurecimento e completa aceitação, como ocorreram em diversas transformações importantes que a humanidade passou (CAMARGO, 2003).

2.3 Construção Sustentável

A macro indústria da construção civil é maior causadora de impactos ao meio ambiente. Tem importância significativa nas metas de desenvolvimento sustentável de qualquer país (SILVA, 2003). Em todas as suas atividades, seja na fabricação, construção, demolição, reforma, entre outros, são consumidas grandes quantidades de recursos naturais, gerada grande quantidade de resíduos, consumida grande quantidade de energia, além de poluição como a sonora e a emissão de partículas no ar, entre outros. Na etapa de uso, as edificações na Europa são responsáveis por 40% do consumo de energia (CIB, 1999); no Brasil as edificações representam 50% do consumo de energia elétrica (JOHN, AGOPYAN; SJÖSTRÖM, 2001).

A construção civil também tem importância social e econômica significativa. É uma grande fonte geradora de empregos, sua atividade está vinculada ao atendimento de necessidades básicas como habitação, saúde, educação, infra-estrutura e interação social. No Brasil ela representa 11% do PIB (SILVA, 2003) e na Europa 11% (CIB, 1999).

A relevância do setor de construção para o alcance do desenvolvimento sustentável de forma global e local é bastante significativa.

Devido a sua importância, diversas ações se desenvolveram ao longo dos últimos anos buscando o desenvolvimento de uma construção sustentável. Em 1999 o CIB - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* publicou a “Agenda 21 para a Construção Sustentável”, com o objetivo de fundamentar uma estrutura global para a elaboração de Agendas locais ou nacionais e setoriais a serem desenvolvidas internacionalmente. De forma geral, a Agenda 21 do CIB avalia os seguintes aspectos e desafios: (a) gerenciamento e organização; (b) aspectos do produto e do edifício; (c) consumo de recursos; e (d) impactos da construção no desenvolvimento urbano sustentável.

Em 2002, o CIB e a UNEP-IETC (*United Nations Environment Programme – International Environmental Technology Centre*) publicaram a “Agenda 21 para Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento” colocando as

características particulares desses países e os esforços necessários para se alcançar o desenvolvimento sustentável na construção. O documento coloca uma definição de construção sustentável:

Construção sustentável significa que os princípios do desenvolvimento sustentável são aplicados a todo o ciclo de construção da extração e beneficiamento dos materiais, passando pelo planejamento, projeto e construção de edifícios e obras de infra-estrutura, até sua demolição e gestão dos rejeitos dela resultantes. É um processo holístico que leva à recomposição e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, assegurando a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajam a equidade econômica.

O documento também faz colocações a respeito da “Agenda Verde” e “Agenda Marrom”, importantes para o entendimento dos objetivos da sustentabilidade nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento. A Agenda Verde concentra-se em equilibrar o consumo possível aos recursos disponíveis, procurando reduzir o impacto ambiental da produção do ambiente construído, consumo e geração de resíduos, com ênfase na proteção e bem-estar de ecossistemas e reservas de recursos naturais que proporcionam condições de vida às gerações futuras nas escalas local, regional e global e, num horizonte de tempo de longo prazo. Já a Agenda Marrom enfoca problemas da pobreza, subdesenvolvimento e riscos à saúde, derivados de poluição do ar e da água, do acúmulo local de resíduos, de condições sanitárias deficientes de superpopulação, e de provisão deficiente de água e serviços urbanos, com ênfase nos aspectos de saúde e bem estar humano, em escala local, e num horizonte de tempo imediato (CIB; UNEP-IETC, 2002). De maneira genérica a Agenda Verde estaria mais ligada aos países desenvolvidos e a Agenda Marrom aos países em desenvolvimento. No caso do Brasil, por exemplo, onde há grandes diferenças sociais, como cita Silva (2003) “tem-se Europas e Áfricas convivendo lado a lado em um só país”, pode-se dizer que haveria aplicação de conceitos das duas agendas.

Em 2000, John *et. al* propuseram uma agenda local para a indústria da construção civil brasileira, considerando as características peculiares do país. Nesta agenda

foram destacados os seguintes aspectos: (a) redução de perdas e resíduos de construção; (b) aumentar o uso da reciclagem de resíduos de construção e demolição como materiais de construção; (c) eficiência energética das edificações; (d) conservação de água; (e) melhoria da qualidade do ar interno; (f) melhoria da qualidade do processo de construção e produtos; (g) durabilidade e manutenção; e (h) aspectos sociais.

O desafio da construção sustentável envolve todo o ciclo de vida da construção desde a extração dos materiais até a deposição final dos seus resíduos de demolição, favorecendo o desenvolvimento sócio-econômico em harmonia com o meio ambiente. Nos países em desenvolvimento, o aspecto social ganha a mesma importância que o aspecto ambiental, visto que nestes países há grandes problemas sociais a serem resolvidos, diferentemente das condições dos países desenvolvidos, onde o enfoque volta-se principalmente à variável ambiental.

A construção sustentável, após um longo período de maturação, deixará de trabalhar com o modelo de produção linear, onde os recursos são extraídos, beneficiados e depois da produção/uso dispostos no meio ambiente. Passará a se utilizar um modelo cíclico, onde haverá a otimização de todos os recursos utilizados e a geração de resíduos reduzida a um mínimo reciclável. Os produtos serão projetados para atenderem a um período de vida útil maior, que possibilite sua reutilização (desmontagem, reaproveitamento de suas partes, entre outros) e, quando não houver mais possibilidade de reaproveitamento, serão reciclados evitando-se ao máximo a deposição de resíduos no meio ambiente (JOHN, 2000).

2.4 Impactos ambientais da construção civil

Antes de conceituar impactos ambientais é importante que se defina “meio ambiente”. Segundo Fogliatti; Fillipo; Goudard (2004) “meio ambiente é o conjunto de elementos constituído pelas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, subsolo, ar, flora, fauna e comunidades humanas e os seus inter-relacionamentos”. Os mesmos autores colocam que o meio ambiente é composto

pela união de três subconjuntos: o *Meio Físico* composto pelas águas, o solo e o ar, o *Meio Biótico* composto pela fauna e flora e o *Meio Antrópico* composto pelos seres humanos e seus relacionamentos entre si e com os demais elementos.

Segundo a Resolução n.º1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 1986, impacto ambiental é

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

Um impacto ambiental pode ser positivo ou negativo. Se trazer melhoria de uma condição do ambiente é positivo (exemplo: reduzir a emissão de poluentes em uma indústria), se for maléfico ao meio ambiente é negativo (FOGLIATTI; FILLIPO; GOUDARD, 2004).

Globalmente, os principais impactos ambientais negativos identificados são: (a) aquecimento global; (b) destruição da camada de ozônio; (c) poluição por nutrientes; (d) elevado consumo e limitação de fontes energia; (e) elevado consumo e limitação de matérias-primas não-renováveis; (f) elevada geração de resíduos; (g) poluição do ar; (h) exclusão social (i) redução da biodiversidade; (j) desertificação e aumento da seca; (l) poluição do solo; (m) poluição e escassez de água; (n) desflorestamento; (o) acidificação atmosférica, entre outros (JOHN, 2000; CAMARGO, 2003; PINHEIRO; MONTEIRO, 1992; SILVA, 2003; DEGANI, 2003; LEMAIRE *et.al.*, 2005).

Além da escala global, os impactos ambientais também podem ser regionais ou locais e suas influências podem ser de curto, médio e longo prazo (CHEMLA; LABOUZE, 1997). Por exemplo, a destruição da camada de ozônio é um impacto global com conseqüências de longo prazo; a poluição do ar pode ser um impacto

regional de médio prazo; já os ruídos da construção de um edifício são impactos locais de curto prazo.

O setor da construção civil, particularmente, tem forte influência sobre os impactos ambientais globais, regionais e locais. Na verdade, é o maior causador de impactos ambientais do planeta. Praticamente todas as atividades humanas necessitam de um ambiente construído por mais simples que ele seja. Isso faz com que a sua necessidade de recursos de diversas naturezas seja gigantesca e conseqüentemente sua interação com o meio ambiente seja bastante intensa.

Dentre os principais impactos causados ao meio ambiente pelo setor da construção civil, podemos citar (JOHN, 2000; DEGANI, 2003; CIB, 1999):

- a) consumo de recursos naturais;
- b) geração de resíduos;
- c) consumo de energia;
- d) consumo de água;
- e) poluição ambiental (ar, água e solo);
- f) poluição do ar interior de edifícios.

O presente trabalho pretende tratar dos impactos ambientais causados pela construção civil no âmbito do sub-setor de produção de edificações. No caso de outros sub-setores, os impactos acima podem ocorrer ou não, e podem ser somados a outros tipos de impactos. Além disso, a dimensão destes impactos também pode ser bastante variável. Com certeza os impactos ambientais provocados pela construção de um edifício ocorrem de forma diferente daqueles causados por uma usina hidrelétrica, por exemplo.

2.4.1 Consumo de recursos naturais

Os produtos gerados pelo setor da construção são os de maiores dimensões físicas do planeta (edifícios, estradas, barragens, pontes, entre outros), isto associado ao

fato de ser um dos maiores setores das economias mundiais, faz com que seja o maior consumidor de matérias-primas e conseqüentemente de recursos naturais.

A atividade de construção exerce um impacto direto na biodiversidade ao fragmentar áreas naturais e ecossistemas. O consumo de recursos minerais é bastante elevado, e o maior problema está no fato da maioria não ser renovável (CIB, 1999). Os principais impactos do consumo de recursos naturais são a escassez e extinção das fontes e jazidas, além de alterações na fauna e na flora do entorno destes locais de exploração (DEGANI, 2003). Valverde (2006) coloca que quase toda areia consumida atualmente na Região Metropolitana de São Paulo vem sendo extraída de locais que ficam a mais de 100 km de distância, devido à limitação da capacidade das jazidas mais próximas. Já se tem casos em que a areia está sendo retirada a 250 km de distância.

John (2000) coloca alguns dados extraídos de diversos autores sobre o consumo de recursos naturais: a construção civil extrai de 14% a 50% de todos os recursos naturais consumidos no planeta. No ano de 1995 a construção civil, no Japão, consumiu 50% de todos os materiais que circulam na economia, o que significam 9,4 t/hab./ano de materiais de construção. No Reino Unido, estima-se que o consumo de agregados para construção seja de 250 a 300 milhões de toneladas por ano. Nos Estados Unidos este consumo chega à cerca de 2 bilhões de toneladas por ano. De acordo com Valverde (2006) o consumo de agregado no Brasil em 1999 foi de 344 milhões de toneladas.

Outro fator preocupante desta extensa extração de materiais é o consumo de energia. No Brasil, dois terços do custo dos agregados para construção equivalem a gastos com transporte (VALVERDE, 2006). No Reino Unido, o transporte e produção de materiais consomem 10% da energia (DETR, 1998 *apud* JOHN, 2000).

Segundo John (2000) o consumo de recursos naturais pela construção civil em determinada região, depende de: (a) taxa de resíduos gerados; (b) vida útil ou taxa de reposição das estruturas construídas; (c) necessidades de manutenção, inclusive aquelas que visam corrigir falhas construtivas; (d) perdas incorporadas e; (e) tecnologia empregada.

As perdas no processo de produção dos edifícios têm efeito significativo no consumo de materiais. As perdas correspondem ao consumo que se dá acima do que é realmente necessário para a produção (PALIARI, 1999). As perdas de materiais podem ocorrer em diversas fases de um empreendimento: na fase de projeto, pelo superdimensionamento da estrutura, por exemplo. Na fase de execução, onde ocorre a grande maioria das perdas, devido a retrabalhos, perdas incorporadas, estocagem inapropriada, transporte inadequado, gerando quebras, produção de produtos perecíveis acima da quantidade necessária para um dia de trabalho, entre outros. Na fase de manutenção, pela troca de cor de uma fachada, antes mesmo da durabilidade do material ser superada, entre outros (ANDRADE; SOUZA, 2000).

Embora o consumo de recursos naturais pela construção civil seja um impacto bastante preocupante, diversas ações podem ser tomadas pelos seus diversos agentes para minimizá-lo (CIB, 1999; DEGANI, 2003; CARDOSO; RESENDE, 2005):

- especificar materiais com maior vida útil e projetar visando a aumento da durabilidade das edificações;
- especificar tecnologias que possam ser reutilizadas ou ainda desmontadas para novos reaproveitamentos;
- Utilizar-se da modulação para favorecer o reaproveitamento;
- especificar materiais que tenham menores consumos de energia ao longo de todo seu ciclo de vida (da extração à deposição final);
- utilizar materiais provenientes de fontes renováveis;
- utilizar materiais recicláveis;
- controlar o desperdício na fase de produção;
- evitar materiais cujas reservas estejam limitadas;
- dar preferência ao uso de materiais locais para reduzir o consumo de energia;
- entre outros.

2.4.2 Geração de resíduos

A construção civil é uma grande fonte geradora de resíduos, seja na fase de produção dos materiais, como na execução, manutenção e demolição. Se seu

consumo de recursos naturais anualmente é bastante elevado, a somatória do ambiente construído ao longo do tempo gera um potencial de geração de resíduos extremamente elevado, ainda mais se considerando um período de vida útil médio de 50 anos para as edificações.

Segundo Pinto (2004) os resíduos de construção equivalem a 60% ou mais da massa total de resíduos sólidos urbanos. Loturco (2004) cita que na cidade de São Paulo são geradas, diariamente, 17 mil toneladas de resíduos provenientes da construção, sendo que o lixo domiciliar equivale a 8 mil toneladas diárias. Pinto (1999) estima que nas cidades brasileiras 50% dos resíduos de construção sejam gerados por novas construções e 50% são provenientes de reformas e demolições. John (2000) coloca dados de diversos autores sobre a produção anual de resíduos de construção em diversos países: Reino Unido entre 50 e 70 milhões t/ano; Alemanha entre 79 e 300 milhões de t/ano; Japão 99 milhões t/ano. Por habitante tem-se as seguintes taxas: Brasil 230-660 kg/hab; EUA 463-584 kg/hab; Reino Unido 880-1120 Kg/hab; Japão 785 kg/hab; Alemanha 963-3658 Kg/hab. Nota-se que em alguns países Europeus como Reino Unido e Alemanha as taxas por habitante são mais elevadas, embora sejam países que utilizam-se de tecnologias construtivas industrializadas, com menores índices de perdas. Isto se deve ao fato que a maior parte dos resíduos são provenientes de reformas e demolições, pois são países cujo ambiente construído é bastante desenvolvido. Dados de BOSSINC *apud* JOHN, 2000 revelam que dois terços dos resíduos gerados na Alemanha e Europa Oriental são provenientes de reformas e demolições.

Um impacto importante gerado pela produção de resíduos sólidos é a sua deposição irregular. Brito Filho (1999) estima que até 40% do volume de resíduos sólidos gerados na cidade de São Paulo sejam depositados em terrenos baldios, fundos de vales, áreas ermas e bota-foras irregulares. Estudo da UNEP (2001) aponta que na América Latina, muitas regiões não dispõem de áreas apropriadas para o lançamento de resíduos sólidos, sendo estes feitos em áreas impróprias e cursos d'água. Pinto (1999) coloca que o lançamento dos resíduos sólidos em áreas inadequadas gera comprometimento da paisagem e do ambiente local, causa danos ao trânsito e à circulação de pedestres, causa interferência na drenagem, podendo

levar a enchentes, cria ambiente propício à proliferação de vetores prejudiciais às condições de saneamento e saúde humana, entre outros.

Outro problema colocado por Degani (2003) é a queima de combustíveis fósseis (não renováveis) decorrentes do transporte dos resíduos sólidos. Com a limitação cada vez mais crescente de áreas para deposição de resíduos, cada vez mais aumentam as distâncias de transporte.

Schenini; Bagnati; Cardoso (2004) apontam que nos resíduos de construção há a presença de materiais perigosos como tintas e solventes, restos de gesso, lâmpadas fluorescentes, que deveriam receber tratamento antes da sua destinação final, o que muitas vezes não ocorre, causando danos ao meio ambiente.

Muitas ações podem ser tomadas para a redução e controle dos resíduos sólidos. Uma melhor gestão da produção evitando a geração de perdas, maximizar a reutilização dos resíduos (como bases para piso, por exemplo), usar materiais recicláveis, fornecer os resíduos a empresas que os utilizem em seu processo de produção (madeira para queima de materiais cerâmicos em fornos controlados, por exemplo).

2.4.3 Consumo de energia

A construção civil consome grandes quantidades de energia em todas as etapas do ciclo de vida de seus produtos. Particularmente no caso dos edifícios, o maior consumo concentra-se no período de utilização. Este consumo no período de utilização varia de país para país, mas em média é de 50% da energia total consumida pelos países (CIB, 1999). Segundo balanço do Ministério de Minas e Energia, no Brasil o consumo de energia elétrica dos edifícios residenciais, comerciais e públicos, equivale a 47% de toda a energia elétrica consumida. No caso de edifícios residenciais, a maior parcela do consumo está relacionada ao aquecimento de água (chuveiros elétricos) e nos edifícios comerciais e públicos à

iluminação e dos sistemas de ar condicionado (DEGANI, 2003). Na União Européia o consumo dos edifícios é de 40% da energia produzida (CIB, 1999).

Em países europeus ou nos Estados Unidos, o consumo de energia é também um grande causador de poluição por CO₂ e SO₂, visto que boa parte da energia elétrica é gerada em termoelétricas. No Brasil, em que a grande maioria da energia elétrica é gerada por hidrelétricas, os impactos estão relacionados a alterações na fauna e flora, impacto social (desapropriações, por exemplo), entre outros aspectos, que ocorrem principalmente na fase de construção.

John (2000) coloca que o consumo de energia na fase de produção dos materiais de construção é significativo, quando se leva em conta o volume que é produzido. Além disso, dependendo das distâncias de transporte e dos meios de transporte utilizados esse consumo pode ser relevante, também.

Portanto, o consumo de energia tem impactos relacionados à própria limitação das fontes de energia, principalmente no caso de fontes não renováveis como o petróleo e o gás, mas também a diversos impactos indiretos relacionados à sua produção.

Cada vez mais a preocupação com a redução do consumo de energia cresce, seja pela consciência que não são fontes infinitas, seja pela economia financeira.

Diversas ações podem ser tomadas no sentido de reduzir o consumo de energia nos edifícios, como por exemplo: programas de educação, em níveis locais, regionais e nacionais, melhora dos sistemas de ar condicionado, uso de materiais isolantes, renovação de chuveiros elétricos e geladeiras, uso de energia solar para aquecimento de água, gerenciamento de energia em prédios públicos e comerciais, entre outros fatores (LAMBERTS; WESPHAL, 2000).

2.4.4 Consumo de água

A distribuição não homogênea do crescimento populacional e do desenvolvimento das atividades humanas, agravada pela distribuição irregular das fontes de água,

contribuem para pressões sobre os mananciais disponíveis e de fácil acesso, que segundo a UNESCO representam 0,3% do volume total de água do planeta. (DEGANI, 2003). Portanto a escassez de água e a própria deterioração das fontes disponíveis é um fator cada vez mais preocupante.

Segundo o SINDUSCON⁴ de São Paulo na região metropolitana de São Paulo e municípios vizinhos há uma busca incessante de recursos hídricos de bacias vizinhas, pois a vazão da bacia do alto do Tietê mostra-se insuficiente para as condições de consumo atual.

Como o consumo de água está muito ligado ao ambiente construído (sem deixar de lado a pecuária e a agricultura que são grandes consumidores), os edifícios têm papel fundamental na economia e prevenção da deterioração.

A utilização de ferramentas de gestão e a utilização de tecnologias economizadoras podem colaborar muito na redução do consumo de água nas edificações. Artifícios como sistemas de medição de água, dispositivos de coleta e reaproveitamento de águas pluviais, uso de torneiras com arejadores, gerenciamento de perdas, uso de tecnologias sem água, como vasos sanitários à vácuo, tratamento de esgotos para reaproveitamento, treinamento dos usuários, entre outros colaboram muito na redução do consumo.

2.4.5 Poluição ambiental

Ao longo do ciclo de vida dos produtos gerados pela construção civil, diversas formas de poluição ambiental são geradas.

Particularmente no caso de edifícios, pode-se observar algumas formas de poluição:

(a) poluição atmosférica – proveniente principalmente da emissão de

⁴ Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo que publicou em 2005 em conjunto com outras organizações um manual intitulado “Conservação e reuso da água em edificações”.

material particulado nas fases de construção e demolição; da emissão de CO₂ e CFC que pode ocorrer em incêndios, na utilização de equipamentos, a partir de utensílios domésticos, entre outros, nas fases de construção, manutenção e demolição; (b) poluição sonora gerada nas fases de construção, manutenção e demolição, proveniente principalmente da utilização de equipamentos, veículos e ferramentas diversas (ANDRADE, 2004); (c) poluição da água e do solo - gerados pela emissão de material particulado, resíduos sólidos e líquidos diversos em todas as fases da vida do edifício (lavagem de pneus de caminhões, armazenamento inadequado de materiais, terraplenagem, processo erosivo e assoreamento, emprego de materiais lixiviáveis, resíduos de construção, carregamento de poeiras por chuvas, demolição e utilização, entre outros) e; (d) vibração - é um tipo de poluição que também ocorre com frequência nas fases de construção e demolição (cravação de estacas, queda de objetos, movimentação de equipamentos, entre outros), mas que pode ocorrer também na fase de utilização (NETREGS, 2006)⁵.

John (2000) coloca que a produção de materiais talvez seja uma das maiores fontes de poluição. O autor cita a emissão de grande quantidade de material particulado na extração de agregados ou na moagem de matérias primas na produção de cal e cimento. Outro fato levantado é a emissão de CO₂ que é gerada no processo de calcinação ou dolomito, durante a fabricação da cal e do cimento - em torno de 785 Kg de CO₂ por tonelada de material produzido no caso da cal e 560 Kg/t no caso do cimento - além da emissão de CO₂ nos processos de queima, que no caso do cimento é de cerca de 850kg/t.

As atividades do canteiro de obras, atualmente, são grandes fontes geradoras de poluição e merecem atenção especial, dos agentes envolvidos.

O quadro 2-1 apresenta estudo de Araújo; Cardoso (2006), onde são relacionados os principais aspectos ambientais do canteiro de obras de edificações aos incômodos e poluição gerados em diferentes fases e atividades da obra.

⁵Obtido no site <www.netregs.gov.uk> em 22/05/2006

Quadro 2-1 - Aspectos ambientais relacionados a incômodos e poluição em função das diferentes fases de uma obra e de suas principais atividades – subsetor edificações.

Fonte: ARAÚJO; CARDOSO (2006)

		INCÔMODOS E POLUIÇÃO								
		ASPECTOS AMBIENTAIS								
FASE DA OBRA	ATIVIDADES	Geração de resíduos perigosos	Geração de resíduos sólidos	Emissão de vibração	Emissão de ruídos	Lançamento de fragmentos	Emissão de material particulado	Risco de geração faíscas onde há gases dispersos	Desprendimento de gases, fibras e outros	Manejo de materiais perigosos
Serviços Preliminares	Demolição	♦	♦	♦	♦	♦	♦	X	♦	X
	Limpeza superficial do terreno		♦		♦	X	♦			
Infra-estrutura	Fundações		♦	♦	♦		♦			♦
	Rebaixamento do lençol		X	X	X	X	X			
	Escavações e contenções		♦	♦	♦		♦			
Estrutura	Estrutura	X	♦		♦	♦	♦			X
Vedações Verticais	Alvenarias		♦		X	♦	X			
	Divisórias	♦	X		X		X			
	Esquadrias		X		X					
Cobertura e proteção	Telhado		♦		X	X			♦	
	Impermeabilização	♦	X		X				♦	X
Revestimentos verticais	Revestimento vertical		♦	X	♦	♦	♦			
Pintura	Pintura	♦					♦		♦	♦
Pisos	Piso	♦	♦		X	X	♦		X	♦
Sistemas Prediais	Sistemas Prediais		♦	X	X	X	X	X	♦	
Redes e vias	Redes enterradas e aéreas	X	♦	♦	♦	X	♦	♦	X	
	Terraplenagem	♦	♦	♦	♦	X	♦	X	X	
	Pavimentação	♦	♦	♦	♦	X	♦		♦	♦
	Drenagem superficial		♦	X	♦	X	X			

♦ - Aspecto ambiental normalmente mais relevante

A diminuição dos diversos tipos de poluição está muito ligada às atividades de controle, substituição de tecnologias, criação de barreiras físicas, educação, entre outros fatores.

Nota-se que a emissão de material particulado está presente em muitas das atividades do canteiro de obras e é apresentada como um aspecto relevante em muitos dos casos.

2.4.6 Poluição do ar interior de edifícios

Além da poluição exterior, a construção civil também é responsável pela geração de poluição do ar interior nos edifícios. Essa poluição ocorre na fase de uso dos edifícios. Segundo o CIB (1999) o ar interior, via de regra, é mais poluído que o ar exterior. São diversas as origens da poluição do ar interior – poluentes produzidos pelo sistema de condicionamento de ar, óleos, gases, querosene, diversos materiais de construção (tintas à base de chumbo, isolantes feitos a partir de amianto, colas, entre outros), produtos para limpeza, produtos de higiene pessoal, poeiras, inseticidas, poluição do ar externo, carpetes úmidos ou mofados, pelo uso e operação de equipamentos, entre outros (US EPA, 2006)⁶.

Os poluentes do ar interior do edifício são: (a) compostos orgânicos voláteis (formaldeídos, solventes orgânicos, provenientes de colas, plásticos, tintas e outros revestimentos orgânicos); (b) microorganismos patogênicos (mofo, por exemplo); (c) poeiras; (d) partículas e fibras (carpetes, amianto, isolantes à base de fibras); e (e) radônio (US EPA, 2006)⁶.

Segundo o CIB (1999) a qualidade do ar interior caiu muito nos últimos anos. Nos Estados Unidos estima-se que 50% dos edifícios existentes apresentem sérios

⁶Obtido no site < www.epa.gov > em 22/05/2006

problemas de ar interior. A US EPA estima que o ar interior seja 10 vezes mais poluído que o ar exterior neste país.

A qualidade do ar interior está bastante relacionada à qualidade de saúde das pessoas. Acredita-se que a grande maioria das doenças alérgicas tenha origem na má qualidade do ar interior. Além disso, é a grande suspeita de infecções nas vias respiratórias (principalmente de crianças) e do câncer de pulmão. Nos países frios, a situação é agravada, já que cerca de 90% do tempo as pessoas se concentram em ambientes internos (CIB, 1999), além disso, as condições de ventilação e dissipação de umidade são menos favoráveis que regiões de clima mais ameno, como o Brasil.

Segundo o CIB (1999) alguns fatores influenciam condições do ar interior: (a) poeiras e partículas geradas durante a construção/manutenção; (b) ventilação inadequada e ambiente úmido; (c) a qualidade e o projeto do sistema de distribuição de ar; (d) procedimentos de conservação; (e) escolha do material para o interior do edifício e mobiliário e (f) emissões dos equipamentos de escritório, como copiadoras e impressoras a laser.

2.4.7 Outros impactos

Há outros impactos não mencionados, que em determinadas situações atingem graus de importância significativos. Como exemplos, podem ser citados os danos à fauna e à flora, decorrentes da extração de recursos naturais ou mesmo de grandes obras, início ou aceleração de processos erosivos ou de assoreamento, modificação das condições de drenagem natural, danos às estruturas de edificações vizinhas, alteração da paisagem local, poluição visual, desertificação, alterações no ecossistema, entre outros (SILVA, 2003; FOGLIATTI; FILIPPO; GOUDARD, 2004; ARAÚJO; CARDOSO, 2006).

2.5 Aspectos sociais da construção civil

As atividades da construção civil têm forte relação com os aspectos sociais. A construção é responsável por prover meios para atendimentos das necessidades humanas básicas (abrigo, saúde, educação, interação e maximização do capital social) (THE WORLD BANK *apud* SILVA, 2003). Além disso, é a indústria com maior geração de empregos do planeta – 111 milhões de pessoas empregadas no mundo todo – sendo que 74% desses empregos estão nas regiões em desenvolvimento, que são responsáveis por 23% dos produtos gerados pela construção global, o que significa que nestas regiões há um grande adensamento de mão-de-obra empregada, elevando seu papel social (CIB; UNEP-IETC, 2002).

Ao mesmo tempo em que a construção civil tem forte influência positiva no desenvolvimento social humano ela é, atualmente, também, uma grande causadora de impactos sociais negativos.

A construção civil apresenta um dos maiores índices de acidentes do trabalho. No Brasil, segundo dados do Ministério do Trabalho⁷, entre os empregados da construção civil com registro, no ano de 2003, foram registrados 23.000 acidentes. É um dos setores que tem maior incidência de acidentes por quantidade de funcionários empregados no Brasil e em vários outros países. Vale lembrar, que esses dados não levam em conta os funcionários informais, que, como se sabe, são muitos neste setor, o que é um outro agravante social, principalmente nos países em desenvolvimento.

A presença de mulheres no nível dos operários é também bastante limitada. A discriminação com o sexo feminino é bastante acentuada. A igualdade de sexos entre os operários está longe de acontecer (CIB; UNEP-IETC, 2002). Por ser um mercado flutuante, com baixas margens de lucro e alta rotatividade de mão-de-obra informal, o nível de aprendizado e consolidação de conhecimentos profissionais em níveis nacionais é baixo (CIB; UNEP-IETC, 2002).

⁷Dados obtidos no site do Ministério do Trabalho: <<http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/estatisticas/acidentes/estatistica/2003/UF12grupos.pdf>>

Segundo estudo da *International Labour Organisation* (ILO) a construção civil não é vista pelos operários como uma profissão de escolha, mas sim de necessidade. A mesma pesquisa relata que poucos são os que gostariam que seus filhos seguissem em sua profissão.

Os índices de analfabetismo nos canteiros são elevados, muitos daqueles que estudaram só cursaram até o primário. A falta de qualificação dos funcionários é bastante significativa. Essa característica tem forte influência na produtividade.

Moretti (2005) coloca que os operários em geral têm fragilidades e demandas que são bastante comuns nos canteiros de obras e como exemplo cita as condições de conforto, hospedagem e alimentação, segurança do trabalho e de treinamentos.

Outros aspectos poderiam ser citados, como a interferência no tráfego gerada, principalmente nas grandes cidades, os danos sociais causados pela deposição irregular de resíduos, como proliferação de ratos e insetos ou geração de enchentes, entre outros.

Devido ao grande potencial de ação social que a construção civil possui, seu papel passa a ser muito importante. Ela pode contribuir para diversas melhorias na qualidade de vida da sociedade, como (INSTITUTO ETHOS, 2005; SILVA, 2003; CIB, 1999):

- promover igualdade social (raça, gênero, idade, religião e orientação sexual);
- permitir integridade social e cultural;
- contribuir no alívio da pobreza;
- criar um ambiente de trabalho saudável e seguro;
- gerar empregos decentes, com remuneração justa e com melhoria das relações trabalhistas;
- promover a alfabetização e investir na capacitação técnica;
- fortalecer e integrar-se com comunidades locais,
- aumentar o acesso à água tratada e reduzir a demanda;
- aumentar o acesso à infra-estrutura de esgoto;
- prover infra-estrutura de drenagem e reduzir áreas impermeáveis;
- prover coleta e destinação apropriada de resíduos sólidos;

- prover melhoria nos sistemas de transportes;
- reduzir o *déficit* de habitações;
- melhorar a qualidade de vida nos assentamentos formais e informais;
- reduzir emissão de poluentes no meio ambiente, causando menos doenças;
- entre outros.

A responsabilidade social da construção civil é tão significativa quanto a responsabilidade ambiental, principalmente nos países em desenvolvimento, onde as condições sociais são bastante afetadas. Esta responsabilidade não é de um só, envolve todos os agentes presentes nos empreendimentos que ela promove, sejam fabricantes, incorporadores, projetistas, construtores, usuários, entre outros.

2.6 Aspectos econômicos da construção civil

Como já visto, a importância econômica da construção civil nas nações é indiscutível. Mundialmente, a construção e todas as atividades secundárias a elas relacionadas formam um mercado bastante expressivo.

Justamente pelo seu tamanho e importância, dentro dos princípios de construção sustentável, a parcela econômica adquire funções importantes. Segundo Silva (2003) a sustentabilidade econômica visa “aumentar a lucratividade e o crescimento através do uso mais eficiente de recursos, incluindo mão-de-obra, materiais, água e energia”. A mesma autora coloca que em países em desenvolvimento em que os recursos financeiros são escassos e há demanda por um volume excepcional de construções para combater a pobreza e garantir níveis mínimos aceitáveis de qualidade de vida a grandes proporções da população, a viabilidade econômica assume importância vital.

De nada adianta um empreendimento ser ambientalmente benéfico, a custos extremamente altos. Um empreendimento deve ser ambientalmente e socialmente benéfico, com viabilidade econômica em longo prazo (analisando todo o ciclo de

vida do edifício, da sua concepção à demolição e destinação dos resíduos, passando pela construção e utilização).

O CIB (1999) coloca algumas posturas a serem adotadas pelos agentes da construção, no que se refere à parcela econômica: aliviar a pobreza; distribuir de maneira socialmente equilibrada os custos e benefícios das atividades de construção; gerar benefícios financeiros e melhorias para as comunidades locais; fortalecer a utilização do custo real; não empobrecer um grupo para enriquecer outro; entre outros.

De maneira geral, a utilização de princípios sustentáveis leva a um menor consumo de recursos em todo período de vida do edifício, gerando importante vantagem econômica, que pode ser utilizada em benefícios da comunidade.

2.7 O ciclo de vida do edifício e o papel dos seus agentes

O conceito de sustentabilidade está intrinsecamente ligado a todos os impactos sociais, ambientais e econômicos que são causados ao longo de toda a vida de um determinado produto. Um produto só pode ser considerado mais ou menos sustentável ao se analisar todas as etapas do seu ciclo vida, desde a extração de matérias primas até a disposição final dos resíduos gerados ao fim de sua vida, para que aí então se determine de forma integral todos os impactos que esse produto causa.

O produto foco deste trabalho são os edifícios, cujo ciclo de vida é determinado pelas seguintes etapas: extração e manufatura de matérias-primas; concepção, planejamento e projeto; construção; utilização e manutenção, demolição e destinação dos resíduos. (SILVA, 2003; KROGH; HANSEN, 1997). A figura 2-1 ilustra o ciclo de vida do edifício.

Figura 2-1 – Ciclo de vida do edifício
Fonte: SILVA (2003)

Em cada uma destas etapas participam diversos agentes, que têm responsabilidades particulares ou interligadas em relação à garantia da sustentabilidade.

Como a avaliação dos impactos gerados pelo edifício envolve toda a vida do edifício, as responsabilidades destes agentes passam a integrar um intervalo de tempo muito maior. Por exemplo, a responsabilidade do projetista, ao especificar um material, não envolve somente a fase de construção e uso, mas deve considerar a extração de matérias primas e a fabricação, além da desconstrução ou demolição, reciclagem e destinação final dos resíduos. Além disso, a sustentabilidade é multidisciplinar, o que faz com que as atuais estruturas e nível de conhecimento dos agentes podem se tornar muito mais complexas do que são comumente vistas atualmente. Segundo o CIB (1999), são tratados não só aspectos técnicos, mas também aspectos sociais, ambientais, legais, econômicos e políticos. É um tema complexo e bastante amplo e difícil de se aplicar devido à quantidade elevada de agentes envolvidos, desde a fase de desenvolvimento até a fase de desconstrução ou demolição. Além dos atuais profissionais, podem começar a aparecer outras especialidades envolvidas, como por exemplo, biólogos, físicos, entre outros.

O quadro 2-2 coloca os principais agentes encontrados no ciclo de vida do edifício e exemplos de suas responsabilidades para o alcance da construção de um edifício

mais sustentável. Os dados foram baseados em CIB (1999) e CARDOSO; RESENDE (2005).

Quadro 2-2 – Exemplos de responsabilidades dos principais agentes no ciclo de vida do edifício para alcance de um edifício mais sustentável

Adaptado de: CIB (1999) e CARDOSO; RESENDE (2005)

Agente	Responsabilidades
Indústria e Fornecedores	(a) Reduzir impactos ambientais de produtos; (b) Responsabilidade social; (c) Reciclagem; (d) Avaliação do ciclo de vida; (e) Desenvolver novos produtos e tecnologias sob premissas sustentáveis.
Proprietários e empreendedores	(a) Demandas sustentáveis; (b) Avaliar produtividade do próprio empreendimento com ênfase a aspectos sustentáveis.
Projetistas	(a) Enfoque integrado do projeto. Considerar o ciclo de vida; (b) Reduzir consumo de energia e água e fontes não-renováveis; (c) Aumentar o consumo de material reciclável, reutilizável, desmontável; (d) Aumentar a durabilidade; (e) Reduzir impactos sobre a comunidade; (f) Fortalecer o desempenho e construtibilidade; (g) Gerar manuais de operação e uso.
Construtoras e empreiteiros	(a) Consciência sustentável como fator de competitividade; (b) Responsabilidade social; (c) Melhorar gerenciamento do processo construtivo para qualidade total e atendimento das premissas de projeto e de sustentabilidade; (d) Aumentar a produtividade no uso de materiais e serviços; (e) Diminuir impactos à vizinhança; (f) Facilitar a reciclagem e reaproveitamento; (g) Racionalizar a produção; (h) Selecionar parceiros com base na sustentabilidade.
Empresas de Manutenção	(a) Consciência sustentável como fator de competitividade; (b) Conservar edificações; (c) Reduzir poluição.
Usuários	(a) Consciência sustentável como fator de conforto; (b) Redução do consumo de energia e água; (c) Redução do consumo de não-renováveis; (d) Exigir ambientes construídos sustentáveis; (e) Redução de poluição.
Agentes de influência pública (governo, autoridades e representações setoriais, instituições de ensino, etc).	(a) Normas e certificações; (b) Pesquisas e Desenvolvimento tecnológico; (c) Conscientização pública e educação; (d) Definir políticas de sustentabilidade nacionais e agendas locais e setoriais (e) Reduzir consumo de energia e água; (f) Melhorar qualidade da água e da coleta de esgotos; (g) Aumentar a urbanização; (h) Melhorar o planejamento e uso do solo; (i) Prover habitação; (j) Prover sistemas de transporte mais eficientes; (l) Controle de resíduos; (m) Incentivar reciclagem e uso de fontes renováveis; (n) Fiscalização e controle (o) Favorecer o transporte público; (p) Aumentar conhecimento profissional.

O trabalho dos agentes deve se realizar de forma integrada e com objetivos comuns. De nada vale os projetistas selecionarem materiais mais sustentáveis, aplicarem racionalização, entre outros, se a construtora não gerenciar seus processos de produção, não contratar com base na sustentabilidade, não treinar as equipes para a sustentabilidade, não controlar as perdas, entre outros.

Os fabricantes desempenham um papel fundamental, já que são os geradores de recursos materiais para que os edifícios se desenvolvam. Seus produtos devem ser de baixo impacto, desenvolvidos com base na análise do ciclo de vida. A preocupação com o desenvolvimento de novos produtos, mais eficientes do ponto de vista da sustentabilidade, é fundamental. Aqui entende-se que os fabricantes englobam todos os agentes que participam da fabricação e distribuição, desde a extração das matérias primas até o fornecimento para a obra.

As atividades de concepção, planejamento e projeto têm grande importância para o alcance da sustentabilidade, visto que é nesta etapa que são avaliadas premissas, alternativas diversas (materiais, fontes de energia, tecnologias, fornecedores, etc.), riscos, custos, prazos, processos, entre outros. Nestas etapas o produto é criado e são determinadas diversas diretrizes as quais serão seguidas por construtores, empresas de manutenção, usuários, demolidoras, entre outros. Se as demandas dos empreendedores tiverem objetivos claros de sustentabilidade e os projetistas e planejadores experiência suficiente para desenvolver um edifício sustentável já se tem uma boa base formada.

À construtora, empresa de manutenção, empreiteiras e demolidoras, cabe o comprometimento com a sustentabilidade. Tais agentes devem ter seus processos de produção bem desenvolvidos e controlados, direcionados para a produção, conservação e demolição sustentável.

Os usuários devem entender sua responsabilidade no processo. Devem ser orientados de forma adequada pelos responsáveis pelo empreendimento. Os usuários têm forte influência no consumo de recursos e geração de poluição, por isso são agentes muito importantes.

Os agentes públicos são grandes direcionadores de tendências e objetivos a serem seguidos. As instituições de ensino e pesquisa podem colaborar muito com o desenvolvimento de tecnologias e processos mais sustentáveis, em todos os níveis. Além disso, são muito importantes na divulgação do conhecimento acerca da sustentabilidade a todos os profissionais do mercado. O governo pode criar normas, certificações, políticas de conscientização pública, atuar como fiscalizador, promover o bem social. Pode ser um grande direcionador das agendas nacionais e locais. Os

órgãos setoriais podem ser grandes instrumentos de transmissão dos objetivos criados e de fomento ao seu desenvolvimento.

Para este trabalho, maior enfoque será dado ao papel da construtora, que tem atuação direta no canteiro de obras, mas entende-se que o alcance de uma construção mais sustentável depende do esforço integrado dos diversos agentes envolvidos.

2.8 Considerações sobre o capítulo

O papel da construção civil na criação de uma sociedade sustentável é bastante relevante. Porém, suas dimensões e complexidade fazem desta tarefa um grande desafio.

O desenvolvimento sustentável não se cria imediatamente. É necessário tempo, maturidade; é necessário entender o que cada um acredita ser desenvolvimento sustentável, e criar algo em prol do todo. Não é tarefa fácil.

A construção civil brasileira é afetada por um grande conflito de interesses. São muitos agentes que caminham, muitas vezes em sentidos opostos. A construção sustentável depende do governo, das instituições, das incorporadoras, dos fabricantes, dos construtores, dos usuários, enfim, depende de todos os envolvidos.

Mesmo se cada agente se habilitar a desenvolver o seu papel, o desafio continua a ser grande.

Este trabalho foca o canteiro de obras, foca o papel da empresa construtora e de todos aqueles que possam se relacionar com a atividade de produção de um edifício.

O papel da construtora é amplo. Construir sustentavelmente pode economizar recursos, pode ajudar nas vendas e na imagem da empresa, pode criar funcionários mais motivados, vizinhos menos incomodados. Pode preservar o meio ambiente.

Pode gerar riquezas e equilíbrio social. Porém, necessita de uma reestruturação da empresa, principalmente uma reestruturação de seus conceitos, exige uma grande mudança na cultura da empresa, em primeiro lugar.

Por que uma empresa construtora deve se preocupar, por exemplo, em gerar menos resíduos, menos poluição atmosférica, menos ruídos, menos incômodos aos seus vizinhos, sendo que construir o edifício já é uma grande preocupação?

Como se viu anteriormente, o canteiro de obras é capaz de gerar grande poluição e grandes consumos. Um único canteiro de um simples edifício já consome grande quantidade de recursos, já gera grande quantidade de ruídos, vibrações, resíduos sólidos, material particulado, entre outros. Numa cidade como São Paulo, onde existe um grande número de edificações sendo construídas, reformadas ou demolidas, a importância de cada um gerenciar sustentavelmente a sua obra se torna algo bastante relevante para o todo.

Este trabalho se concentra em um único tipo de poluição, causado por um único tipo de poluente: a poluição atmosférica por material particulado. Em princípio parece algo pequeno. O fato é que a atividade de construção é grande e os impactos são muitos. Em alguns casos um impacto se sobrepõe ao outro, tudo depende do meio que está sendo afetado.

O material particulado pode ser grande causador de incômodos e danos à saúde de vizinhos e trabalhadores. Pode causar danos a propriedades, à flora e à fauna. Pode poluir a água e os solos. Apesar de relevante, é apenas um dos diversos poluentes emitidos pelo canteiro de obras.

Construir sustentavelmente não é tarefa fácil, mas se as ações em busca deste objetivo não começarem a ser implantadas, cada vez mais as gerações atuais e futuras serão colocadas em risco.

3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica inclui todo tipo de atividade, fenômeno e substância que contribua para a deterioração da qualidade natural da atmosfera, causando males aos seres humanos e ao meio ambiente (ALMEIDA, 1999; US EPA, 2006).

Os poluentes podem ser líquidos, gasosos ou sólidos e serem provenientes de fontes naturais ou da atividade humana.

A atividade humana é a principal fonte geradora. O crescimento populacional, industrial e econômico; a concentração populacional e industrial; hábitos da população e o grau de controle exercido nas atividades, contribuem para isso (ASSUNÇÃO, 1998).

A poluição atmosférica é responsável por uma série de doenças, causa danos à flora, à fauna, às águas, aos solos e ao próprio ar, reduz a visibilidade e causa danos a diversos materiais. Contribui para a formação de chuvas ácidas, para o aquecimento global, para a formação de ilhas de calor, para a destruição da camada de ozônio, entre outros (US EPA, 2006).

O estudo da poluição atmosférica é algo bastante amplo e complexo. Este capítulo pretende colocar apenas informações básicas acerca do assunto. Será caracterizada a atmosfera, identificados os principais poluentes, suas fontes de geração, seus efeitos sobre o meio ambiente e as principais legislações reguladoras nacionais e internacionais.

3.1 A Atmosfera

Atmosfera é a denominação dada à camada invisível de gases que envolvem a Terra, sendo constituída principalmente por nitrogênio e oxigênio. Ela é composta

por cinco camadas concêntricas, respectivamente denominadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (ALMEIDA, 1999).

A troposfera é a camada mais próxima da superfície da Terra. Ela se estende desde o solo até uma altitude aproximada de 10 km. Nesta camada, a temperatura decresce 6,5° Celsius a cada quilômetro. Esse fato é importante para a dispersão dos poluentes na atmosfera. Entretanto, processos naturais podem alterar esse gradiente térmico negativo, reduzindo-o ou aumentando-o, chegando até mesmo a invertê-lo, em geral por poucas horas, ocasionando um fenômeno prejudicial à dispersão dos poluentes, denominado inversão térmica. Devido ao intenso movimento de energia térmica e das significativas diferenças de temperatura, a troposfera é a camada mais instável da atmosfera. É nela que ocorrem as “condições meteorológicas”, sendo esta a principal característica que a distingue das demais (ALMEIDA, 1999).

Na estratosfera, os ventos são mais constantes e as temperaturas mais uniformes. Ele se estende de uma altitude aproximada de 10 km até 45 km acima da superfície da Terra. Na estratosfera está localizada a camada de ozônio, a qual atua como um “escudo” protetor da radiação ultravioleta que vem do sol.

A mesosfera se estende de uma altitude aproximada 45 km até 80 km acima da superfície da Terra. Nesta camada há decréscimo de temperatura conforme a altitude.

A quarta camada, a termosfera, se estende de uma altitude de 80 km até 500 a 1000 km da superfície da Terra, não tendo seu limite superior bem definido. Caracteriza-se pelo aumento de temperatura em relação à altitude.

A última camada, representada pela exosfera se estende do final da termosfera até o espaço sideral.

A troposfera sempre foi considerada a camada mais relevante quanto aos estudos da poluição atmosférica, mas, nos últimos anos, a estratosfera ganhou importância devido aos danos que vêm sendo causados à camada de ozônio (ASSUNÇÃO, 1998).

Além de gases como o nitrogênio (78,10%) e do oxigênio (20,94%), a atmosfera é composta também por argônio (0,93%) e dióxido de carbono (0,03%), além de outros gases em pequenas concentrações como ozônio, néon, hélio, metano, hidrogênio, xenônio, entre outros. Há outras substâncias naturais e artificiais como vapor de água que chega até 4% em regiões úmidas e os clorofluocarbonos (CFC). Os aerossóis, partículas sólidas e líquidas em suspensão de composição química e concentração variáveis, inclusive matéria viva, como pólen e microorganismos, também estão presentes na atmosfera.

3.2 Classificação dos poluentes atmosféricos

A resolução n° 3 de 28/06/1990 do CONAMA considera como poluente atmosférico

qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que torne ou possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danosos aos materiais, à fauna, e à flora, ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A US EPA (2006) considera como poluente atmosférico qualquer substância presente no ar que possa causar danos aos seres humanos e ao meio ambiente.

Assunção (1998) define poluente atmosférico como qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, possa torná-la poluída.

O mesmo autor propõe classificações para os poluentes em função seu do estado físico, sua origem e classe química.

Quanto ao estado físico os poluentes são classificados em dois grupos: material particulado e gases e vapores.

Quanto a sua origem os poluentes são classificados em: primários e secundários.

Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente na atmosfera. São exemplos os particulados, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos entre outros. Já os poluentes secundários são aqueles produzidos a partir de reações químicas entre poluentes primários e/ou constituintes naturais da atmosfera (CETESB, 2005). São exemplos os óxidos de nitrogênio ou o trióxido de enxofre, formados na atmosfera a partir de emissões de indústrias.

Quanto a sua classe química os poluentes são classificados em poluentes orgânicos e poluentes inorgânicos.

O quadro 3-1 apresenta exemplos de poluentes agrupados conforme sua classificação:

Quadro 3-1 – Classificação de poluentes atmosféricos

Fonte: ASSUNÇÃO (1998).

Classificação	Exemplos
MATERIAL PARTICULADO	Poeiras, fumaças, fumos, névoas.
GASES E VAPORES	CO, CO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO _x , HC, NH ₃ , CL, H ₂ S.
POLUENTES PRIMÁRIOS	CO, SO ₂ , CH ₄ , NH ₃ , CL, H ₂ S.
POLUENTES SECUNDÁRIOS	O ₃ , aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos.
POLUENTES ORGÂNICOS	HC, aldeídos, ácidos, orgânicos, nitratos orgânicos, partículas orgânicas.
POLUENTES INORGÂNICOS	CO, CO ₂ , SO ₂ , NO _x , poeira mineral, névoas ácidas e alcalinas.

Almeida (1999) coloca que, embora os poluentes possam se apresentar no estado sólido, líquido ou gasoso, na prática, ele são divididos em: gases e particulados. Podendo os particulados incluir substâncias sólidas e líquidas e os gases, substâncias gasosas e líquidas (vapores).

3.3 Fontes de poluição atmosférica

Os poluentes atmosféricos podem ser originados de processos naturais ou antropogênicos.

São exemplos de fontes naturais os gases emitidos por erupções vulcânicas, decomposição de animais e vegetais, ressuspensão de poeiras do solo pelos ventos, formação de gás metano em pântanos, aerossóis marinhos, pólen de plantas, incêndios naturais em florestas, entre outros.

As fontes antropogênicas são diversas, mas podem ser citadas: construções, incineração de lixo, equipamentos de refrigeração e ar condicionado, queima de combustíveis diversos, queimas na agricultura, processos e operações industriais, entre outros.

3.4 Principais poluentes atmosféricos

A quantidade e variedade de poluentes atmosféricos é bastante elevada. Em razão disso, os órgãos que controlam a poluição atmosférica em diversos países elegem os poluentes que se apresentam com maior frequência e que causam mais efeitos adversos ao meio ambiente para controle. Estes poluentes são, também, bons indicadores da qualidade do ar. A CETESB, atualmente, realiza o controle dos seguintes poluentes: dióxido de enxofre (SO_2), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). A US EPA elege seis poluentes principais como indicadores da qualidade do ar nos Estados Unidos, são chamados de *six criteria pollutants*. São os mesmos poluentes eleitos pela CETESB mais o chumbo (Pb). Segundo a US EPA, a presença de chumbo na atmosfera caiu bastante a partir da década de 1970, principalmente após restrições de uso em combustíveis, sendo hoje sua principal fonte de geração as indústrias que processam metais.

3.4.1 Dióxido de enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre pertence à família dos óxidos de enxofre (SO_x). São gases que se dissolvem com facilidade na água. São comuns em materiais brutos, como óleo cru, carvão, em minérios que contêm metais como o cobre, zinco, chumbo e ferro. Os óxidos de enxofre são produzidos, por exemplo, na queima dos óleos crus ou carvão ou quando os metais são extraídos dos minérios.

O dióxido de enxofre (SO₂) é considerado o principal poluente atmosférico primário da família SO_x. Quando dissolvido no vapor de água, forma ácidos. Com outros gases presentes na atmosfera, forma sulfatos e outros produtos danosos ao ser humano e ao meio ambiente. Um exemplo é o trióxido de enxofre (SO₃) formado a partir do contato do SO₂ com o oxigênio do ar. O SO₃, por sua vez, em contato com o vapor de água, forma um outro poluente secundário, o ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Nos Estados Unidos, são geradas anualmente 20 milhões de toneladas de dióxido de enxofre, provenientes principalmente da queima de carvão em termoelétricas. Outras fontes estão relacionadas às refinarias de petróleo, fabricação de cimento, extração de minérios, entre outros (US EPA, 2006). Na região metropolitana de São Paulo a principal fonte de dióxido de enxofre é a queima de óleos e combustíveis em indústrias e veículos. Nos últimos anos, a presença de dióxido de enxofre tem se apresentado abaixo dos limites estabelecidos em lei, após campanhas para redução deste componente nos combustíveis e óleos (CETESB, 2005).

3.4.2 Monóxido de Carbono (CO)

Pertencente à família dos óxidos de carbono, o monóxido de carbono, juntamente com o dióxido de carbono, tem presença significativa no ar atmosférico. Devido aos danos à saúde que causa, o CO é considerado o principal poluente desta família. O dióxido de carbono, por sua vez, é um constituinte natural da atmosfera e é

considerado um gás de baixa toxicidade, embora seja um gás retentor de calor, contribuindo para o aquecimento global.

O monóxido de carbono é um gás inodoro e invisível, gerado na queima parcial de carbono nos combustíveis, sendo os veículos a sua principal fonte de emissão. Ele reduz a distribuição de oxigênio aos órgãos do corpo humano, podendo causar doenças do coração, pulmão e sistema nervoso (US EPA, 2006).

3.4.3 Ozônio (O₃)

O ozônio é um oxidante fotoquímico formado na atmosfera por reações químicas envolvendo poluentes orgânicos, óxidos de nitrogênio, oxigênio e luz solar (ALMEIDA, 1999).

A partir da emissão de veículos, processos industriais, vapores de gasolina, solventes químicos, são gerados óxidos de nitrogênio e poluentes orgânicos que, associados ao oxigênio do ar e à luz solar, produzem o ozônio no nível do solo.

Normalmente, o ozônio é encontrado na estratosfera, onde absorve a radiação nociva do sol. No nível do solo, ele se torna um poluente, podendo causar doenças aos seres humanos, plantas e animais.

3.4.4 Compostos de nitrogênio (NO_x)

Os compostos de nitrogênio são formados na atmosfera a partir das reações químicas que ocorrem entre o oxigênio e o nitrogênio. Entre os compostos de nitrogênio poluentes estão a amônia, os óxidos de nitrogênio e o próprio nitrogênio.

Os compostos de nitrogênio são formados a partir da queima de combustíveis em altas temperaturas (veículos, indústrias, residências, etc.) e de fontes naturais.

Vários danos à saúde e ao meio ambiente estão associados aos compostos de nitrogênio: problemas respiratórios, danos à qualidade da água, aquecimento global, formação de produtos tóxicos na atmosfera, diminuição da visibilidade, entre outros (US EPA, 2006).

3.4.5 Material particulado (MP)

O material particulado é uma complexa mistura de partículas sólidas e líquidas, emitidas por fontes poluidoras ou formadas na atmosfera. Dispersas no ar essas partículas são chamadas de aerossóis. O material particulado é formado por diversos componentes como ácidos (como sulfatos e nitratos), orgânicos químicos, metais, solo e partículas de poeira (ALMEIDA, 1999 e US EPA, 2006).

O material particulado pode se originar de fontes naturais ou antropogênicas. Sua emissão pode ser primária (construções, estradas de terra, plantações, etc.) ou secundária, pela interação com compostos pré-existentes na atmosfera.

O tamanho do material particulado está extremamente ligado ao seu potencial de causar doenças. As partículas com diâmetro igual ou menor a 10 micrômetros (MP_{10}), são as de maior preocupação, pois conseguem passar facilmente pelo nariz e garganta, atingindo os pulmões e podendo causar uma série de doenças respiratórias e cardíacas. Outros danos estão associados aos material particulado, como perda de visibilidade, perda da qualidade da água, poluição do solo, danos à flora, entre outros.

3.5 Efeitos da poluição atmosférica

A poluição atmosférica é responsável por diversos efeitos prejudiciais ao meio ambiente, atingindo a fauna, a flora, as águas, os solos, os seres humanos, entre

outros. A poluição atmosférica altera as condições naturais ou agrava problemas pré-existentes. Seus efeitos podem ser locais, regionais ou globais.

Em escala global, pode-se citar como danos relacionados à poluição atmosférica, a chuva ácida, o efeito estufa e o aumento da radiação ultravioleta pela depleção da camada de ozônio.

O quadro 3-2 relaciona os principais poluentes atmosféricos a seus efeitos primários sobre o meio ambiente.

Quadro 3-2 – Efeitos dos principais poluentes sobre o meio ambiente.

Fontes: US EPA (2006); ALMEIDA (1999); PINHEIRO; MONTEIRO (1992); CETESB (2005).

Poluentes	Efeitos primários
Ozônio (O ₃)	Agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares Irritação dos olhos Deficiência nas funções cardio-respiratórias Danos às folhas de plantas Redução na capacidade de armazenamento de nutrientes nas plantas
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Agravamento de doenças respiratórias Redução de visibilidade Redução no crescimento das plantas Formação de chuvas ácidas Aquecimento global Formação de ozônio no nível do solo
Monóxido de Carbono (CO)	Redução da tolerância a exercícios físicos Deficiências no sistema nervoso Deficiências no desenvolvimento fetal Morte quando há altos níveis de exposição Agravamento de doenças do coração Deficiências no sistema respiratório Agravamento dos efeitos de outros gases poluentes Agravamento de doenças cardíacas e respiratórias Aumento de tosse e desconforto no peito Poluição do solo

continua

continuação

Poluentes	Efeitos primários
Material particulado	Deficiência nas funções pulmonares Agravamento de doenças cardíacas Aumento de tosse e desconforto no peito, além de asma, bronquite e alergias Irritação dos olhos e pele Redução de visibilidade Poluição do solo Poluição das águas Danos a propriedades Danos à paisagem Danos a materiais
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Agravamento de doenças respiratórias Redução das funções pulmonares Irritação dos olhos Redução de visibilidade Danos a plantas Deterioração de materiais (metais, têxteis, couro, pinturas, acabamentos)
Chumbo (Pb)	Danos ao sistema circulatório e nervoso Danos ao sistema reprodutor Problemas comportamentais e de audição em crianças Danos à reprodução aquática Redução no crescimento de plantas

Vale lembrar que muitos efeitos citados no quadro 3-2 também são comuns a outros poluentes atmosféricos como o fluor, os hidrocarbonetos, os compostos orgânicos voláteis, o amianto, os clorofluocarbonos, entre outros.

3.6 Efeitos das condições meteorológicas na poluição do ar

Os diversos agentes poluidores lançados na atmosfera diariamente podem ter seus efeitos nocivos diminuídos ou potencializados, em função das condições meteorológicas.

Dentre esses condicionantes meteorológicos que exercem efeito sobre o comportamento da poluição atmosférica estão: a inversão térmica, os ventos, as chuvas, a temperatura e a estabilidade térmica (ALMEIDA, 1999; PINHEIRO; MONTEIRO, 1992; CETESB, 2005).

3.6.1 Inversão térmica

A inversão térmica caracteriza-se pela sobreposição de uma camada de ar quente a uma camada de ar frio, que, sendo mais pesada, fica “aprisionada” sob o ar quente. Este é um fenômeno natural que ocorre durante o ano todo. Contudo, na estação fria, ele se manifesta próximo à superfície do solo, impedindo a formação de correntes aéreas de convecção, fazendo com que os poluentes fiquem estagnados próximos ao solo, elevando sua concentração a níveis críticos. O gráfico 3-1 apresenta a incidência de inversões térmicas até 200 metros do solo ao longo do ano na região metropolitana de São Paulo. Nota-se que nos meses mais frios existe um aumento considerável na quantidade de inversões térmicas.

Gráfico 3-1 – Inversões térmicas a 200 metros do solo na RMSP.

Fonte: CETESB (2005)

3.6.2 Ventos

A turbulência causada pelos ventos contribui para a dispersão vertical e horizontal dos poluentes, diminuindo suas concentrações e atenuando seus efeitos nocivos.

Almeida (1999) cita que a taxa de concentração de poluentes é inversamente proporcional à velocidade dos ventos.

É importante ressaltar que, em alguns casos, os ventos podem ter ação negativa. No caso dos canteiros de obras, a presença de ventos pode carregar material particulado para o ar, sendo papel dos construtores criar artifícios para evitar que o material particulado fique sujeito à ação dos ventos.

3.6.3 Chuvas

Pela ação das chuvas, o material particulado é depositado no solo. Os gases poluentes solúveis, como o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio, também são levados para o solo, onde são neutralizados.

Embora as chuvas exerçam um papel positivo como um agente de autodepuração dos poluentes atmosféricos, vale ressaltar que ela pode ser um agente carregador desses poluentes para os corpos hídricos.

3.6.4 Temperatura

Elevações repentinas de temperatura provocam volatilização dos gases poluentes que se encontram dissolvidos nos corpos hídricos. Como exemplo, tem-se o gás sulfídrico (H_2S) emanado da decomposição orgânica presente nos esgotos.

3.6.5 Estabilidade atmosférica

A estabilidade atmosférica ocorre na ausência de radiação solar, ausência de nuvens e ventos leves. Quanto maior for a estabilidade da atmosfera menor será a diluição e transporte de poluentes atmosféricos.

Embora não seja um fator meteorológico, a topografia local também exerce influência sobre a poluição atmosférica. Regiões de fundo de vale são grandes aprisionadoras de poluentes, principalmente quando ocorre a inversão térmica.

A radiação solar também tem influência na poluição, principalmente por ser um dos agentes formadores de ozônio próximo do solo.

3.7 Controle da poluição atmosférica

As medidas de controle da poluição atmosférica variam bastante de uma região para outra, pois variam as fontes, os tipos e as quantidades de poluentes. De maneira geral o controle da poluição consiste em reduzir, coletar, capturar ou reter poluentes antes que eles atinjam a atmosfera.

Pinheiro; Monteiro (1992) citam que o controle das emissões poluidoras deve ser feito através de medidas gerais, como o planejamento urbano, de modo a não concentrar poluentes e favorecer condições para sua dispersão, e por meio de medidas específicas, como análise de processos industriais avaliando o uso de tecnologias mais apropriadas, de fontes alternativas de energia, manutenção adequada de equipamentos, instalação de filtros e retentores de poluição, entre outros.

Assunção (1998) destaca que o controle da poluição atmosférica envolve medidas indiretas e diretas. As medidas indiretas são aquelas que visam a eliminação, redução, diluição, segregação ou afastamento dos poluentes. Como exemplos de medidas indiretas tem-se uso de combustíveis limpos, adequada localização de plantas industriais, planejamento do canteiro de obras, planejamento urbano, entre outras medidas que visem impedir ou reduzir a geração de poluentes. As medidas diretas, por sua vez, visam reduzir a quantidade de emissões através de equipamentos de controle (filtros, agentes químicos, entre outros). Via de regra, as medidas diretas devem ser utilizadas quando as medidas indiretas não forem totalmente suficientes para a redução dos poluentes em níveis aceitáveis.

O monitoramento das emissões dos poluentes após a implementação das medidas de controle é fundamental para que se tenha assegurada uma real efetividade das ações implementadas.

Nos capítulos 5 e 6 as medidas de controle e monitoramento serão mais bem discutidas no ambiente do canteiro de obras.

4 MATERIAL PARTICULADO

4.1 Conceituação

O material particulado é uma complexa mistura de partículas sólidas e líquidas (exceto água pura) encontradas no ar, com diferentes características químicas e físicas, emitidas por fontes poluidoras ou formadas na atmosfera. Essas partículas se apresentam sob uma enorme gama de tamanhos. Algumas podem ser vistas a olho nu, outras somente com uso de microscópios (US EPA, 2006; US EPA, 2004).

Material particulado é um termo genérico para uma grande classe de substâncias químicas presentes no ar na forma de partículas sólidas ou líquidas.

As propriedades destas partículas variam em composição química, morfologia (tamanho/forma), parâmetros ópticos (cor/espalhamento da luz) e características elétricas (carga/resistência) (UNEP/WHO, 1994 *apud* ALMEIDA, 1999).

O termo material particulado, na literatura, aparece associado a diversos outros termos, como partículas em suspensão, material particulado em suspensão, aerossol, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, partículas respiráveis, partículas torácicas, PM₁₀, PM_{2,5}, poeira, fumaça, fumos, névoas, entre outros. A INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION – ISO (1995) apresenta definições para alguns desses termos:

- Material particulado em suspensão (MPS): conjunto de partículas sólidas e/ou líquidas dispersas no ar. Compreende uma faixa de tamanho de algumas dezenas de nanômetros (nm) até algumas centenas de micrômetros (μm).
- Aerossol: Conjunto de partículas sólidas e/ou líquidas suspensas em um meio gasoso.

Geralmente, o tamanho das partículas de aerossóis compreende uma faixa de 0,001 a 100 μm .

➤ Partículas totais em suspensão (PTS): é uma estimativa da massa de partículas totais em suspensão, obtida através de um amostrador de grande volume (Hi-vol).

Ao longo deste capítulo, serão apresentadas definições para outros termos citados.

Os estudos disponíveis sobre material particulado são bastante amplos e complexos, devido à enorme gama de tipos de partículas que o compõem, a sua grande complexidade física e química, ao grande número de impactos ambientais relacionados a ele, entre outros. Em razão disso, este capítulo visa colocar as principais características do material particulado que sejam relevantes para o entendimento básico e para o estudo das emissões do canteiro de obras e sua influência sobre o meio que o cerca.

4.2 Classificação e fontes de emissão

O material particulado é classificado de acordo com sua origem em primário e secundário.

O material particulado primário são aquelas partículas que são emitidas diretamente na atmosfera, enquanto o secundário são aquelas partículas que se formam na atmosfera, como resultado de reações químicas entre gases pré-existentes na atmosfera.

As fontes de emissão de material particulado podem ser naturais ou geradas pela ação do homem.

Entre as fontes naturais primárias estão as erupções vulcânicas, a ressuspensão de partículas em solos desérticos, as queimadas em florestas, os polens, os aerossóis marinhos, entre outras. Entre as fontes antropogênicas primárias encontram-se muitas atividades industriais, construções e demolições, combustão de combustíveis

fósseis, estradas não-pavimentadas e pavimentadas, poeira de rua ressuspensa, queimadas, campos de plantação, entre outras.

As fontes secundárias antropogênicas relacionam-se a diversas fontes emissoras de gases, como as emissões de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio de diversas indústrias, a oxidação de hidrocarbonetos em motores de veículos, as emissões de gás de amônia dos esgotos, entre outros. Entre as fontes secundárias naturais estão as emissões de gás de amônia proveniente dos animais ou do solo, as emissões de dióxido de enxofre e gás sulfídrico das erupções vulcânicas, a oxidação de hidrocarbonetos provenientes da vegetação ou queimadas naturais, os gases de processos de decomposição biológica, entre outros.

Nos processos de formação secundária são formadas novas partículas ou adicionados componentes às partículas existentes. Grande parte dos sulfatos e nitratos e uma parte dos compostos orgânicos são formados a partir de reações químicas na atmosfera. As partículas secundárias dependem de um grande número de fatores como concentrações pré-existentes; presença de outros gases reativos como ozônio ou peróxido de hidrogênio; condições atmosféricas, como radiação solar e umidade relativa do ar; e interações entre partículas precursoras ou pré-existentes com gotas das nuvens ou neblina, ou de filme líquido das partículas sólidas. Como resultado, é consideravelmente mais difícil relacionar as concentrações ambientais de partículas secundárias com suas origens ou partículas precursoras, do que no caso das partículas primárias.

Nos Estados Unidos, a US EPA fez uma caracterização genérica das fontes de material particulado, conforme o gráfico 4-1.

Gráfico 4-1 – Fontes de emissão de material particulado nos Estados Unidos

Fonte: US EPA (s.d.)

O gráfico 4-2 apresenta a caracterização das fontes de emissão de diversos poluentes, entre eles o material particulado com diâmetro inferior a 10 micrômetros, na região metropolitana de São Paulo, no ano de 2005.

Gráfico 4-2 – Fontes de emissão de poluentes em 2005 na região metropolitana de São Paulo

Fonte: CETESB (2005)

Assunção (1998) propõe uma classificação do material particulado de acordo com seu método de formação em quatro classes: poeiras, fumos, fumaça e névoas.

As poeiras são partículas sólidas formadas geralmente por processos de desintegração mecânica. Tais partículas usualmente são não esféricas, com

diâmetro equivalente, em geral, na faixa acima de 1 μm . São exemplos de poeiras as partículas de cimento, agregados, amianto, algodão, entre outras.

Os fumos são partículas sólidas formadas por condensação ou sublimação de substâncias gasosas originadas da vaporização/sublimação de sólidos. As partículas formadas são de pequeno tamanho, em geral de formato esférico. Fumos metálicos (zinco, alumínio, entre outros) e fumos de cloreto de amônia são alguns exemplos.

As fumaças são partículas sólidas, formada na queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira. Contêm fuligem (partículas líquidas) e, no caso de madeira e carvão, uma fração mineral (cinzas). São caracterizadas por partículas de diâmetro muito pequeno.

Por fim, as névoas são partículas líquidas produzidas por condensação ou por dispersão de um líquido (atomização). Apresentam tamanho, em geral, maior que 5 μm . Névoas de óleo de operações de cortes de metais, névoas de pulverização de pesticidas, névoas de tanques de tratamento superficial (galvanoplastia), névoas de operação de pinturas por compressor e névoas de ácido sulfúrico são alguns exemplos.

4.3 Tamanho das partículas

A avaliação do tamanho das partículas é algo extremamente importante para o entendimento do material particulado. Conforme o tamanho da partícula, alteram-se as propriedades físicas, químicas e biológicas, suas origens, seus efeitos sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana. O tamanho da partícula é capaz de revelar muito sobre seu comportamento e seus efeitos poluentes. Diversos estudos são realizados acerca do tamanho das partículas e são propostas diversos modos de medição e classificação.

4.3.1 Diâmetro equivalente

A determinação do *diâmetro esférico* de uma partícula pode ser realizado de diversas maneiras: pelo uso de microscópios ópticos ou eletrônicos, por espalhamento de luz, por comportamento aerodinâmico, por mobilidade elétrica, entre outros. Entretanto, as partículas presentes na atmosfera, na maioria das vezes, não são esféricas. Em razão disso, adota-se o chamado *diâmetro equivalente*, que corresponde ao diâmetro da esfera que tem o mesmo comportamento físico da partícula avaliada (US EPA, 2004). A partir do conceito de diâmetro equivalente pode-se chegar a várias definições para tamanho da partícula, definições estas que estão relacionadas às propriedades e comportamentos das mesmas. Quando uma partícula é analisada por uma determinada técnica de medição, o dado registrado corresponde a uma propriedade física e comportamentos específicos. Para uma mesma partícula pode-se ter diversos diâmetros equivalentes: diâmetro óptico, diâmetro aerodinâmico, diâmetro de Stokes, diâmetro de volume, diâmetro de área projetada, diâmetro de superfície, entre outros (ALMEIDA, 1999). O diâmetro óptico, por exemplo, equivale ao diâmetro esférico da partícula com o mesmo índice de refração da partícula utilizada para calibrar o medidor óptico de partículas, que espalha a mesma quantidade de luz, no mesmo ângulo sólido medido. Outros exemplos de correlação existente para definições de diâmetro equivalente e as propriedades e comportamentos da partícula são colocados a seguir.

- Difusão (Stokes) $\Rightarrow$ Movimento Browniano
- Aerodinâmico $\Rightarrow$ Gravidade/Inércia
- Mobilidade elétrica $\Rightarrow$ Movimento eletricamente induzido
- Área projetada $\Rightarrow$ Superfície
- Média Sauter $\Rightarrow$ Proporção de volume/superfície

A escolha do diâmetro equivalente a se utilizar para determinar o tamanho de uma partícula está muito relacionada às propriedades e comportamentos que são mais relevantes para a avaliação que se está realizando.

Segundo a US EPA (2004) o diâmetro de Stokes¹ e o diâmetro aerodinâmico² são os diâmetros equivalentes usados com maior frequência. O diâmetro de Stokes, em geral, é utilizado para avaliação do tamanho de partículas menores, em geral de diâmetro inferior a 0,5 μm , onde o comportamento das partículas é regido pela difusão. O diâmetro de Stokes é independente da densidade. O diâmetro aerodinâmico é utilizado para partículas com diâmetro em geral superior a 0,5 μm até por volta de 10 μm e é dependente da densidade.

Partículas com a mesma forma e tamanho físico, mas de diferentes densidades, terão o mesmo diâmetro Stokes, porém diferente diâmetro aerodinâmico. Existem equações que possibilitam transformar um determinado diâmetro equivalente em outro.

O uso do diâmetro equivalente é um importante parâmetro para determinação das propriedades, efeitos e destino das partículas. O entendimento do transporte, coleta, processos de remoção de partículas e deposição no sistema respiratório, por exemplo, estão fortemente relacionados aos diâmetros aerodinâmico e de Stokes.

Os diâmetros das partículas atmosféricas abrangem uma gama muito elevada de tamanhos, variando de 1 nanometro (nm) a 100 μm , abrangendo 5 ordens de magnitude. Além disso, essas partículas têm diferentes comportamentos e propriedades físicas. Isso faz com que haja a utilização de uma grande variedade de equipamentos, medindo diferentes tipos de diâmetros equivalentes. A US EPA (2004) afirma que ainda não há consenso no meio técnico sobre a combinação de

¹ O diâmetro de Stokes descreve o tamanho da partícula baseado na força aerodinâmica que age sobre a partícula quando a sua velocidade difere daquela do líquido que a cerca. Está relacionado ao movimento Browniano que é movimento aleatório de partículas macroscópicas num líquido como consequência dos choques das moléculas do líquido nas partículas.

² O diâmetro aerodinâmico é o diâmetro de uma esfera de densidade unitária 1g/cm^3 que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação da partícula em estudo. Está relacionado à força gravitacional e à inércia.

diversos diâmetros equivalentes. Alguns profissionais utilizam várias suposições para combinar diversas medições em uma única base, outros apresentam os resultados de cada instrumento de medição em separado.

Por isso, é muito importante que sempre seja apresentada a forma de medição utilizada para apresentação dos resultados.

4.3.2 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica do material particulado tem fundamental importância para o seu entendimento. O tamanho da partícula está relacionado à sua origem, comportamento na atmosfera, composição química, propriedades físicas e biológicas, efeitos sobre o meio ambiente, entre outros.

Existem três classificações normalmente utilizadas para distribuição granulométrica das partículas:

- Modal
- Tamanhos dosimétricos ou de saúde ocupacional
- Ponto de corte

Modal

A classificação modal é baseada na observação da distribuição de tamanhos e mecanismos de formação. É apresentada na forma de um gráfico, sendo que no eixo X são apresentados os diâmetros das partículas e no eixo Y podem aparecer diferentes medidas de concentração: número de partículas por cm^3 , área superficial por cm^3 ou volume de partículas por cm^3 . O gráfico 4-3 apresenta a classificação modal para material particulado, baseado numa distribuição idealizada pela US EPA, que normalmente ocorre junto às áreas de tráfego de veículos.

Gráfico 4-3 – Distribuição proposta para partículas que poderia ser obtida no trânsito, apresentando a classificação modal.

Fonte: US EPA (2004)

Pelo gráfico observam-se algumas classificações: modo de nucleação, modo de acumulação, modo de Aitken, partículas finas, partículas grossas e partículas ultrafinas.

Modo de Nucleação: inclui partículas com diâmetro abaixo de 10 nm, observadas em atividades de nucleação. São partículas recém-formadas, que tiveram poucas chances de passar por processos de condensação ou coagulação. O limite inferior é incerto, mas as atuais técnicas de medição medem partículas de 3 nm ou mais. Segundo Almeida (1999) estas partículas são geradas por processos que envolvem condensação de vapores quentes ou durante processo de transformação de gases em partículas. As partículas situadas nesta faixa estão sujeitas a uma difusão muito rápida e desordenada (movimento browniano) e, como são pequenas em comparação aos comprimentos de onda da luz visível, obedecem essencialmente às leis do espalhamento da luz por moléculas.

Modo de Aitken: inclui partículas com diâmetro entre 10 e 100 nm. Resultam, geralmente, do crescimento de partículas menores ou nucleação a partir do aumento de concentração das suas partículas precursoras, ou por ficarem mais tempo

expostas a processos de condensação ou coagulação que as partículas do modo de nucleação.

Modo de Acumulação: inclui partículas a partir de 0,1 μm até cerca de 1 a 3 μm , onde ocorre, geralmente, o limite mínimo de distribuição de massa ou volume. São formadas, geralmente, por processos de coagulação ou condensação de vapores. As partículas situadas nesta faixa são as principais responsáveis pela redução de visibilidade. Neste modo, à medida que as partículas crescem, a taxa de crescimento por coagulação e condensação diminui e as partículas se “acumulam” no modo de acumulação. Portanto, as partículas do modo de acumulação, geralmente, não passam para o modo das partículas grossas, a não ser sob condições de alta umidade relativa do ar, em que essas partículas aumentam de tamanho, ficando entre o modo de partículas finas e grossas.

Partículas finas: inclui as partículas que pertencem aos modos de nucleação, Aitken e acumulação. Geralmente são formadas por processos de combustão, ou reações químicas de gases influenciadas por produtos com baixa pressão de vapor. São compostas por metais (e óxido-metais), carbono preto ou elementar, componentes orgânicos primários e secundários, íons de sulfatos, nitratos, amônia e hidrogênio. Na tabela 4-1, que aparece mais adiante, são apresentadas mais características das partículas grossas e finas.

Partículas grossas: engloba as partículas maiores que ocorrem a partir do limite mínimo de distribuição de massa ou volume, que geralmente ocorre entre 1 e 3 μm . Em geral as partículas grossas são geradas por processos de atrito mecânico, como ruptura de minerais, materiais da crosta terrestre, ressuspensão ou fricção de partículas e resíduos orgânicos. Podem incluir, também, sal marinho, nitratos formados pela reação de ácido nítrico e cloreto de sódio, sulfatos formados pela reação de dióxido de enxofre com partículas básicas. Por serem grandes, não estão sujeitas ao movimento Browniano, sendo mais suscetíveis à força gravitacional, do que as partículas menores. Na faixa de transição entre partículas grossas e finas (entre 1 e 3 μm), em muitos casos, mas não sempre, é possível identificar a origem e mecanismo de formação separando o modo de acumulação das partículas grossas.

Partículas ultrafinas: as partículas ultrafinas não são um modo. Na literatura, em geral, incluem as partículas com diâmetro de $0,1 \mu\text{m}$ (100 nm) ou menos. Incluem partículas do modo de nucleação e boa parte do modo de Aitken. São partículas em que suas propriedades diferem muito das propriedades de partículas originadas de materiais de maior massa ou volume, devido a seu tamanho pequeno.

Os modos são definidos, preliminarmente, pelos processos de formação, mas também diferem em origem, composição, transporte e destinação, bem como o tamanho.

A maior parte das partículas geradas no canteiro de obras está relacionada ao modo de partículas grossas, salvo, alguns processos de combustão.

Tamanhos dosimétricos ou de saúde ocupacional

Essa classificação é adotada pela comunidade da saúde ocupacional. Nela, as partículas são classificadas conforme o seu acesso nas diversas partes do sistema respiratório. As partículas são divididas em: partícula inalável, torácica e respirável.

Esta classificação foi adotada a partir de 1993 pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), pela International Organization for Standardization (ISO) e pelo European Standardization Committee (CEN).

Partícula inalável: é definida como a fração em massa das partículas totais em suspensão que são inaladas através da boca e nariz. Essa fração depende, principalmente, da velocidade e direção do movimento do ar próximo à cabeça, taxa de respiração (inspirações por minuto) e volume de respiração (ml inspirado).

Partícula torácica: é o conjunto de partículas que atravessa a laringe e alcança as vias aéreas dos pulmões e as regiões de troca de ar dos pulmões. A fração torácica é definida por um diâmetro aerodinâmico de corte em 50% (D_{50}) igual a $10 \mu\text{m}$ e um diâmetro de corte superior (D_{sup}) igual a $30 \mu\text{m}$.

Partícula respirável: é o subconjunto de partículas torácicas que estão mais suscetíveis a alcançar as regiões de troca de ar dos pulmões. A fração respirável é

definida por um diâmetro aerodinâmico de corte em 50% (D_{50}) igual a $4\text{ }\mu\text{m}$ e um diâmetro de corte superior (D_{sup}) igual a $12\text{ }\mu\text{m}$.

O gráfico 4-4 ilustra as curvas que definem estas partículas e coloca também as partículas PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ que têm relevância nos estudos de partículas relacionadas à saúde humana e que serão explicadas na próxima classificação.

Gráfico 4-4 – Curvas de definição de partículas inaláveis (IPM), torácicas (TPM), respiráveis (RPM), PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$. Fonte: US EPA (2004)

Ponto de corte

Esta classificação está baseada em propor um ponto de corte de 50%, onde, em média, 50% das partículas de um determinado tamanho máximo ou menor penetram num determinado equipamento de amostragem numa operação de coleta. Os tamanhos são pré-determinados por especificações legais ou regulamentações de qualidade do ar, com fins específicos, visando, principalmente colocar restrições para controle de uma determinada situação (saúde pública, visibilidade, entre outros).

Embora se adote um ponto de corte de 50% para um determinado diâmetro de partícula, a fração de tamanho não consiste apenas no ponto de corte de 50%, mas numa curva de penetração completa, como aquelas apresentadas no gráfico 4-4. Neste gráfico, a partícula $\text{PM}_{2,5}$, por exemplo, apresenta um acúmulo de cerca de 50% no diâmetro aerodinâmico de $2,5\text{ }\mu\text{m}$, porém sua curva de penetração vai até

cerca de 5 μm . As curvas estão relacionadas às características dos amostradores, que são definidas em normas.

As classificações por ponto de corte denominadas PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ são bastante comuns em vários países, inclusive o Brasil. As definições que seguem são baseadas nas considerações propostas pela US EPA e que são aceitas no Brasil.

PM_{10} : são partículas coletadas por um amostrador que apresenta ponto de corte de pelo menos 50% (não menos do que isso) das partículas no diâmetro aerodinâmico igual a 10 μm e uma específica e bem definida curva de penetração. A abreviação PM vem do inglês: *particulate matter* (material particulado). No Brasil, utiliza-se a abreviação MP_{10} .

A classificação MP_{10} é amplamente utilizada por estar relacionada às partículas torácicas. Avaliando o gráfico 4-4, nota-se que a curva das partículas torácicas tem um ponto de corte superior a 50%, próximo do ponto de diâmetro aerodinâmico de 10 μm . Portanto, a classificação MP_{10} é um indicador de condições de saúde, utilizado com foco regulador, visando controlar aquelas partículas, suficientemente pequenas, que poderiam penetrar na região torácica do sistema respiratório humano. Avaliando, novamente, o gráfico 4-4 nota-se que as curvas de penetração PM_{10} e a curva torácica se encontram em vários pontos, diferença maior ocorre por volta dos diâmetros entre 10 e 30 μm . Há uma vantagem para a curva PM_{10} que é mais finita, terminando por volta de 10 μm , restringindo diâmetros maiores, que em termos de saúde não são tão significativos.

$\text{PM}_{2,5}$: são partículas coletadas por um amostrador que apresenta ponto de corte de cerca de 50% no diâmetro aerodinâmico igual a 2,5 μm e uma específica e bem definida curva de penetração.

A classificação $\text{MP}_{2,5}$ foi usada inicialmente em estudos epidemiológicos, porém o amostrador $\text{MP}_{2,5}$ não foi concebido para coletar todas as partículas respiráveis, mas sim para separar partículas finas de grossas e coletar partículas finas, devido às suas diferentes origens e propriedades (US EPA, 2004).

Como já mencionado, as partículas finas e grossas não diferem apenas no tamanho, mas no mecanismo de formação, origens, propriedades químicas e biológicas. Também diferem nas relações concentração-exposição, deposição no sistema respiratório (dosimetria), toxicidade e efeitos à saúde, como observado em estudos epidemiológicos. Portanto, é desejável que se analise separadamente as partículas finas de grossas para alocar adequadamente os efeitos à saúde e ao meio das partículas grossas e finas e determinar corretamente suas origens. Por exemplo, os metais em transição nas partículas grossas estão associados ao solo e tendem a ser menos solúveis (e provavelmente de menor risco ao meio ambiente) do que os metais em transição de combustão recente encontrados nas partículas finas.

Embora, no intervalo entre 1 e 3 μm , possa ocorrer a presença de partículas grossas, isto ocorre, principalmente, em condições de alta umidade relativa do ar, sendo tratado como uma exceção, dada a importância que há em se realizar a separação entre partículas grossas e finas e que, comprovadamente, possibilita uma série de estudos importantes.

A US EPA coloca que as partículas finas são aquelas que abrangem os modos de nucleação, Aitken e acumulação e as partículas grossas, aquelas que abrangem o modo de partículas grossas, e que os termos $\text{MP}_{2,5}$ e partículas finas não são termos equivalentes, sendo o primeiro, uma convenção de separação de significado importante para ações reguladoras e estudos diversos.

4.4 Composição química

O material particulado apresenta uma considerável variabilidade de elementos em sua composição, chegando a ser constituído por centenas de compostos ou substâncias químicas diferentes. Tal fato ocorre devido à existência de grande quantidade de partículas finas, com grande capacidade de absorção, em associação com poluentes gasosos secundários. As frações finas e grossas do material particulado apresentam diferenças marcantes em sua composição química. Em geral, a fração grossa é básica e a fina é ácida (ALMEIDA, 1999).

Nas partículas finas são encontrados predominantemente íons de sulfatos, amônia e hidrogênio; carbono elementar, compostos orgânicos secundários e espécies orgânicas primárias de processos de combustão e cozimento; e certos metais em transição (mercúrio, chumbo, cádmio, vanádio e cromo). Nas partículas grossas são encontrados predominantemente materiais brutos como cálcio, alumínio, sílica, magnésio e ferro; alguns materiais orgânicos primários como pólen e restos de animais e plantas.

Alguns componentes como potássio e nitrato podem ser encontrados nas duas frações, mas com origens ou mecanismos diferentes. Potássio na fração grossa vem do solo, nas partículas finas vem da queima de madeira ou cozimento de carnes. Nitrato em partículas finas vem, preliminarmente, da reação de ácido nítrico e amônia na fase de gás, formando partículas de nitrato de amônia. Nitrato na fração grossa vem, preliminarmente, da reação do ácido nítrico na fase de gás com partículas grossas pré-existent.

Em função de sua composição química o material particulado pode provocar efeitos nocivos a um indivíduo e ao meio ambiente como um todo devido a sua exposição a substâncias tóxicas. A presença de metais na fração fina, por exemplo, tem grande significado para a saúde pública, pois são elementos, que uma vez no sistema respiratório podem causar severos danos à saúde. Quatro são os fatores que influenciam na extensão do dano desses efeitos sobre cada indivíduo: a concentração, a duração da exposição, a toxicidade e a suscetibilidade individual (ALMEIDA, 1999). Ácido sulfúrico, nitrato de amônia e partículas orgânicas depositados nas superfícies contribuem para uma série de efeitos ecológicos. As partículas contribuem, também, diretamente na formação de chuvas ácidas.

4.5. Comparação entre partículas finas e grossas

Como visto anteriormente, as partículas grossas e finas apresentam características bastante independentes, embora ambas façam parte do material particulado. O quadro 4-1 contém um resumo das principais diferenças encontradas entre essas partículas.

Quadro 4-1 - Comparações entre partículas finas e partículas grossas.

Fonte: US EPA (2004).

	Partículas Finas		Partículas grossas
	Ultrafina	Modo de acumulação	
Processo de formação	Combustão, processos de alta temperatura e reações atmosféricas.		Quebra de grandes sólidos e gotas líquidas.
Formado por	Nucleação; condensação e coagulação.	Condensação; coagulação; reações de gases dentro ou sobre as partículas, evaporação de neblina ou nuvem; gotas líquidas dissolvidas ou reagidas por gases.	Ruptura mecânica (fresagem, abrasão de superfícies, moagem, etc.); evaporação de sprays; suspensão de poeiras; reações de gases dentro ou sobre partículas.
Composto de	Sulfato; carbono elementar; compostos metálicos; compostos orgânicos com muito baixa pressão de vapor de saturação na temperatura ambiente.	Íons de Sulfato, nitrato, amônia e hidrogênio; carbono elementar; grande variedade de compostos orgânicos; metais; compostos de chumbo, cádmio, níquel, cobre, zinco, manganês, ferro, etc.; partículas envoltas em água.	Suspensão de solo ou poeira de rua; cinzas voláteis da combustão não controlada de carvão, óleo e madeira; nitratos, clorados, sulfatos da reação de $\text{HNO}_3/\text{HCl}/\text{SO}_2$ com partículas grossas; óxidos de materiais brutos (sílicio, alumínio, ferro, etc.); CaCO_3 ; CaSO_4 ; NaCl ; sal marinho; pólen; fragmentos de plantas e animais; resíduos de pneus, pastilhas de freio e desgaste de estradas.
Solubilidade	Provavelmente menos solúvel que o modo de acumulação.	Amplamente solúvel e higroscópico (absorve umidade do ar).	Amplamente insolúvel e não higroscópico.
Origens	Combustão; transformação atmosférica de SO_2 e alguns compostos orgânicos; processos de alta temperatura.	Combustão de carvão, óleo, gasolina, diesel e madeira; Transformação atmosférica de NO_x , SO_2 e compostos orgânicos, incluindo espécies orgânicas biogênicas; processos de alta temperatura, derretedores, moinhos de aço, etc.	Ressuspensão de poeiras industriais e de solos em ruas e estradas; suspensão após movimentação no solo (escavações, agricultura, mineração, estradas não pavimentadas); construções e demolições; combustão não controlada de carvão e óleo; spray do oceano; fontes biológicas.
Vida atmosférica	Minutos a horas.	Dias a semanas.	Minutos a horas.
Processo de remoção	Quando crescem e passam para o modo de acumulação; difusas por gotas de chuva.	Formação de gotas nas nuvens e chuvas; deposição seca.	Deposição seca por queda; remoção por gotas de chuva.
Distância de percurso	1 a dezenas de Km.	Centenas a milhares de Km.	1 a dezenas de Km (com caudas pequenas; centenas a milhares de Km em tempestades de poeira).

O tempo de vida e a distância de percurso de uma partícula na atmosfera, não mencionados anteriormente, variam principalmente em função do tamanho da partícula. Partículas grossas podem deixar atmosfera em minutos ou horas e normalmente percorrem pequenas distâncias. São partículas que sofrem influência gravitacional. Entretanto, quando densamente misturadas na atmosfera, como em tempestades de poeira, as partículas grossas de menor diâmetro podem ter períodos de vida muito maiores e percorrerem distâncias elevadas. Partículas no modo de acumulação são mantidas em suspensão no ar por simples correntes de ar e têm velocidades de deposição muito menores que as partículas grossas; elas podem ser transportadas por milhares de quilômetros e permanecer na atmosfera por muitos dias. As partículas ultrafinas têm períodos de vida menor e percorrem trechos menores, pois são mais rapidamente transformadas na atmosfera, muitas vezes passando para o modo de acumulação ou extinguindo-se.

Outro fato colocado no quadro 4-1, e que tem especial importância para este trabalho, é a ligação que existe entre os serviços do canteiro de obra e as partículas grossas. Serviços de construção e demolição, movimentações de solo, queima de madeira, ressuspensão de poeiras, entre outros, são origens primárias de partículas grossas e são atividades que ocorrem no canteiro de obras. A emissão de partículas finas ligadas a eventuais processos de combustão e queima realizados no canteiro de obras, também pode ocorrer, porém em proporções significativamente menores.

4.6 Efeitos da poluição por material particulado

O material particulado, sob certas concentrações e de acordo com suas propriedades físicas e químicas, causa diversos impactos ao meio ambiente. A seguir são listados os principais efeitos nocivos causados ao meio ambiente.

4.6.1 Efeitos sobre o ser humano

Como visto anteriormente, as partículas menores que 10 μm são as de maior interesse quando se trata dos efeitos nocivos do material particulado à saúde humana. São partículas que têm facilidade em penetrar no sistema respiratório, atingir os pulmões e em alguns casos a corrente sanguínea. Exposições ao material particulado, podem, portanto, causar danos ao sistema respiratório e ao coração. Partículas maiores, embora tenham efeitos menos nocivos, podem causar irritação nos olhos, pele, boca, garganta e nariz (BRE, 2003).

Pessoas com doenças respiratórias ou do coração, como doenças na artéria coronária, asma, falha congênita do coração, obstrução pulmonar crônica, entre outras, em contato com essas partículas, aumentam seu risco de morte. Diabéticos também têm seu risco aumentado, por estarem mais suscetíveis a doenças cardiovasculares. O material particulado também aumenta o risco de ataques cardíacos.

Idosos e crianças, normalmente, são os grupos mais afetados. Idosos, muitas vezes, por apresentarem doenças cardíacas ou respiratórias não diagnosticadas. Crianças, muitas vezes, por estarem com os pulmões em desenvolvimento, por passarem mais tempo em atividades que exigem maior atividade pulmonar, absorvendo maior quantidade de partículas, por estarem mais suscetíveis a doenças respiratórias como asma e bronquite, entre outros. Nos períodos de maior concentração deste poluente, há maioria de idosos e crianças nos hospitais afetados por doenças respiratórias e cardiovasculares (US EPA, 2006b).

Pesquisas em andamento nos Estados Unidos afirmam que maiores exposições ao material particulado têm causado nascimentos de crianças com peso menor, partos prematuros e mortes fetais ou de crianças com pouca idade (US EPA, 2006b).

Exposições de longo e curto prazo apresentam riscos à saúde. Exposições de longo prazo (pessoas que vivem por vários anos em região com alta concentração de material particulado, por exemplo) têm estado relacionadas com redução das funções pulmonares, bronquite crônica e, em alguns casos, morte prematura.

Exposições de curto prazo (horas ou dias) podem agravar doenças pulmonares, causando ataques de asma, bronquite aguda e aumentar a suscetibilidade a infecções respiratórias. Em pessoas com problemas cardíacos, exposições de curto prazo podem causar arritmia e ataques cardíacos. Adultos e crianças saudáveis, normalmente, não apresentam problemas em exposições de curto prazo, a não ser irritações passageiras e eventuais faltas de ar por exposições elevadas.

Os órgãos reguladores costumam fixar faixas de concentração de poluentes de acordo com seus danos à saúde. No caso do material particulado MP_{10} numa medição de 24 horas a CETESB adota as faixas relacionadas no Quadro 4-2 aos seus possíveis danos à saúde.

Além de afetar a saúde humana, o material particulado também pode ser um fator de incômodo, gerando acúmulo de poeiras em edificações, automóveis, jardins, roupas nos varais, entre outros (BRE,2003; NSW EPA, 2005). Neste grupo encontram-se diversos tamanhos de partículas, inclusive acima de MP_{10} .

Quadro 4-2 – Qualificação do ar conforme sua concentração MP_{10} no período de 24 horas e seus efeitos à saúde humana.

Fonte: CETESB (2005).

Qualificação do ar	Concentração MP_{10} ($\mu g/m^3$)	Efeitos à saúde
Boa	0-50	Sem efeitos.
Regular	51-150	Sem efeitos.
Inadequada	151-250	Leve agravamento em pessoas suscetíveis a doenças respiratórias e cardíacas ou pequenas irritações em pessoas saudáveis.
Má	251-420	Decréscimo da resistência física e agravamento dos sintomas em pessoas suscetíveis a doenças respiratórias e cardíacas. Sintomas na população saudável.
Péssima	421-500	Aparecimento de doenças, agravamento de sintomas. Decréscimo de resistência em pessoas saudáveis.
Crítica	501-600	Morte prematura de pessoas suscetíveis a doenças cardíacas e respiratórias e de idosos. Sintomas adversos em pessoas saudáveis.

4.6.2 Efeitos sobre materiais

Os materiais estão suscetíveis a processos de deterioração causados por ações naturais como vento, chuvas, umidade do ar, luz solar, variações de temperatura. Porém, tais processos de deterioração podem ser agravados quando são adicionados os poluentes atmosféricos. Por exemplo, o processo de corrosão dos metais ocorre sob a ação de agentes naturais formando uma camada protetora sobre a superfície, porém é aumentado com a presença de SO_2 que diminui a efetividade da camada protetora.

A ação nociva dos material particulado sobre os materiais, normalmente, está vinculada à sua deposição sobre superfícies diversas.

A presença de partículas secas originadas de SO_2 depositadas nas superfícies, associadas a processos naturais, também causa danos a pedras calcáreas, concretos, argamassas, superfícies pintadas, entre outros. Entre esses danos está a descoloração, perda de brilho, desgaste superficial, entre outros.

Partículas com tamanho inferior a $10\ \mu\text{m}$ aderem a superfícies de materiais, deixando-as opacas e reduzindo a transmissão de luz em materiais transparentes (vidros, por exemplo). Essas partículas aderidas levam ao aumento da frequência de lavagens ou até à necessidade de repintura em diversas superfícies (vidros, pedras, pinturas, metais, concretos, entre outros), podendo causar redução da vida útil. Os efeitos destas partículas estão ligados a sua taxa de deposição, taxa de concentração, distribuição de tamanho das partículas, orientação da superfície (vertical ou horizontal), entre outros. Nas superfícies pintadas, as partículas grossas (entre $2,5$ e $10\ \mu\text{m}$) são mais facilmente removidas, inclusive pela ação de chuvas, enquanto as partículas finas, normalmente, exigem repintura (US EPA, 2004).

4.6.3 Efeitos sobre a visibilidade

A visibilidade é definida como o grau de transparência da atmosfera para a luz visível e claridade e fidelidade de cores da atmosfera. Deficiências na visibilidade consistem na diminuição da luz, campo de visão, contraste e coloração.

A visibilidade é afetada pelo espalhamento de luz e absorção de luz pelos aerossóis.

As deficiências na visibilidade estão associadas às propriedades dos aerossóis, como distribuição granulométrica das partículas na atmosfera (normalmente partículas finas, entre 0,1 e 1,0 μm , são as maiores responsáveis por redução da visibilidade), composição química e umidade relativa. O aumento da umidade relativa do ar aumenta a absorção de umidade pelas partículas, aumentando seu tamanho e volume, o que, geralmente, acarreta no aumento do espalhamento de luz pelas partículas, causando danos à visibilidade. Aerossóis de sulfatos e nitratos, aerossóis orgânicos, partículas de solo, estão entre os principais causadores de redução de visibilidade.

A concentração de partículas $\text{MP}_{2,5}$ é um importante parâmetro utilizado na avaliação de redução de visibilidade, já que, geralmente, as partículas finas, especialmente aquelas no modo de acumulação, são as responsáveis pela redução de visibilidade.

A figura 4-1 coloca foto de uma paisagem em dia com menor concentração de poluição, comparada à outra foto em dia com maior concentração de poluentes e maior umidade relativa do ar. Nota-se maior definição de cores e maior claridade na foto com menor concentração de poluentes.

Menor concentração

Maior concentração

Figura 4-1 – Exemplo de dia com menor concentração e dia com maior concentração de poluentes, relacionados à visibilidade.
Fonte: US EPA (2006).

4.6.4 Efeitos sobre a natureza

A deposição de material particulado sobre a vegetação ou sobre o solo, dependendo da sua composição química, pode causar diferentes respostas, diretas ou indiretas, dentro de um ecossistema. Essas respostas vão depender de alguns fatores, como: sensibilidade do ecossistema ou de suas partes a uma determinada concentração e composição química (ácida/básica, nitratos, sulfatos, etc.); capacidade de espalhamento pré-existente do solo e da água (riachos, rios, estuários, etc.); concentração e velocidade de deposição; e outras características específicas como topografia, clima, uso do solo, entre outros (US EPA, 2004).

O material particulado em suspensão no ar se deposita sobre diversos receptores sensíveis causando efeitos diretos, químicos ou físicos, sobre eles. Através das chuvas, queda das folhas, ou ressuspensão de partículas, o material particulado é levado para o solo ou para a água, causando efeitos indiretos (acidificação, saturação de nitrogênio, eutrofização, entre outros) que têm potencial para degradar os ecossistemas gerando redução da diversidade de espécies, alterando sua estrutura e sustentabilidade, levando ao detrimento da vida de animais e plantas, e conseqüentemente afetando os seres humanos. Os efeitos indiretos são muito mais nocivos que os efeitos diretos, pois têm influência sobre o equilíbrio dos ecossistemas.

Os efeitos diretos estão relacionados ao tamanho das partículas. As partículas grossas, por estarem sujeitas à ação da gravidade (têm maior velocidade de sedimentação), normalmente, se depositam mais próximas das suas fontes, fazendo com que seus efeitos se localizem mais nos limites entre o meio ocupado pelo homem e pela natureza (florestas próximas a estradas ou cidades, por exemplo). Entre os efeitos diretos causados pelas partículas grossas, podem ser citados:

- redução da fotossíntese, queda prematura de folhas, inibição do crescimento, ferimentos nas folhas, entre outros, por bloqueio da radiação, elevação da temperatura nas folhas, bloqueio da estomata e penetração de componentes químicos, devido à formação de camada de poeira sobre as plantas;
- redução do crescimento e danos às folhagens por deposição de partículas de cimentos sobre a vegetação, que levam alterações de PH, que podem chegar a PH 12;
- ferimentos das folhas e mudança na composição das espécies, por deposição de sal marinho ou nitratos e sulfatos carregados do ar pelo *spray* marinho.

Os efeitos diretos causados pelas partículas finas são de pouca relevância. Os efeitos mais nocivos das partículas finas estão relacionados aos efeitos indiretos.

Os efeitos indiretos mais importantes estão relacionados aos nitratos e sulfatos que são depositados no solo pelo ar. Os nitratos e sulfatos estão presentes em partículas finas e grossas. No solo, os nitratos e sulfatos podem alterar os fluxos de energia e nutrientes, mudar a estrutura dos ecossistemas e afetar a biodiversidade. A deposição destes compostos no solo e a acidificação, quando associados aos íons H^+ , têm como efeito mais nocivo a alteração no crescimento das plantas.

O nitrogênio é um elemento importante para o crescimento das plantas em sua forma reativa (Nr). Porém, o excesso de nitrogênio reativo, causado por processos antropogênicos (fixação de nitrogênio por culturas de legumes, arroz e outros; queima de combustíveis fósseis, etc.), pode gerar desequilíbrio, levando a efeitos nocivos como: acidificação e perda de biodiversidade nas águas, quando associado ao enxofre; eutrofização (crescimento da população de algas, reduzindo a quantidade de oxigênio para os peixes); contribuição para a

mudança climática global e depleção da camada de ozônio, afetando os ecossistemas e seres humanos; formação de O_3 , atacando as plantas e deixando-as suscetíveis a ataques de insetos e agentes patogênicos; alterações na composição dos ecossistemas pela saturação de nitrogênio (queda na qualidade da água; redução na fertilidade do solo; predominância de bactéria em comunidades normalmente formadas por fungos; entre outros).

Os metais pesados, provenientes do ar, quando depositados no solo, podem aumentar a sua toxicidade, alterar o ciclo de nutrientes e alterar comunidades de fungos e bactérias.

As partículas finas no ar podem limitar o fluxo de radiação solar, por espalhamento ou absorção de luz, causando efeitos nocivos sobre as plantações.

O BRE (2003) coloca um resumo de impactos ambientais à natureza, causado por material particulado:

- alteração dos processos de fotossíntese, perda de pigmentação e diminuição no crescimento das plantas;
- bloqueio dos poros estomatais, limitando suas funções nas plantas;
- alteração química da superfície das folhas, diminuindo sua resistência a doenças;
- adição excessiva de nutrientes no solo levando a deficiências ou excesso de crescimento;
- mudanças nos níveis de PH dos solos;
- poluição do solo por deposição ou carregamento por água;
- aumento de materiais suspensos ou dissolvidos na água, causando desequilíbrios na ecologia aquática;
- limitação da radiação solar, danificando as plantas.

Almeida (1999) coloca alguns efeitos que podem ser causados em animais pelo material particulado:

- diminuição das funções respiratórias;
- danos aos olhos, dentes e ossos;

- aumento da suscetibilidade a doenças;
- diminuição das fontes de alimento;
- redução da capacidade reprodutiva.

4.7 Legislação para poluição atmosférica aplicável ao material particulado

Existem diversas legislações ambientais voltadas ao controle da poluição atmosférica no Brasil e no mundo. Abaixo são mencionadas as legislações brasileiras aplicáveis ao material particulado e que sejam de interesse para este trabalho, colocando seus principais pontos de regulamentação e controle. São também colocados alguns exemplos de legislações internacionais para efeitos de comparação.

4.7.1 Legislação nacional

A base da prevenção e do controle da poluição atmosférica do Brasil é regida pela resolução CONAMA n.º 05 de 15/06/1989, a qual instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR).

O PRONAR tem como estratégia básica limitar, em escala nacional, os níveis de emissão por tipologia de fonte e poluentes prioritários, reservando o uso de padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Esses limites são estabelecidos por resoluções do CONAMA.

A portaria normativa n.º 348 de 14/03/1990 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e respectivos métodos de referência, ampliando o número de parâmetros estabelecidos anteriormente na portaria GM 0231 de 27/04/1976.

Os padrões de qualidade do ar estabelecidos desta portaria foram submetidos ao CONAMA e transformados na resolução CONAMA n.º 03/1990.

O padrão da qualidade do ar define, legalmente, o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, garantindo a proteção à saúde e do bem estar das pessoas. Esses padrões são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Na resolução n.º 03/1990 do CONAMA são estabelecidos dois tipos de padrão da qualidade do ar: primário e secundário.

São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo de se estabelecer padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, entre outros). Não se aplicam, pelo menos em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários. A resolução n.º 03/1990 do CONAMA prevê que o território brasileiro seja dividido em classes I, II e III, conforme o uso pretendido, para a aplicação de padrões secundários e primários. A mesma resolução prevê que, enquanto não for estabelecida a classificação da área, os padrões aplicáveis, são os primários.

São aplicados padrões de qualidade do ar para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis (MP₁₀), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões de qualidade do ar

fixados na resolução são colocados quadro 4-3. Nota-se que há restrições de curto prazo (24h) e médio prazo (anual).

As partículas totais em suspensão (PTS) e as partículas inaláveis estão relacionadas ao material particulado e são de interesse para este trabalho. A CETESB (2005) classifica as partículas totais em suspensão como material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de 100µm ou inferior e as partículas inaláveis como material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de 10µm ou inferior.

A mesma resolução ainda estabelece critérios para episódios agudos de poluição, apresentados no quadro 4-4. A CETESB (2005) coloca que antes de se declarar os níveis de Atenção, Alerta e Emergência, é requerido além do nível de concentração atingido, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes.

Quadro 4-3 – Padrões nacionais de qualidade do ar

Fonte: CONAMA

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m³	MÉTODO DE MEDIÇÃO
partículas totais em suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	amostrador de grandes volumes
partículas inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	separação inercial/filtração
fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150 60	100 40	refletância
dióxido de enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	pararosanilina
dióxido de nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	quimiluminescência
monóxido de carbono	1 hora ¹ 8 horas ¹	40.000 35ppm 10.000 9ppm	40.000 35ppm 10.000 9ppm	infravermelho não dispersivo
ozônio	1 hora ¹	160	160	quimiluminescência

¹ Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

² Média geométrica anual

³ Média aritmética anual

Quadro 4-4 – Critérios para episódios agudos de poluição

Fonte: CONAMA

PARÂMETROS	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	250	420	500
fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 hora	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8 horas	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 hora	400*	800	1.000

A Legislação Estadual de São Paulo DE 8468 de 08/09/1976 também estabelece padrões para qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição. Porém, não engloba o dióxido de nitrogênio, partículas inaláveis e fumaça. Os demais padrões e critérios são similares aos da resolução do CONAMA, com exceção do critério para episódio agudo no nível de Atenção do ozônio que é de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Há outras legislações relacionadas à qualidade do ar, mas de pouco interesse para este trabalho. Muitas estão relacionadas a veículos automotores. Embora existam veículos nos canteiros de obras, entende-se que estas emissões estejam relacionadas aos fabricantes, proprietários e órgãos fiscalizadores de veículos. Nas atividades do canteiro de obras podem ser exigidas medidas de controle como filtros em escapamentos, manutenção preventiva e corretiva, entre outros, para minimizar seus efeitos.

Não há legislações brasileiras específicas para emissões de material particulado nas atividades de construção.

4.7.2 Legislações internacionais

4.7.2.1 Padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS)

No ano de 2006 a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou novos padrões de qualidade do ar para material particulado. Os valores limite são sugestões a serem adotadas pelos países, baseadas em pesquisas de diversas instituições mundiais sobre os efeitos nocivos do material particulado à saúde humana. São estabelecidos padrões para PM₁₀ e PM_{2,5} para concentração média anual e concentração de 24 horas. Os quadros 4.5 e 4.6 apresentam os valores propostos para concentração média anual e concentração de 24 horas.

Quadro 4.5 – Referência de qualidade do ar e metas interinas para material particulado da OMS para concentração média anual¹

Fonte: WHO (2006)

	PM₁₀ (µg/m³)	PM_{2,5} (µg/m³)	Considerações para o nível selecionado
Meta interina I	70	35	Esses níveis estão associados a um risco de mortalidade de longo prazo cerca de 15% maior do que os níveis da referência de qualidade do ar
Meta interina II	50	25	Além de outros benefícios à saúde, esses níveis reduzem em cerca de 6% (2-11%) a mortalidade prematura em relação à meta interina I
Meta interina III	30	15	Além de outros benefícios à saúde, esses níveis reduzem em cerca de 6% (2-11%) a mortalidade em relação à meta interina II
Referência de qualidade do ar	20	10	Esses são os menores níveis em que a mortalidade por câncer pulmonar ou cardíaco mostrou certeza de redução de 95% em exposições de longo período a PM _{2,5}

^{1º} A utilização da referência de qualidade do ar para PM_{2,5} é preferida.

Quadro 4.6 – Referência de qualidade do ar e metas interinas para material particulado da OMS para concentração de 24 horas¹

Fonte: WHO (2006)

	PM₁₀ (µg/m³)	PM_{2,5} (µg/m³)	Considerações para o nível selecionado
Meta interina I	150	75	Baseados em coeficientes de risco publicados por diversas instituições de estudo e análises de dados de 29 cidades. Há aumento de 5% na mortalidade de curto prazo em relação ao nível de referência de qualidade do ar.
Meta interina II	100	50	Baseados em coeficientes de risco publicados por diversas instituições de estudo e análises de dados de 29 cidades. Há aumento de 2,5% na mortalidade de curto prazo em relação ao nível de referência de qualidade do ar.
Meta interina III*	75	37,5	Baseados em coeficientes de risco publicados por diversas instituições de estudo e análises de dados de 29 cidades. Há aumento de 1,2% na mortalidade de curto prazo em relação ao nível de referência de qualidade do ar.
Referência de qualidade do ar	50	25	Baseados na relação entre níveis de 24 horas e médias anuais

¹99% dos resultados anuais devem estar abaixo destes níveis

* Para propósitos de gerenciamento. Baseado em valores referenciais de médias anuais.

Os quadros apresentam 4 níveis de padrão de qualidade do ar. As metas interinas visam propor intervalos de evolução a serem adotados pelos países buscando atingir o valor de referência de qualidade do ar progressivamente. Cada vez que um nível interino passa a ser atingido devem ser implementadas ações para que se atinja o próximo nível. Os níveis de referência de qualidade do ar são aqueles em que diversos estudos mundiais apontaram haver baixo risco à saúde humana.

Comparando com os padrões brasileiros, as metas propostas pela OMS são mais restritivas, além de proporem padrões para PM_{2,5} que não são previstos atualmente no Brasil. Para concentração média anual de PM₁₀ o padrão brasileiro (50µg/m³) equivale à meta interina II da OMS, quando o ideal segundo a organização é de 20µg/m³. Já para concentração de 24 horas o padrão brasileiro (150µg/m³) equivale à meta interina I da OMS, quando o ideal segundo esta organização é de 50µg/m³.

4.7.2.2 Legislação norte-americana

Os padrões da qualidade do ar norte-americanos (NAAQS – *National Ambient Air Quality Standards*) são regidos pelo *Clean Air Act* de 1990. Da mesma maneira que a legislação brasileira, também, são adotados os padrões primários e secundários. A legislação americana coloca que o padrão primário fixa limites para proteger a saúde pública, incluindo a saúde de populações sensíveis, como asmáticos, crianças e idosos. Para o padrão secundário coloca que eles fixam limites para proteger o bem-estar público, incluindo a proteção contra a diminuição da visibilidade, danos aos animais, plantações, vegetações e construções. Esses padrões são revisados periodicamente, pois o *Clean Air Act* estabelece que a US EPA faça uma revisão dos padrões a cada cinco anos com base nas informações científicas mais atualizadas, com participação da comunidade e comitês científicos, indústrias, grupos públicos de interesse, entre outros.

O quadro 4-7 coloca os padrões secundários e primários estabelecidos para o material particulado.

Quadro 4-7 – Padrões de qualidade do ar adotados nos EUA para material particulado

Fonte: US EPA (2006)

Poluente	Padrão Primário	Tempo de amostragem	Padrão Secundário	Método de medição
MP ₁₀	50 µg/m ³	Média aritmética anual ¹	Mesmo do primário	Separação inercial/filtro gravimétrico
	150µg/m ³	24 horas ²		
MP _{2,5}	15 µg/m ³	Média aritmética anual ³	Mesmo do primário	Separação inercial/filtro gravimétrico
	65 µg/m ³	24 horas ⁴		

¹ Para atender a este padrão a média aritmética de 3 anos de medição, dos medidores de uma área, não deve ultrapassar 50 µg/m³.

² Não deve exceder este limite mais que uma vez por ano

³ Para atender a este padrão a média aritmética de 3 anos de medição, dos medidores de uma área, não deve ultrapassar 15 µg/m³.

⁴ Para atender a esse padrão a média dos últimos três anos de 98% dos medidores de 24 hs de uma determinada área não deve exceder 65 µg/m³.

Fazendo uma comparação com o padrão de qualidade do ar brasileiro, a primeira diferença é a existência de parâmetros para $MP_{2,5}$, o que não aparece nas legislações brasileiras. Medições realizadas pela CETESB na região metropolitana de São Paulo, entre 1997 e 2005, apontaram presença de 60% de partículas $MP_{2,5}$ entre as partículas MP_{10} coletadas. Outra diferença é que controle de partículas totais em suspensão não é parametrizado na legislação americana.

Quanto aos MP_{10} , os parâmetros primários e secundários são os mesmos, ocorrendo diferença na avaliação anual, em que o padrão brasileiro exige a média aritmética anual, enquanto o padrão americano exige a média aritmética de 3 anos consecutivos não ultrapasse o limite colocado. Os métodos de medição, também, são os mesmos.

O *Clean Air Act* estabelece padrões nacionais de qualidade do ar, mas delega aos estados a responsabilidade de garantir que os padrões sejam atendidos. O principal argumento desta ação é que cada estado possui particularidades, que às vezes precisam de mais rigor que os padrões nacionais. Os estados podem estabelecer padrões mais rigorosos, mas nunca menos rigorosos. Os estados desenvolveram um Plano de Implementação Estadual (*State Implementation Plan* – SIP), para aprovação da US EPA, onde colocaram as condições que seriam utilizadas para atenderem aos requisitos do *Clean Air Act*.

Legislações norte-americanas para construção civil

Muitos estados delegam a responsabilidade pelo controle das emissões aos municípios. Entre as ações estaduais ou municipais, em muitos locais, são encontradas regulamentações específicas para as emissões a partir dos canteiros de obras. No Estado de Washington, por exemplo, é ilegal permitir que partículas de poeira sejam carregadas além dos limites das propriedades, afetando a saúde, a propriedade ou negócio de outras pessoas. A responsabilidade de controlar estas emissões é dos proprietários e construtores. A multa estabelecida é de até US\$ 10.000,00 por dia, por violação (Washington State Department of Ecology, 2005). Alguns estados estabelecem que os construtores devem elaborar um Plano de Controle de Poeiras. No Condado de El Dorado (CA), por exemplo, este plano deve conter as etapas da obra, as fontes emissoras, as medidas de controle destas

emissões, a data de duração de cada etapa, entre outros requisitos. O plano deve ser aprovado pela autoridade de controle de poluição do ar, antes do início da obra (El Dorado County Air Pollution Control Officer, 2005).

A US EPA também possui poder de fiscalização, mas normalmente atua em obras com terrenos acima de 5 acres (aproximadamente 20.000 m²) (FERGUSON; DONALD; DOWNS, 1999).

4.7.2.3 Legislação britânica

Os padrões de qualidade do ar na Inglaterra são regidos pela parte IV do *Environment Act* de 1995 e seguem os limites dispostos no *Air Quality (England) Regulations* de 2000.

Não há padrão primário ou secundário, apenas um padrão. Não há parâmetros para MP_{2,5} apenas para MP₁₀. Os padrões são colocados no quadro 4-8.

Quadro 4-8 – Padrões de qualidade do ar no Reino Unido

Fonte: Air Quality (England) Regulations 2000.

Poluente	Padrão	Tempo de amostragem
MP ₁₀	50 µg/m ³	24 horas ¹
	40 µg/m ³	Média aritmética anual ²

¹Este limite não deve ser excedido mais de 35 vezes ao ano

²Média aritmética anual das médias de 24 horas do ano

Os padrões ingleses são mais rigorosos se comparados aos padrões brasileiros e norte-americanos: 50 µg/m³ na medição de 24 horas contra 150 µg/m³ e 40 µg/m³ na medição das médias aritméticas anuais contra 50 µg/m³. Ao mesmo tempo, os padrões ingleses estão mais próximos dos padrões ideais da OMS. Atualmente, a Comissão Européia estuda a aplicação de padrões de PM₁₀ para todo continente

europeu. Os padrões ainda não foram oficializados, mas as propostas atuais são equivalentes aos padrões ingleses.

Legislações britânicas para construção civil

A legislação britânica (aplicada à Inglaterra e País de Gales) através do *Environment Protection Act* (EPA) de 1990 estabelece na parte I dois métodos de controle de poluição: 1) *Integrated Pollution Control* (IPC) que determina responsabilidade à Agência Ambiental britânica (*Environment Agency*) pelo controle de grandes poluidores (classificação A) e; 2) *Local Air Pollution and Prevent Control* (LAPPC) que determina responsabilidade às autoridades locais pelo controle dos poluidores não incluídos na responsabilidade da Agência Ambiental (classificação B).

Na classificação B estão inclusas algumas atividades de construção civil e são apresentados guias com condições a serem seguidas para controle e prevenção de poluição. Entre as atividades estão: utilização de amianto, produção de argamassas, atividades com cimento, extração de agregados, entre outros.

A seção 79 do EPA define que os incômodos como produção ou acúmulo de poeiras ou outros resíduos de atividades industriais, comerciais ou outros negócios que prejudiquem a saúde ou causem incômodo devem ser notificados pela autoridade local.

O BRE (2003) coloca que há poucas regulamentações britânicas que tratam da poluição por material particulado emitido por atividades de construção. As legislações específicas para material particulado na construção estão relacionadas à saúde dos trabalhadores da construção e não às populações fora do ambiente de construção.

4.8 Considerações finais

Este capítulo buscou caracterizar o material particulado sob diversos aspectos, visando um melhor entendimento dos seus efeitos poluidores.

Diversos são os efeitos nocivos causados pelo material particulado no meio ambiente e diversas são as suas fontes de emissão.

Foram avaliadas também, legislações nacionais e internacionais aplicáveis ao material particulado, indicando valores limites, incluindo particularidades do canteiro de obras.

Nos próximos capítulos, serão tratadas as emissões e controle, na indústria da construção civil, mais especificamente no canteiro de obras de edifícios, que é uma importante fonte emissora, causadora de efeitos poluidores e de incômodos diversos à população e ao meio ambiente em geral.

5 EMISSÃO E CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO NO CANTEIRO DE OBRAS DE EDIFÍCIOS

5.1 Material particulado na construção civil

As atividades de construção civil são grandes fontes potenciais de emissão de material particulado na atmosfera, em todas as fases do ciclo de vida dos seus produtos.

Nas diversas etapas do ciclo de vida de um edifício, pode ser gerada poluição por material particulado. Seja na extração (a extração de agregados em minerações é uma grande fonte de emissão), na fabricação de materiais e componentes (nas diversas fases de produção do cimento, por exemplo), no transporte, na execução das obras, na operação de edifícios, na demolição ou nos processos de destinação ou reciclagem de resíduos.

Cada uma destas etapas do ciclo de vida possui características específicas de emissão e controle. Dentro das próprias etapas, há grande variedade de formas de emissão e controle.

A fase de construção de um edifício, assim como em outros tipos de obras, apresenta uma grande variedade de atividades, bastante diferenciadas entre si. Isso faz com que, dentro de um mesmo canteiro de obras, ao longo da execução da obra, sejam criadas fontes de emissão de material particulado de características diversificadas, sob vários aspectos (concentração produzida, tamanho de partícula, composição de partícula, tempo de emissão, entre outros). Esta diversidade, também cria uma variedade de medidas de controle, adaptada a cada uma das situações.

De um edifício para o outro as características de emissão podem ser alteradas, fazendo com que cada caso seja um caso. Embora possam ser previstas regras

gerais, cada novo projeto vai necessitar de uma avaliação específica, mesmo porque as obras mudam sua localização e, conseqüentemente, podem mudar as características do meio ambiente afetado. Além disso, o tempo de execução é variável, gerando efeitos nocivos por mais ou menos tempo.

A produção de edifícios e de outros tipos de obra, portanto, se diferencia de muitas outras fontes de emissão de material particulado, como plantas industriais ou mineradoras, que seguem uma característica de emissão mais estável e com ciclo anual mais definido, fazendo com que sejam necessários estudos específicos para estas fontes (COUNTES ENVIRONMENTAL, 2004).

Este capítulo pretende, no ambiente do canteiro de obras de edifícios, localizado em áreas urbanas, identificar e analisar as características das principais fontes emissoras, dentre as diversas atividades da construção de um edifício, além de propor recomendações de prevenção e controle destas emissões.

Embora haja um limitado desenvolvimento científico no estudo da emissão e controle de material particulado na construção civil, este capítulo pretende colocar as principais informações disponíveis acerca do assunto, baseado em publicações científicas, publicações técnicas e experiência profissional do autor.

5.2 Características do material particulado emitidos na produção de edifícios

As atividades realizadas no canteiro de obras estão bastante relacionadas às emissões primárias de material particulado. Nas atividades de escavação, serragem de materiais diversos, perfuração, raspagem, movimentação de veículos em áreas não pavimentadas, produção de concretos e argamassas, limpeza, estocagem de agregados e outros materiais, demolições e muitos outros serviços que serão vistos mais à frente, são produzidas emissões diretas de material particulado na atmosfera, que se caracterizam por emissões primárias.

As emissões secundárias, nas atividades do canteiro de obras, são menos significativas, frente ao volume de emissões primárias e estão relacionadas à emissão de gases a partir da queima de combustíveis de veículos e equipamentos ou queima de madeira, por exemplo.

Quanto ao tamanho das partículas, a própria característica de formação (poucas emissões gasosas, poucos processos de queima em altas temperaturas, entre outros), e por serem, na maioria, emissões primárias, faz com que a grande maioria das emissões do canteiro de obras esteja relacionada a partículas de fração grossa.

A composição química é diversificada, frente à variedade de atividades e fontes do canteiro de obras.

5.3 Efeitos nocivos da poluição por material particulado gerada no canteiro de obras

A característica predominante de emissões primárias e de partículas de fração grossa possibilita caracterizar alguns efeitos nocivos gerados pelas emissões dos canteiros de obras. Obviamente que estes efeitos poluidores estão relacionados às concentrações geradas e às condições de dispersão meteorológicas da atmosfera.

Uma importante característica relacionada ao tamanho da partícula e seus efeitos é que, em se tratando de partículas de fração grossa, a sua velocidade de deposição é maior (maior suscetibilidade aos efeitos da gravidade), fazendo com que os efeitos sejam mais localizados, abrangendo um raio de no máximo alguns quilômetros (US EPA, 2004). Portanto, os efeitos nocivos significativos dos canteiros de obras estão limitados ao próprio canteiro de obras (danos ao funcionamento de equipamentos e máquinas, danos à saúde, à segurança e ao conforto dos trabalhadores, entre outros) e ao meio ambiente vizinho, ao contrário das emissões de fração fina, como podem viajar milhares de quilômetros. Exceção cabe a situações esporádicas, como tempestades de poeira, onde o percurso percorrido por partículas grossas pode ser bem maior.

O quadro 5-1 coloca um resumo dos efeitos nocivos potenciais da poluição por material particulado gerado a partir do canteiro de obras, baseada em BRE (2003) onde a geração de material particulado na atmosfera tende a ser menor. Maiores detalhes foram apresentados no capítulo 4.

Quadro 5-1 - Efeitos nocivos potenciais da emissão de material particulado de canteiros de obras.

Fonte: baseada em BRE (2003).

Recursos afetados	Efeitos nocivos potenciais
Pessoas	Efeitos à saúde por partículas que causam irritação nos olhos, boca, pele, cabelo e lábios ou penetram o sistema respiratório, causando problemas respiratórios ou cardíacos
	Danos aos materiais e propriedades por deposição e lavagem freqüente das superfícies
Paisagem	Perda da identidade visual por deposição de partículas
Conservação natural	Recobrimento da superfície de folhas, causando sombreamento, com conseqüente redução da fotossíntese, alteração dos níveis de pigmentação e/ou redução de produtividade
	Bloqueio dos poros estomatais limitando as funções naturais das plantas
	Alteração das propriedades químicas das folhas deixando-as suscetíveis a doenças
	Adição de nutrientes por presença das partículas causando deficiências às plantas
	Mudanças nos níveis de PH, quando as partículas possuem diferentes níveis de PH em relação ao solo (partículas de cimento, por exemplo, são altamente alcalinas)
	Poluição do solo por deposição ou carregamento de águas de chuva
	Criação de filme sobre a superfície de corpos hídricos por deposição
Ambiente aquático	Aumento de partículas suspensas ou dissolvidas alterando a ecologia aquática
Qualidade do ar	Aumento da concentração de partículas poluentes, causando deterioração da qualidade do ar

5.4 Identificação e controle das atividades geradoras de material particulado

A produção de um edifício envolve uma grande variedade de atividades que são potenciais fontes de emissão de material particulado. Para facilitar a identificação destas atividades, propôs-se separá-las em grupos que compreendem fases distintas do canteiro de obras:

- demolições;
- movimentação de terra e serviços preliminares;
- serviços de construção.

Dentro destes grupos há conjuntos de atividades que são comuns a todos eles e que possuem características particulares de emissão, por isso, além da divisão acima propõe-se mais dois grupos de classificação:

- transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos
- veículos e equipamentos de produção e transporte

A seguir, serão colocadas as principais características destes grupos, identificando as principais atividades geradoras de material particulado que os compõem, além das principais medidas de prevenção e controle encontradas na bibliografia disponível e no mercado.

5.4.1 Emissão e controle nas atividades de demolição

As atividades de demolição, geralmente, ocorrem em curto período de tempo, se comparado ao tempo de produção de grande parte dos edifícios. Porém, via de regra, a geração de material particulado nestas atividades é bastante significativa.

As partículas geradas são em grande parte de fração grossa, mas também são encontradas partículas de fração fina, provenientes principalmente da combustão de motores dos veículos e equipamentos utilizados durante a demolição.

A metodologia a ser utilizada para realizar a demolição deve ser estudada cuidadosamente, principalmente, quando o risco de afetar os vizinhos seja elevado.

Em muitos casos, demolições manuais ou ainda mecanizadas são preferíveis às demolições realizadas por explosivos, pois a geração de material particulado na atmosfera tende a ser menor, embora haja maior exposição dos operários.

A metodologia a ser empregada, relacionada aos potenciais impactos ao meio em que a obra está inserida, deve ser estudada ainda na fase de planejamento da obra. Juntamente com a metodologia, devem ser estudadas as principais medidas de controle que podem ser aplicadas. Para isso, as técnicas de demolição devem ser suficientemente, detalhadas. No capítulo 7, são colocadas algumas maneiras de se estimar os riscos potenciais de cada obra, antes do seu início, favorecendo uma melhor escolha das técnicas de demolição e controle.

Avaliar a possibilidade de reaproveitamento de materiais ou separação para reciclagem, são medidas bastante favoráveis.

O quadro 5.2 relaciona algumas fontes potenciais de geração de material particulado encontradas na etapa de demolição, relacionado-as a algumas medidas de prevenção e controle possíveis.

A atividade de demolição é bastante diversificada e vai depender do tipo de ambiente construído que está sendo demolido, para que se avalie as técnicas a serem empregadas e as medidas de controle de emissão. Entre as diversas atividades geradoras na fase de demolição podem ser destacadas: demolição com rompedores, demolição com “picões”, demolição com bolas de aço, serragem, corte com maçarico, demolição com ferramentas manuais, demolição com retro-escavadeiras, remoção de entulho com uso de pás-carregadeiras e ferramentas manuais, carregamento de caçambas e caminhões, entre outros.

Quadro 5.2 - Atividades emissoras e medidas de prevenção e controle durante atividades de demolição. Fontes: BRE (2003) e GLA (2005).

Fonte potencial	Medida de controle
Utilização de explosivos	<ul style="list-style-type: none"> • Sempre que possível esta medida deve ser evitada, buscando outras metodologias de demolição.
Emissão de partículas de atividades diversas (serragem, britagem, quebra, lixamento, entre outros)	<ul style="list-style-type: none"> • Cercar a obra ou pontos de emissão com telas de poliéster de malha fina ou outras barreiras físicas, como chapas de madeira, tecidos, entre outros, de modo a garantir que as partículas mesmo quando movimentadas pelos ventos não passem dos limites da obra (figura 5.1). • Aspergir água com mangueiras de alta vazão, ou dispositivos associados aos equipamentos, antes e durante a atividade de demolição (figura 5.2.). • Evitar atividades de demolição quando as velocidades do vento estiverem elevadas. • Manter a área umedecida após o término da demolição. Em períodos grandes, utilizar estabilizadores químicos, se houver.
Materiais biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Todo tipo de material biológico presente na edificação, que apresente riscos ao meio, deve ser removido antes do início da demolição. Deve-se evitar que o material se torne um aerossol, quando removido.
Descarga e transporte de material	<ul style="list-style-type: none"> • O lançamento de materiais em caçambas estacionárias ou caminhões deve ser feito da menor altura possível, evitando maior dispersão na atmosfera. • As caçambas e caminhões devem ser umedecidos e cobertos para evitar dispersão de partículas.
Queima de materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Só deve ser empregada em último caso. Caso possível, encaminhar os materiais para incineração.
Armazenamento de resíduos na obra	<ul style="list-style-type: none"> • Os resíduos de demolição devem ser removidos o quanto antes da obra, evitando sua exposição a ventos e chuvas. Quando não for possível, devem ser cercados, umedecidos e cobertos.
Cortes com maçarico	<ul style="list-style-type: none"> • É recomendável a utilização de exaustores localizados, conforme a intensidade de utilização.
Trânsito de veículos	<ul style="list-style-type: none"> • As rotas de veículos devem estar sempre umedecidas com água (figura 5.3) ou estabilizadores químicos biodegradáveis.

Figura 5.1. Obra de demolição protegida por andaimes fachadeiros e telas.
Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

Figura 5.2. Aspersão de água durante atividade de demolição
Fonte: não identificada

Figura 5.3. – Lançamento de água nas rotas de trânsito de veículo
Fonte: (obtido em <www.cypherltd.com> acesso em dezembro de 2006).

O *Midwest Research Institute* - MRI (2001) realizou estudos científicos que apontaram a eficiência de algumas metodologias de controle em atividades de demolição. A aspersão de água com mangueira a cada 4 horas dentro de um raio

de 30 metros durante a demolição de uma estrutura de concreto apresentou uma eficiência de 36% no controle de partículas PM_{10} . A aplicação de água sobre a área em demolição todo final de dia ou no término das atividades de demolição, apresentou eficiência de 10% no controle de PM_{10} . O ideal é que a aspersão seja contínua durante toda a atividade de demolição e remoção dos resíduos, completada por aspersão de controladores químicos¹ no final do dia. A utilização de líquidos químicos controladores (ex: emulsões poliméricas) logo após a finalização da demolição, apresentou uma eficiência de 84% no controle de partículas PM_{10} . A proibição de atividades de demolição, quando a velocidade dos ventos ultrapassava 40 km/h, apresentou uma eficiência de 98% no controle de partículas PM_{10} .

A caracterização das fontes emissoras de material particulado nas atividades de demolição, portanto, depende de alguns fatores como tipo de ambiente construído que se está demolindo, metodologia empregada na demolição, condições meteorológicas, barreiras físicas existentes no local (campos abertos são mais desfavoráveis), entre outros aspectos.

5.4.2 Emissão e controle nas atividades de movimentação de terra e serviços preliminares

Assim como no caso das atividades de demolição, as atividades de movimento de terra e serviços preliminares estão entre as maiores fontes de geração de material particulado na atmosfera. Segundo Cowherd Jr.; Kinsey e Muleski (2005) as atividades de movimentação de terra são a principal fonte de emissão de material particulado dentro da construção civil nos Estados Unidos.

Os efeitos da movimentação de terra são potencializados, especialmente, em períodos de seca e de grande quantidade de ventos. Em campos abertos, os efeitos destas emissões são ainda mais potencializados.

¹Há diversos tipos de controladores químicos que mantêm o solo ou resíduos umedecidos por mais tempo que a água. Há produtos à base de cloreto que captam umidade do ar para manter o solo ou resíduos umedecidos. Há, também, produtos à base de látex e polímeros que são misturados com água antes de serem lançados e retêm essa água por mais tempo no solo ou nos resíduos. Estes produtos são disponíveis nos Estados Unidos e Europa.

Na maioria dos casos, a movimentação de terra e serviços de preparação do terreno são realizados por equipamentos mecânicos, com capacidade para movimentar quantidades de material muito maiores do que com o uso de ferramentas manuais, fazendo com que a emissão seja elevada. As figuras 5.4 e 5.5 apresentam alguns exemplos de equipamentos realizando movimentação de terra, nas quais se observa a emissão de material particulado em grande quantidade.

Figura 5.4 – Equipamento realizando serviço de nivelamento de terreno
Fonte: não identificada.

Figura 5.5 – Carregamento de terra em caminhão
Fonte: não identificada.

As atividades de movimentação de terra estão ligadas a atividades de corte e aterro, mas também a transporte de terra, carga e descarga a partir de veículos e equipamentos. Outra fonte de geração de material particulado relacionada às atividades de movimentação de terra é o transporte de lama aderida a pneus de veículos, que é espalhada pelas vias públicas. Essa lama, depois de seca, é ressuspensa pelos ventos, constituindo em uma importante fonte de geração de aerossóis.

Cowerd Jr.; Kinsey e Muleski (2005) realizaram mais de 100 ensaios em 7 obras que envolviam movimentação de terra. Deste estudo foram obtidas algumas conclusões interessantes para o entendimento do comportamento das emissões de material particulado durante as atividades de movimentação de terra:

- Um dos ensaios analisou a emissão de partículas na simulação de escavação de uma pista de 60 metros de comprimento, 12 metros de largura e 1 metro de profundidade com *scraper* com capacidade de 11 m³ formando uma montanha de terra que depois era reespalhada. Notaram-se alguns fatos:

- Nos solos com maior quantidade de silte (14-40%) as emissões de partículas foram maiores e atingiram nas operações de carregamento, cerca de 250 µg/m³ para PM₁₀, número bastante superior ao padrão de 24 hs americano que é de 150 µg/m³. Nas operações de reespalhamento, atingiram-se índices abaixo do padrão, pois o solo com maior quantidade de silte que era uma camada superior acabou sendo misturado com solos menos siltosos das camadas inferiores, atingindo cerca de 58 µg/m³.
- Nesta mesma medição, foi avaliada a proporção PM_{2,5}/PM₁₀. Notou-se que esse número é bem maior durante as operações de carga e descarga do que nas operações de simples transporte. Isso deu-se em função de que nas operações de carga e descarga a utilização dos motores a diesel é muito mais significativa do que nas operações de transporte. Apesar do aumento da presença de partículas finas, em todas as medições houve grande predominância de partículas de fração grossa, obtendo-se números entre 70 e 90 %.

- Outro conjunto de ensaios realizado buscava medir a eficiência do uso da aspersão de água após o término dos serviços de terraplenagem. Chegou-se à conclusão que quanto maior a umidade relativa do ar, maior a eficácia do controle ao longo do tempo, em razão de existir maior controle das condições de evaporação. Quanto maior a umidade percentual da superfície do solo, maior a eficácia do controle, também.

- Outro conjunto de ensaios visou comparar as emissões de PM₁₀ durante as atividades de carregamento de terra em caminhões e descarregamento de terra por caminhões. Concluiu-se que as emissões durante o carregamento são muito superiores às que ocorreram durante a descarga (cerca de 100 vezes

maiores). Segundo os autores, isso deve-se ao fato de no carregamento a altura de descarga ser superior e estar mais sujeita às ações de vento do que no descarregamento. Vale destacar, que no ensaio o carregamento foi realizado por uma retro-escavadeira com capacidade de 0,5 m³ e o descarregamento por um caminhão com caçamba de 5 m³.

- Um outro conjunto de ensaios avaliou o carregamento de lama nos pneus de caminhão. Notou-se que em solos com umidade superior a 10% a quantidade de lama carregada aumenta muito a cada pequeno aumento de umidade. Entre 10 e 25% de umidade, a capacidade de carregamento aumenta cerca de 20 vezes. Enquanto entre 0 e 10% praticamente não varia. Portanto, o aumento da umidade percentual do solo, embora seja eficaz no controle de emissões em solos recém movimentados, pode-se tornar nocivo quanto ao carregamento de lama. É recomendado, portanto, que se proceda com a lavagem de pneus dos caminhões, antes destes acessarem as vias públicas.

O quadro 5.3 coloca algumas medidas de prevenção e controle de emissões de material particulado nas obras, durante a movimentação de terra e serviços preliminares.

Quadro 5.3 – Medidas de prevenção e controle de atividades emissoras de material particulado durante atividades de movimentação de terra e serviços preliminares.

Fonte: BRE (2003); GLA (2005) e COUNTES ENVIRONMENTAL (2004).

Fonte potencial	Medidas de prevenção e controle
Durante a movimentação de terra em geral	<ul style="list-style-type: none"> • A vegetação existente deve ser removida conforme o avanço das atividades de movimentação de terra, evitando exposição do solo. • Serviços de escavação devem ser evitados durante períodos muito secos e com ventos fortes. • A remoção de terra da obra deve ser feita, preferencialmente, logo após sua escavação/movimentação. • Sempre que possível, umedecer o solo periodicamente. • Prever barreiras físicas ao redor da obra ou das áreas de trabalho para diminuir as emissões além do limite da obra. • Caso possível, manter as áreas em escavação umedecidas e cobertas nos períodos de paralisação. • Controlar a altura de lançamento de terra nos trabalhos de carga e descarga. Esvaziar a caçamba lentamente, evitando formação de nuvens de poeira.
Término da movimentação de terra	<ul style="list-style-type: none"> • Sempre que possível, aplicar vegetação sobre o solo logo que forem finalizados os serviços de movimentação de terra. • Sempre que possível, aplicar pavimentação definitiva ou provisória sobre o solo para evitar sua exposição. • Quando não for possível nenhuma das opções acima, recomenda-se umedecer o solo periodicamente ou ainda aplicar estabilizadores químicos.
Estoques de terra	<ul style="list-style-type: none"> • Devem ser umedecidos periodicamente e cobertos com lona • Outra opção é molhar a superfície dos estoques de terra com estabilizadores químicos.
Transporte de material	<ul style="list-style-type: none"> • Os caminhões transportadores devem ser cobertos com lona ou outra barreira física. • Os pneus de caminhão devem ser lavados sempre que deixarem o canteiro. A água de lavagem deve ser adequadamente coletada para impedir danos ao meio ambiente.

Cabem algumas observações quanto às medidas de controle:

- Em alguns casos, a própria umidade do solo, mantém as condições de controle favoráveis, não necessitando de maiores cuidados.
- O controle com uso estabilizadores químicos deve ser usado em períodos de permanência maiores, devido ao seu custo frente à utilização da água.
- Umedecer o solo e não lavar os pneus dos caminhões pode gerar problemas de emissão de material particulado muito maiores, por ressuspensão.

As medidas de controle e prevenção devem ser estudadas na fase de planejamento da obra, de acordo com as metodologias executivas a serem nela empregadas.

No caso das atividades de movimentação de terra, as características de emissão podem ser bastante variadas, pois a emissão vai depender de alguns fatores como o tipo de solo que se está movimentando, o tipo de equipamento empregado, o tipo de movimentação realizada (corte, aterro, transporte, entre outros), das condições meteorológicas no ato da medição, do tamanho do terreno e volume de terra movimentado, entre outros fatores.

5.4.3 Emissão e controle nos serviços de construção

Para este trabalho, está sendo entendido como serviço de construção, aqueles referentes à execução de estrutura, vedações verticais e horizontais e acabamentos em geral. Para o estudo da emissão e controle de material particulado, neste trabalho, não se considerou como mais importante o serviço de construção propriamente dito, mas sim as atividades que o compõem e que são potenciais geradoras de material particulado. Por exemplo, as atividades de corte com serra manual de disco, são potencialmente importantes quanto à emissão de material particulado e podem ocorrer tanto na alvenaria, como nos revestimentos cerâmicos, como no embutimentos das instalações, entre outros.

O quadro 5.4 apresenta a relação entre estas potenciais atividades geradoras de material particulado e os principais serviços de construção de um edifício.

Quadro 5.4 – Atividades potencialmente geradoras de material particulado e principais serviços de construção do edifício em que ocorrem

Atividade geradora de MP	Cortes com serra de disco	Corte serra bancada	Serragem manual (serrotes)	Perfuração	Desgaste superficial	Uso de material pulverulento	Aspersão de partículas líquidas	Lançamento/projeção de material com queda e ressuspensão	Quebra de materiais pulverulentos	Queima	Uso de maçarico/soldas	Limpeza com varrição	Escavação manual
Serviço de construção													
Fôrma		♦	♦	x								♦	
Armação		♦									x	♦	
Concretagem	x			x	x	♦		♦	x			♦	
Forros e divisórias	x		♦	x	X	X						♦	
Alvenarias	♦			x		♦		♦	x			♦	
Revestimentos internos					X	♦		♦	x			♦	
Revestimentos Externos					X	♦		♦	x			♦	
Pisos argamassados						♦		♦	x			♦	
Revestimentos cerâmicos	♦			♦		♦		♦	x			♦	
Esquadrias	♦		♦	♦	♦							♦	
Pintura					♦	♦	♦					♦	
Cobertura*	♦		♦	x		x		x	x			♦	
Impermeabilização**						♦		x		♦	♦	x	
Pavimentação***	♦				x	♦		♦	x	♦		♦	♦
Paisagismo						♦							♦
Sistemas prediais****	x	x	x	♦		X		x	x	x	x	x	♦

♦ Ocorre com maior intensidade/freqüência

X Ocorre com menor intensidade/freqüência

♦ Atividades com maior potencial de emissão de MP

continua

continuação

* As coberturas de madeira com telhas cerâmicas, telhas de concreto ou pétreas são potencialmente mais nocivas quanto à emissão de MP que as coberturas metálicas.

** Os serviços de impermeabilização são bastante variados. As atividades de queima e uso de maçarico estão presentes em diversos sistemas de impermeabilização flexíveis. O manuseio de material pulverulento e mistura de agregados e aglomerantes ocorre nas impermeabilizações rígidas e nas proteções mecânicas e regularizações.

*** Os serviços de pavimentação podem ser compostos por pavimentos flexíveis onde ocorrem praticamente todas as técnicas citadas, ou por pavimentos rígidos, onde, geralmente, não ocorrem queimas.

**** O corte com serra manual ou mesmo a quebra podem ocorrer com grande frequência na execução de sistemas prediais, dependendo da técnica empregada. Exemplo: rasgos para embutir tubulações.

Vale lembrar que pode haver diferentes maneiras de se executar cada um dos serviços de construção mencionados, de tal modo que o quadro 5.4 torna-se um elemento genérico, que aponta as atividades geradoras de material particulado que podem vir a ocorrer em cada serviço. A racionalização ou a industrialização de um serviço, ou mesmo uma alternativa construtiva, podem alterar significativamente o potencial de emissão de um dado serviço, uma vez que a atividade geradora pode ser reduzida ou ainda eliminada. Fatores como condições de exposição, dimensões dos serviços de construção e condições de controle, também influenciam bastante no potencial de emissão de material particulado de cada serviço.

A condição de exposição do serviço é algo bastante relevante nas atividades de construção. Os serviços em áreas externas como serviços em fachada, estrutura, pavimentação externa, paisagismo, abertura de valas, entre outros, estão muito mais sujeitos às ações dos ventos ou carregamento por águas pluviais, o que potencializa a emissão de material particulado. No caso dos serviços em áreas internas, pode ocorrer a ação dos ventos ou a ressuspensão por limpeza, porém as chances de transferências destes materiais para atmosfera são menores do que nos trabalhos externos, embora existam e aconteçam com frequência.

A identificação das fontes geradoras de material particulado, durante a etapa de construção do edifício, torna-se muitas vezes bastante complexa, pois pode, em muitos casos, ser formada por um conjunto variado de atividades simultâneas de curta, média ou longa duração e individualmente de baixo, médio ou alto potencial

de emissão. O acúmulo de material particulado de diversas fontes de baixo e médio potencial de emissão pode se tornar uma fonte com emissões superiores aos padrões de qualidade do ar. Há, também, um conjunto de atividades que são mais facilmente identificadas como grandes fontes individuais de geração de material particulado, como pode ocorrer nas atividades de jateamento de areia, cortes contínuos com serras de disco, entre outras. Portanto a avaliação de emissões no canteiro, na maioria das vezes, deverá ser feita por avaliação de sobreposição de atividades num dado instante, visando prever a quantidade total de emissão. Muitos métodos de monitoramento, como será visto no capítulo 6, prevêem a medição de emissões nas divisas do canteiro, visando a avaliar o resultado do total de emissões de atividades sobrepostas num dado instante. De qualquer forma, como será visto a seguir, o controle de emissões só é possível pelo conhecimento das características de cada serviço, obrigando o estudo de cada um em particular.

Além dos serviços mencionados no quadro 5.4, há outros serviços específicos, que podem emitir grande quantidade de material particulado na atmosfera, como por exemplo: jateamento de areia, jateamento de concretos e argamassas, fresagem de pavimentos, lixamento de superfícies diversas, uso de fogueiras para queima de materiais² (figura 5.6), entre outros.

Figura 5.6 – Queima de resíduos em obra
Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

² As atividades de queima de madeira em obras deve ser evitada sempre que possível. Muitas madeiras recebem tratamento/pintura química para evitar o ataque de cupins, fungos e bactérias, que podem ser lançados na atmosfera durante a combustão, podendo causar sérios danos à saúde, além da emissão de material particulado natural de material da queima da madeira.

Embora não seja o foco deste trabalho, vale lembrar que muitos dos serviços citados, além de fontes poluidoras da atmosfera que podem prejudicar ou incomodar a população de maneira geral, são também potenciais causadores de doenças ocupacionais, geradas por inspiração de sílicas, amianto, entre outros, decorrentes de serragens, perfurações e outros.

Quanto a dados quantitativos das emissões de material particulado nas atividades de construção, vale destacar que não foram identificados estudos científicos realizados a respeito, e que, por enquanto, a caracterização do potencial de emissão fica mais ligada à experiência profissional, ao bom senso ou à sensibilidade do avaliador. Historicamente, nota-se que há atividades que são grandes emissoras de material particulado, e que, se suas emissões não ultrapassam os padrões de qualidade do ar, ao menos causam incômodos aos vizinhos. A tabela 5.4 buscou sinalizar, dentro de cada atividade, quais dos serviços poderiam ser mais significativos quanto à emissão, porém, sem base científica.

Diversos autores citam que as emissões nas etapas de demolição e movimento de terra são as grandes atividades poluidoras dentro da construção civil, ultrapassando, muitas vezes, os padrões de qualidade do ar. Por outro lado, é sabido que, durante a atividade de construção do edifício em si, o incômodo por sedimentação de partículas nas edificações vizinhas é bastante percebido e é motivo de reclamação de muitos vizinhos de construções de edifícios. Tal fato, independente de ultrapassar ou não padrões de qualidade do ar, já consiste num grande motivo para se preocupar com o controle das emissões.

Na seqüência são caracterizadas as emissões apresentadas no quadro 5.4 e colocadas algumas maneiras de se realizar a prevenção e o controle nas atividades de construção.

5.4.3.1 Controle e prevenção de emissões de material particulado nas atividades de construção

Devido à grande variedade de alternativas construtivas, de características de exposição, do meio ambiente atingido, de dimensões dos serviços nos edifícios, entre outros aspectos, a atividade de controle e prevenção de emissões durante os serviços de construção pode vir a ser bastante diversificada e específica para cada tipo de obra. Neste caso, o planejamento do controle de emissões antes do início da obra é fundamental. O mais indicado é que, quando detectado que o meio ambiente em que a obra está inserida é sensível ao volume potencial de poluição ou incômodo por material particulado que serão gerados, um dos critérios de escolha das tecnologias construtivas seja suas características de emissão. Como já mencionado, a simples alteração da tecnologia construtiva pode alterar significativamente a quantidade de emissão de uma atividade.

A seguir, são melhor caracterizadas as atividades geradoras de material particulado citadas no quadro 5.4, relacionadas aos serviços de construção nos quais estão inseridas, seguidos das principais ferramentas de prevenção e controle de emissão que podem ser empregadas. É dado destaque às atividades do quadro 5.4 com maior potencial de emissão de material particulado. É importante mencionar, que aspectos da segurança dos trabalhadores não estão sendo abordados por este trabalho, necessitando de estudo específico por parte de profissionais especializados.

- Cortes e perfurações

Como destacado no quadro 5.4, os trabalhos de cortes com serra em muitos serviços apresentam potencial elevado de emissão de material particulado em níveis que possam causar impactos ao meio ambiente dentro ou fora do canteiro de obras. Entre as atividades com serra que normalmente aparecem nos canteiros de obras brasileiros, estão aqueles com uso de serras elétricas de bancada, serras elétricas manuais e serrotes, sendo os dois primeiros de maior potencial de emissão. Entre as serras de bancadas encontram-se as serras circulares largamente utilizadas no corte

de fôrmas de madeira para concreto, as serras policorte utilizadas no corte de barras de aço e as serras de bancadas para corte de materiais cerâmicos, pétreos, metálicos, poliméricos, entre outros. Já as serras manuais elétricas são largamente utilizadas no corte de materiais cerâmicos, pétreos, metálicos, madeiras, abertura de rasgos em alvenaria e revestimentos, entre outros. Conforme o material a ser cortado as características da serra e da lâmina de corte variam.

Além das atividades com serras, as atividades de perfuração possuem características de emissão e controle similares. As perfurações variam bastante com a atividade de construção e podem ser feitas por furadeiras manuais ou de bancadas em alvenarias, fôrmas de madeira, componentes cerâmicos, pétreos e metálicos, concretos e argamassas, entre outros, e por serras-copo manuais ou broca tubular diamantada (figura 5.8) para madeira, aço, concreto, entre outros.

Figura 5.7 – Corte de telhas e pedra com uso de serra manual sem dispositivo de controle de emissão de partículas.

Fonte: BRE (2003).

Figura 5.8 – Perfuração de concreto com broca tubular diamantada acoplada a mangueira.
Fonte: (obtido em <www.amperf.com.br> acesso em novembro de 2006).

Há, também, corte e perfurações realizados por equipamentos de maior porte com serras a disco ou a fio diamantado, normalmente utilizados em peças estruturais ou pisos de concreto em serviços de demolição ou mesmo de construção (figura 5.9).

Figura 5.9 – Corte com serra de grande porte tipo *wall-saw*.
Fonte: (obtido em <www.amperf.com.br> acesso em novembro de 2006).

Alguns aspectos influenciam diretamente no volume de emissão por serragem ou perfuração:

- ✓ condições de exposição à ação dos ventos do local de corte/perfuração;
- ✓ quantidade de material que está sendo cortado ou perfurado;
- ✓ tipo de material que está sendo cortado ou perfurado;
- ✓ dispositivos de controle utilizados;
- ✓ tecnologia construtiva utilizada.

O quadro 5.5 apresenta algumas ações de prevenção e controle que podem ser utilizadas nos serviços de corte e perfuração.

Quadro 5.5. Medidas de controle e prevenção nos serviços de corte e perfuração.

Atividade geradora	Medidas de controle
Corte e perfuração em bancada	<ul style="list-style-type: none"> • Preferencialmente realizar o serviço em local isolado da ação de ventos • Utilizar dispositivo de coleta de pó de serragem acoplado ao equipamento (figuras 5.10 e 5.11). • Em caso de grande quantidade de emissões pode-se realizar a atividade em ambiente fechado com coifa exaustora e filtro (figura 5.10). • Fazer corte/perfuração com água (quando o equipamento e o material permitirem).
Corte com serrote	<ul style="list-style-type: none"> • Como se trata de atividade com baixo potencial de emissão, controles mínimos como realizar o corte em local protegido da ação dos ventos e dentro de caixote coletor, que permaneça fechado após o uso, já devem ser suficientes.
Serras e perfuratrizes manuais	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar coletores de pó acoplados ao equipamento (figura 5.12) ou aspirar/varrer imediatamente após a atividade ou realizar o serviço dentro de caixotes coletores ou realizar o serviço com água (figura 5.13), coletando o resíduo gerado. Realizar a atividade em local protegido da ação dos ventos.
Regras gerais	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar tecnologias construtivas industrializadas sempre que possível, evitando serviços de corte e perfuração no canteiro. • Em caso de grande volume de corte e perfuração, elaborar plano de corte e perfuração, racionalizando a atividade. Exemplo: projeto de produção para fôrmas de concreto.

Figura 5.10 – Modelo de sistema de exaustão e coleta de pó para serra circular de bancada.

Fonte: (obtido em <www.songofthegreatlake.com> acesso em dezembro de 2006).

Figura 5.11 – Saco coletor de pó acoplado a serra de bancada.

Fonte: (obtido em <www.songofthegreatlake.com> acesso em dezembro de 2006).

Figura 5.12. Serra e perfuratriz manuais acopladas a dispositivo de coleta de pó por aspiração.

Fonte: (obtido em <www.dustmuzzle.com> acesso em dezembro de 2006).

Figura 5.13 – Serra manual acoplada a mangueira de água.

Fonte: (obtido em <www.contractorstools.com> acesso em dezembro de 2006).

É importante destacar que alguns dos dispositivos de controles mencionados ainda não estão disponíveis no Brasil, a maioria deles sendo encontrada em países onde há legislações sobre emissão de material particulado.

- Uso de material pulverulento

Quanto menor o nível de industrialização de uma obra o maior o nível de utilização de materiais pulverulentos. Diversas são as atividades que podem fazer o uso de material pulverulento no canteiro de obras mas, a grande maioria, concentra-se na mistura de aglomerantes e agregados manualmente ou em betoneiras para produção de argamassas de revestimento de parede e piso, concretos estruturais ou não, argamassas de assentamento, lastros e regularizações, argamassas impermeabilizantes, entre outros. Há outras situações específicas, bem menos significativas, como pinturas a pó, vedação de divisórias e forros de gesso, isolamentos térmicos a pó, entre outros. Há também, situações em que os materiais naturalmente liberam partículas como é o caso de blocos e tijolos, agregados, cimentos e argamassas ensacadas, mas que serão objetos de análise do item 5.4.4, que avalia o transporte e armazenamento de materiais. Os serviços de movimento de solos não fazem parte deste item.

O volume de emissão de material particulado na atmosfera, a partir do uso de materiais pulverulentos, está relacionado a alguns aspectos:

- ✓ volume de material particulado manuseado;
- ✓ frequência de limpeza dos ambientes;
- ✓ tipo de limpeza realizado (varrição a seco agrava a situação)
- ✓ condição de exposição à ação dos ventos;
- ✓ nível de industrialização da obra;
- ✓ condições de controle e prevenção.

Entre as medidas de controle e prevenção que podem ser utilizadas para o controle da emissão de material particulado a partir da utilização de materiais pulverulentos estão:

- ✓ sempre que possível, evitar a produção de concreto e argamassas, em obra. Opções seriam utilizações de elementos industrializados diversos, como painéis de revestimento e vedação, estruturas pré-fabricadas, pisos elevados, entre outros ou ainda minimizar os processos de mistura no canteiro utilizando concretos usinados ou argamassas industrializadas;

- ✓ produzir concretos e argamassas em local protegido da ação de ventos e chuvas;
- ✓ de acordo com o volume de emissão, utilizar exaustão com filtros no local de preparo;
- ✓ quando o concreto ou argamassa for misturado manualmente, preferencialmente, fazê-lo dentro de caixotes, garantindo maior controle do material. Misturas diretamente sobre o piso não são recomendadas (figura 5.14). os caixotes devem possuir abas laterais capazes de proteger a mistura da ação de ventos;
- ✓ quando as misturas forem deixadas de um dia para o outro e estiverem sujeitas à ação de ventos, cobri-las com lonas;
- ✓ nos locais de armazenamento e produção, é recomendável a aspiração/varrição umedecida periódica, de modo a evitar o acúmulo de partículas e carregamento por ventos e chuvas.
- ✓ planejar a logística de distribuição de materiais no canteiro, visando diminuir o número de transportes internos dos materiais pulverulentos, evitando dispersões inconvenientes.

Figura 5.14 – Mistura de argamassa diretamente sobre piso sem qualquer medida de prevenção de emissão
Fonte: não identificada

- Desgaste superficial

O desgaste superficial está bastante relacionado à tecnologia construtiva escolhida para a produção do edifício. Além disso, pode ser uma grande fonte emissora de

material particulado nos canteiros de obras. Um serviço largamente utilizado atualmente nos edifícios, e que faz uso intenso de desgaste superficial é a pintura, através do lixamento de superfícies. Além da a pintura, podem ser citadas outras atividades:

- ✓ raspagem e polimento de pisos diversos (madeiras e pedras, por exemplo);
- ✓ tratamento de superfícies de concreto;
- ✓ regularização de superfícies de gesso;
- ✓ regularização de esquadrias e peças de madeira;
- ✓ fresagem de pavimentos existentes;
- ✓ revestimentos especiais;
- ✓ recuperação de superfícies (monumentos, fachadas, entre outros);
- ✓ entre outros.

Além da variedade de atividades que envolvem o desgaste superficial, há uma variedade de metodologias utilizadas para este desgaste, o que torna a escolha das ferramentas de controle e prevenção, muitas vezes, bastante específica. O desgaste pode ser feito, por exemplo, por lixamento manual, por lixadeiras elétricas de portes diversos a seco ou com uso de água, por jateamento de areia, por fresadoras diamantadas de portes diversos, por ferramentas manuais, entre outros.

A caracterização da emissão de material particulado a partir do desgaste superficial, em obras de edifícios, está relacionada a alguns fatores:

- ✓ volume da atividade de desgaste superficial;
- ✓ condição de exposição à ação dos ventos e chuvas;
- ✓ tecnologia construtiva utilizada;
- ✓ metodologia de desgaste superficial utilizada.

A seguir, são colocadas medidas de controle e prevenção de emissão de material particulado que podem ser utilizadas nas atividades de desgaste superficial, lembrando que, como as metodologias são bastante específicas, faz-se necessária a análise caso a caso:

- ✓ sempre que possível, evitar a realização de atividades que exijam desgaste superficial, substituindo a tecnologia construtiva;

- ✓ acoplar dispositivos de coleta de pó às ferramentas, quando for possível;
- ✓ lançar água durante o desgaste da superfície, quando for possível (pisos de madeira não possibilitam, mas muitos pisos de pedra, sim), garantindo a coleta dos resíduos gerados;
- ✓ caso não seja possível, utilizar dispositivos de controle direto, realizar varrição úmida ou aspiração (figura 5.15) com frequência, de modo a evitar o acúmulo de partículas suscetíveis à ressuspensão;
- ✓ sempre que possível, cercar a área de trabalho com barreiras físicas, como telas, lonas, tapumes, entre outros, principalmente quando não for possível utilizar dispositivos de controle direto.

Figura 5.15 – Aspirador de pó para obra.

Fonte: (obtido em <www.dustmuzzle.com> acesso em dezembro de 2006).

- Lançamento/projeção de argamassa e concretos com queda e ressuspensão

O lançamento ou projeção de argamassas e concretos ocorre com bastante frequência durante a produção dos edifícios no Brasil, tanto nas suas áreas internas como nas áreas externas.

Normalmente, as argamassas e concretos, no momento da aplicação, estão suficientemente úmidos para evitar que suas partículas sejam lançadas diretamente na atmosfera ou que, pelo menos, permaneçam por muito tempo no ar. O problema da emissão de material particulado na atmosfera por lançamento e projeção de argamassas e concretos, normalmente, ocorre quando esses materiais secam. Muitas vezes, durante o processo de aplicação, parte da argamassa ou concreto fica depositada sobre o piso, e após a sua secagem fica mais suscetível à ressuspensão, pois as partículas ficam mais leves e, muitas vezes, menos

aglomeradas. Outro fato, que também ocorre, é o desprendimento natural de partículas superficiais do concreto ou argamassa, após sua secagem, ficando suscetíveis à ressuspensão.

Como a utilização de argamassas e concretos é bastante intensa nos edifícios brasileiros, o potencial de incômodo ou poluição atmosférica deste item pode ser significativo.

Como medidas de controle e prevenção podem ser mencionadas:

- ✓ evitar a utilização de argamassas e concretos, optando por tecnologias industrializadas, embora se reconheça que seja bem difícil;
- ✓ racionalizar o processo de produção de forma a diminuir a perda de argamassas e concretos por queda (utilização de bisnagas ou meia-canais para assentamento de alvenaria – figura 5.16; mecanizar o processo de transporte e aplicação de concreto; utilizar chapisco rolado; cobrir os pisos de forma a possibilitar o reaproveitamento integral da argamassa/concreto que cai; entre outros);
- ✓ verificar periodicamente a estanqueidade dos equipamentos utilizados para transporte de concretos e argamassas;
- ✓ realizar a varrição úmida ou aspiração com frequência de modo a evitar o acúmulo de partículas. É fundamental que esta atividade seja realizada com grande frequência nas áreas externas, principalmente, nos andaimes de fachada ou sobre as lajes da estrutura, onde a suscetibilidade à ação de ventos e chuvas é elevada;
- ✓ criar barreiras físicas de modo a evitar que as argamassas e concretos sejam lançados fora de um espaço controlável (telas nos andaimes fachadeiros, tapumes, lonas, entre outros);
- ✓ planejar a atividade de modo que a queda de concreto e argamassas durante o transporte seja minimizada (mecanização; diminuição de caminhos de circulação; entre outros).

Figura 5.16 – Colocação de argamassa de assentamento com bisnaga.

Fonte: (obtido em <www.comunidadeconstrucao.com.br> acesso em dezembro de 2006).

- Aspersão de partículas líquidas

Dentro das atividades de produção dos edifícios brasileiros, a aspersão de partículas líquidas não é um serviço muito comum, ocorrendo em alguns serviços específicos. Sua importância quanto à emissão de material particulado vai depender muito do volume de serviço que a faz necessária. A aspersão de partículas líquidas pode ocorrer na pintura por compressor, em serviços de jateamento de argamassas, concretos ou outras misturas, entre outros.

Algumas atividades de controle e prevenção podem ser mencionadas:

- ✓ evitar a realização deste tipo de serviço, utilizando outras alternativas construtivas ou a produção fora do canteiro de obras;
- ✓ se possível, realizar o serviço em ambiente livre da ação dos ventos e/ ou protegido por barreiras físicas que evitem a dispersão na atmosfera ou ainda dispositivos de exaustão.

- Uso de maçaricos e soldagem

O uso de maçaricos e soldagem também envolve atividades bastante específicas e que, via de regra, não acontecem com grande frequência na produção de edifícios brasileiros, sendo na maioria dos casos, a emissão causada, pouco significativa para o meio ambiente. Preocupação maior dá-se em relação a aspectos de segurança do trabalho.

Havendo identificação de relevância quanto a incômodo ou poluição atmosférica causada, algumas ações de prevenção e controle podem ser adotadas:

- ✓ evitar a realização desta atividade, substituindo por outras alternativas construtivas;
- ✓ procurar realizar esta atividade em ambientes protegidos e/ou com sistema de exaustão e filtragem (figura 5.17), conforme a necessidade.

Figura 5.17 – Uso de coifa para coleta de partículas.
Fonte: Não identificada.

- **Queima**

Os serviços de queima devem ser evitados, sempre que possível nos canteiros de obra, pois lançam material particulado e gases, muitas vezes tóxicos, na diretamente na atmosfera. Além disso, sempre há alternativas construtivas para os processos de queima.

A queima, quando ocorre, se dá em serviços de impermeabilização, no derretimento de asfaltos, o que pode ser facilmente substituído por muitas alternativas de impermeabilização. Também ocorre em fogueiras para queima de resíduos, o que deve ser impreterivelmente proibido, pois se não causa poluição em nível suficiente, pelo menos causa incômodos. Em cidades como São Paulo, as fogueiras são proibidas. Serviços de pavimentação, em alguns casos, podem utilizar-se da queima para derretimento de asfalto, o que deve ser feito dentro de condições controladas ou ainda substituído por outro tipo de pavimento, ainda

mais no caso de edifícios em que os volumes de pavimentação não são tão grandes como em estradas ou loteamentos, onde muitas vezes o asfalto se justifica por questões de custo e de desempenho.

Quando a queima de materiais, por algum motivo, for inevitável, procurar fazê-la em incineradores públicos.

- **Escavação manual**

A escavação manual em edifícios pode ocorrer em diversos serviços, onde a utilização de mecanização não se justifica. Atividades como aberturas de valas para fundação e sistemas prediais, paisagismo e pavimentação, são as de maior utilização deste serviço.

Conforme seu volume de ocorrência, esta atividade pode se tornar bastante significativa quanto à emissão de material particulado, ainda mais por ser uma atividade, geralmente externa, suscetível à ação direta de ventos.

Entre as ações de prevenção e controle de emissão de material particulado no ambiente do canteiro de obras de edifícios, devido à escavação manual, podem ser mencionadas (baseado em BRE, 2003):

- ✓ sempre que possível e for o caso, realizar a escavação em partes, procurando manter a camada de proteção vegetal existente pelo maior tempo possível;
- ✓ sempre que possível, evitar que estes serviços sejam realizados em períodos muito secos e/ ou de ventos fortes;
- ✓ compactar a superfície ou plantar vegetação, o mais breve possível, após o término dos serviços, sempre que possível;
- ✓ umedecer os solos freqüentemente ou utilizar estabilizadores químicos, se possível;
- ✓ utilizar barreiras físicas (tapumes, telas, lonas, entre outros) no contorno das áreas de serviço, evitando ou diminuindo a ação dos ventos e chuvas (figura 5.18);
- ✓ desenvolver o planejamento físico da obra, procurando otimizar o tempo de duração desta atividade, para que tão breve, as superfícies possam ser finalizadas;

- ✓ Caso seja possível, otimizar as soluções de projeto de modo a diminuir a necessidade de escavações. Exemplo: caminhar com tubulações pela laje ao invés do piso.

Figura 5.18 – Edificação com e sem barreira física durante serviço de paisagismo.
Fonte: NSW Environmental Protection Authority (2005).

- Limpeza com varrição

A limpeza com varrição foi citada, em muitos casos, como uma medida de prevenção e controle e pode ocorrer em grande parte das atividades de construção do edifício, principalmente quando se pretende manter um canteiro limpo e organizado, o que é o objetivo de muitas empresas construtoras.

Justamente por estar intimamente ligada à coleta de material particulado e por ser um importante agente de ressuspensão, a atividade de varrição merece ser destacada.

Medidas simples são necessárias para que a atividade de varrição não deixe de ser uma atividade de prevenção e controle para se tornar um agente de poluição ou incômodo:

- ✓ evitar realizar serviços de varrição a seco, umedecendo a varrição, quando não for possível, optar pela aspiração mecânica;
- ✓ executar lavagem das superfícies ao invés de varrição quando for possível e não colocar em risco o meio ambiente. Procurar utilizar águas de reuso nesta atividade.
- ✓ realizar a limpeza com a maior frequência possível para evitar o acúmulo de partículas.

5.4.4 Transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos

Durante a construção ou demolição de um edifício, existe uma grande quantidade de movimentações internas de materiais e resíduos gerados no processo de produção. São movimentações verticais e horizontais que visam o armazenamento, o uso ou o descarte destes materiais e resíduos. Durante muitas destas operações de movimentação, se não tomados os devidos cuidados, há um grande potencial de emissão de material particulado na atmosfera, principalmente quando são transportados materiais secos, finos ou pulverulentos, que é o caso de agregados, aglomerantes, diversos tipos de resíduos, blocos e tijolos, entre outros. Estas movimentações podem ser realizadas manualmente, com o uso de ferramentas (pás, enxadadas, entre outros) ou com o uso de veículos e equipamentos de pequeno e grande porte (dutos para entulho, escavadeiras, carrinhos de mão, empilhadeiras, guinchos, gruas, guindastes, elevadores, andaimes balancins, caminhões, entre outros). As figuras 5.19 e 5.20 colocam exemplos de movimentação de material.

Figura 5.19 – Caminhão realizando descarga de areia após transporte.
Fonte: (obtido em <www.cypherltd.com> acesso em dezembro de 2006).

Figura 5.20 – Mini-escavadeira realizando transporte de areia.
Fonte: US EPA (2006).

Além das operações de movimentação, a armazenagem inadequada de certos tipos de materiais e resíduos, principalmente, secos, finos ou pulverulentos, também pode gerar emissão de material particulado na atmosfera. Estas emissões ocorrem principalmente, quando estes materiais são armazenados desprotegidos da ação dos ventos e chuvas. A figura 5.20 coloca o exemplo da armazenagem de areia sem proteção e a figura 5.21 com proteção.

Figura 5.21 – Armazenamento de areia desprotegido da ação dos ventos e chuvas.
Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

Figura 5.22 - Armazenamento de areia protegido da ação de ventos e chuvas.
Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

O quadro 5.6 traz algumas medidas de prevenção e controle que podem ser utilizadas nos canteiros de obras de edifícios para a emissão de material particulado, baseada em BRE (2003), GLA (2005) e EPD Hong Kong (2006).

Quadro 5.6. Medidas de prevenção e controle de emissão de material particulado durante o transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos

Atividade geradora	Medidas de controle
Operações de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Planejar o canteiro para que haja o mínimo de operações de transporte; • Dispor os veículos e equipamentos de transporte de elementos que evitem a dispersão de MP. Exemplo: proteger com barreiras físicas como lonas, chapas de madeira e telas, umedecer materiais, entre outros; (figura 5.22) • Em operações de descarregamento, diminuir as alturas de lançamento, evitar fazê-las sob ações de ventos fortes ou usar dutos de transporte vedados (figura 5.23) ou lançar água durante a operação, entre outros; • Realizar limpezas periódicas dos veículos e equipamentos, evitando o acúmulo de poeiras; • Realizar a verificação periódica da estanqueidade dos equipamentos de transportes, como dutos de transporte, tubos de bombeamento, caçambas, entre outros. • Treinar equipes para manusear os materiais adequadamente. • Caso possível, reutilizar resíduos para evitar transportes desnecessários; • Preferir materiais em silos transportados por dutos a materiais ensacados; • Carregamento de caminhões e caçambas deve ser feito até um limite de 15 cm abaixo do topo da caçamba.
Armazenagem	<ul style="list-style-type: none"> • Planejar o canteiro de obras de modo a manter os materiais e resíduos armazenados pelo menor período possível no canteiro; • Armazenar os materiais e resíduos protegidos da ação dos ventos e chuvas (sacarias, montes de agregados e outros, entulho, alvenarias, entre outros); • Montes de materiais e resíduos devem ser dispostos em ângulos que evitem desmoronamentos constantes; • Grandes montes de materiais e resíduos podem ser protegidos por estabilizadores químicos ou umedecidos constantemente, quando não for possível estabelecer barreiras físicas; Limitar a altura dos montes a 2,50 metros, sempre que possível. • Realizar limpezas periódicas dos locais de armazenamento; • Quando houver grande geração de mp no local de armazenamento, instalar exaustores com filtros; • Sempre que possível preferir a armazenagem de aglomerantes em silos, em vez de ensacados ou a granel; • Sempre que possível, armazenar os materiais e resíduos longe das divisas e ambientes sensíveis ao MP (cursos d'água, hospitais, escolas, residências, locais com aglomerações de pessoas e outros); • Manter equipamentos de aspiração e limpeza nos locais de armazenamento para o caso de "vazamentos" acidentais;

Figura 5.23 – Caminhão com caçamba coberta para evitar dispersão de partículas na atmosfera.

Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

Figura 5.24 – Duto de descarga de entulho protegido por tela.

Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

Uma observação importante para a redução de emissões em operações de transporte e armazenamento, mais uma vez, é a industrialização das tecnologias construtivas, utilizando, preferencialmente, métodos de montagem a métodos

moldados no local. Grande parte das emissões por transporte e armazenamento são geradas por materiais finos, granulares e pulverulentos, que são levados ao canteiro para produção de elementos *in loco*. Nas tecnologias construtivas industrializadas, via de regra, estes materiais não existem, pois já foram manuseados em fábrica. Pensando no futuro, as tecnologias industrializadas, quando no momento da demolição, serão, muitas vezes, desmontadas e não destruídas, gerando, também, menores emissões de material particulado.

5.4.5 Veículos de produção e transportes

Os veículos de produção e transporte merecem destaque quanto à emissão de material particulado. Eles, dentro do canteiro de obra, são os principais emissores de partículas de fração fina, provenientes das atividades de combustão dos seus motores. Fora tais combustões, praticamente restam muito poucas atividades no canteiro de obras de edifícios que emitem material particulado finos.

Além das emissões por combustão e as emissões nas atividades de transporte de materiais e resíduos citadas no item anterior, os veículos de produção e transporte são responsáveis por outros tipos de emissão de partículas na atmosfera provenientes principalmente da sua circulação. Entre as principais fontes estão a suspensão de partículas por movimentação dos veículos, principalmente em vias de circulação de terra ou outros materiais pulverulentos, e o carregamento de materiais aderidos aos pneus e esteiras, principalmente materiais umedecidos, que acabam sendo espalhados dentro do canteiro e nas vias públicas.

Dependendo da intensidade de circulações no canteiro de obras de edifícios os três tipos de emissões citados podem vir a ser bastante significativos seja por incômodo, seja por poluição.

Boa parte destas emissões ocorre durante os serviços de demolição e movimentação de terra, citados anteriormente, mas, dependendo do tipo de obra e

da organização do canteiro, podem ocorrer com frequência importante durante as atividades de construção.

O quadro 5.7 coloca algumas medidas que podem ser adotadas para controle e prevenção das emissões citadas. Baseada em BRE (2003) e GLA (2005).

Quadro 5.7 – Controle e prevenção de emissões provenientes de veículos de construção e transporte nos canteiros de obras de edifícios.

Adaptada de: BRE (2003) e GLA (2005).

Atividade geradora	Medidas de controle
Combustão de motores	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar inspeção visual: veículos não devem emitir fumaça preta durante suas atividades; • Realizar manutenção periódica dos veículos de modo a manter suas emissões dentro dos padrões de lei; • Veículos não devem permanecer ligados quando não estiverem trabalhando; • Preferencialmente a saída de exaustão dos veículos deve se localizar o mais alto possível e virada para cima para facilitar a dispersão; • Evitar a operação de veículos próximo a áreas sensíveis; • Sempre que possível, dar preferência a motores elétricos ou de baixa emissão de poluentes; • Diminuir ao máximo a necessidade de operações e movimentações dos veículos dentro do canteiro.
Durante a movimentação	<ul style="list-style-type: none"> • Umedecer periodicamente ou utilizar estabilizadores químicos nas vias de circulação de terra ou de outros materiais sujeitos a suspensão; • Realizar limpezas periódicas nas áreas de entrada e saída de veículos no canteiro de obras, procurando mantê-las sempre livres de partículas. É recomendável que diariamente, ou conforme necessidade, seja feita limpeza nas vias próximas ao canteiro. A limpeza pode ser feita por lavagem ou equipamentos especiais de varrição e limpeza, conforme o caso (figura 5.24); • Lavar sempre os pneus e esteiras dos veículos antes da sua saída do canteiro (figura 5.25). Em alguns casos, pode ser necessária a lavagem do veículo. Quando houver grande movimentação de veículos, planejar uma área especial destinada à lavagem para evitar aglomerações de veículos e perda de produtividade (figura 5. 26); • Sempre que possível, restringir a movimentação dos veículos a vias pavimentadas dentro do canteiro; • Planejar o canteiro de modo a evitar ao máximo a circulação de veículos no seu interior; • Limitar a velocidade dos veículos para evitar suspensão de partículas. Recomenda-se velocidades abaixo de 30km/h; • Evitar a circulação de veículos próximo a áreas sensíveis.

Figura 5.25 – Equipamento para varrição de acesso, vias de circulação do canteiro e vias públicas.

Fonte: www.myconstructionphotos.smugmug.com (2006).

Figura 5.26 – Equipamento de lavagem de pneus de caminhões instalado na saída do canteiro de obras.

Fonte: Environmental Protection Department de Hong Kong (2006).

Figura 5.27 – Área reservada à lavagem de veículos durante a obra de ampliação do aeroporto de Heathrow em Londres.
Fonte: Great London Authority (2005).

Observação importante cabe às operações de lavagem de veículos e outras operações de lavagem que se fazem necessárias no canteiro. Além de se utilizar de um recurso limitado (água), as operações de lavagem podem destinar uma série de resíduos tóxicos aos cursos d'água por via direta ou por meio das galerias de águas pluviais e esgoto. Recomenda-se que as operações de lavagem sejam feitas, preferencialmente, com águas de reuso, principalmente águas pluviais que podem ser coletadas com instalações simples no canteiro. Quanto aos resíduos contaminantes, a solução é um pouco mais complexa, alguns autores recomendam a construção de uma área específica para lavagem com drenos que captam a água direcionando-a a tratamento ou armazenamento especial para deposição em condições adequadas.

5.5 Considerações finais sobre o capítulo

Esse capítulo visou mostrar o quão complexas são as fontes de emissão de material particulado no canteiro de obras e o quão complexo é fazer-se o controle destas fontes de emissão. Visou mostrar, também, que cada obra é uma obra, por isso, não existem “regras prontas” para controle e prevenção de emissões nos canteiros de obras de edifícios. Existem, sim, recomendações que caso a caso devem ser avaliadas, para se determinar a solução mais adequada a cada canteiro.

Outro aspecto observado é a variedade de técnicas de controle, já que para um único problema, podem ser dadas diversas soluções diferentes. Algumas dessas soluções ainda não estão disponíveis no país, mas, com o aumento da preocupação com a sustentabilidade dos nossos canteiros por parte das empresas, da população, do governo e de outros agentes, isto deve ser revertido com facilidade.

Um aspecto bastante percebido ao longo do capítulo é que quanto maior o grau de industrialização da obra, menor o nível de emissões de material particulado. Diversos estudos apontam que não só as emissões de material particulado diminuem, como diminuem os resíduos de construção, os ruídos, as contaminações de solo e corpos d’água, o consumo de recursos naturais, entre outros vários aspectos, que levam a apontar que quanto mais industrializado é um canteiro mais ambientalmente amigável ele pode ser.

Vale também destacar, que o grau de risco de cada canteiro influencia diretamente na intensidade do controle a ser implementado. Quanto mais sensível for o ambiente ao redor do canteiro de obras e quanto maior forem as emissões, maior a necessidade de ferramentas de prevenção e controle.

Complementando os estudos do capítulo 5, nos próximos capítulos será discutido o monitoramento das emissões dos canteiros de obras, visando estabelecer critérios para se verificar os níveis de emissão do canteiro, avaliando se causam impactos e incômodos à população, além de verificar a eficácia das ferramentas de prevenção e controle utilizadas. Será discutido, também, como desenvolver um plano de gestão, que implante ferramentas de prevenção, e quando não suficientes ferramentas de

controle para evitar impactos ambientais e incômodos à população vizinha do canteiro de obras.

6 MONITORAMENTO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NOS CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFÍCIOS

6.1 Introdução

As ações de prevenção e controle de emissão de material particulado no canteiro de obras são fundamentais para a diminuição dos efeitos nocivos desse poluente na atmosfera. Porém, por mais que as medidas de controle e prevenção sejam previamente planejadas, a eficácia dos resultados destas ações só pode ser comprovada a partir de um monitoramento periódico em campo.

Como visto anteriormente, o monitoramento de MP_{10} é fundamental para garantir boas condições de saúde à população. Porém, além do monitoramento de MP_{10} , em alguns países como Brasil, são monitoradas as partículas totais em suspensão (PTS) que, de forma simplificada, englobam todo o material particulado que é capaz de permanecer na atmosfera por um determinado período de tempo e que segundo a CETESB, envolvem partículas com diâmetro aerodinâmico de até cerca de $100\ \mu m$. Embora não sejam relevantes quanto à saúde pública, as PTS quando em níveis de concentração elevados, podem causar diversos tipos de incômodo, como por exemplo, o acúmulo de poeiras sobre propriedades, vegetações, monumentos e outros. Este tipo de incômodo é bastante reconhecido pela população vizinha a obras de edifícios e merece destaque nas ações de monitoramento. Este monitoramento pode ser feito por coleta na atmosfera ou por medição da taxa de material sedimentado sobre as superfícies.

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais formas de se realizar os monitoramentos de MP_{10} e de PTS na atmosfera, além da determinação da taxa de sedimentação de material particulado sobre superfícies nas obras de edifícios. As formas de monitoramento indicadas correspondem à reunião de diversas práticas encontradas nas referências bibliográficas consultadas e, também, de informações coletadas junto a profissionais da CETESB, que possuem larga experiência na avaliação da qualidade do ar. É importante ressaltar que os estudos disponíveis

sobre o assunto são limitados e que entende-se que se faz necessário um maior aprofundamento científico sobre as melhores técnicas de monitoramento a serem adotadas. De qualquer modo, as técnicas apresentadas a seguir têm sido adotadas por algumas empresas em obras de edificações ou no monitoramento de emissões de material particulado semelhante ao da construção em indústrias. Um exemplo é a obra de ampliação do terminal 5 do aeroporto de Heathrow em Londres, que realizou medições periódicas de MP_{10} .

Os monitoramentos propostos visam avaliar os efeitos nocivos sobre a população vizinha às obras de edifícios e não os efeitos diretos ao trabalhador da construção civil no canteiro de obras.

Ao fim do capítulo são mencionados alguns parâmetros que vêm sendo utilizados em alguns países para o monitoramento específico de canteiros de obras.

6.2 Monitoramento de material particulado em suspensão

Segundo Almeida (1999) a amostragem de material particulado em suspensão (MPS) engloba duas fases. A primeira fase visa a coleta de partículas na atmosfera para determinação da sua concentração em unidade de massa por volume de ar. A segunda fase visa a análise física e química da amostra coletada. Para este trabalho, o interesse recai sobre a medição das concentrações, que verifica se as emissões do canteiro de obra estão dentro de parâmetros adequados. A análise física e química, dentro da questão do monitoramento do canteiro de obras, assume papel secundário.

Vários métodos podem ser utilizados para a determinação da concentração das partículas em suspensão, e sua escolha vai depender dos objetivos do monitoramento. Podem ser utilizados métodos simples que determinam a concentração de partículas totais em suspensão ou equipamentos mais sofisticados que apresentam a concentração por faixa de tamanho das partículas.

Os métodos mais comumente utilizados para determinação da concentração de partículas são aqueles que utilizam amostradores de grande volume (AGV) ou *High Volume Samplers*, também conhecidos como *Hi-vol*; amostradores de médio volume (AMV) ou *Medium Volume Samplers* e amostradores de pequeno volume ou *Low Volume Samplers*. Esses equipamentos não fornecem uma amostragem seletiva por tamanho de partícula, mas apenas informações sobre o volume de partículas coletado dentro de uma faixa única de tamanho coletado por unidade de tempo.

6.2.1 Amostrador de grande volume

A amostragem com uso de AGV é largamente aceita mundialmente. O padrão de qualidade do ar de muitos países é determinado com uso deste equipamento. Trata-se de um equipamento de baixo custo, de baixo nível de sofisticação técnica e alta durabilidade, sendo bastante indicado para monitoramento nos canteiros de obra.

O método de ensaio consiste em instalar um ou mais amostradores em posições estratégicas. O amostrador aspira certa quantidade de ar ambiente através de um filtro, geralmente de fibra de vidro ou material relativamente inerte, não higroscópico e que apresente baixa resistência à passagem do ar, dentro de um ambiente coberto, durante um período de amostragem de 24 horas. A vazão imprimida pelo amostrador (de 1,1 m³/min a 1,7 m³/min ou ~2000 m³/dia) e a geometria do abrigo (que possui orifício de entrada do ar ou porta-filtro de 25x30 cm) favorecem a coleta de partículas de até 100 µm (diâmetro aerodinâmico), dependendo da velocidade e da direção do vento. Os filtros empregados são específicos para uma eficiência mínima de 99% para partículas de 0,3 µm¹. O filtro é pesado (após equilíbrio da umidade) antes e após a coleta, a fim de se determinar o ganho líquido em massa (gravimetria). O volume de ar amostrado, corrigido para condições-padrão é

¹ Eficiência de coleta de 99% no mínimo, conforme teste de ftalato de dioctil (FDO) para partículas de 0,3 µm de diâmetro conforme norma ASTM-2986.

determinado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem. A concentração de partículas coletadas no ar ambiente é calculada dividindo-se a massa das partículas coletadas pelo volume de ar amostrado, sendo expressa em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Este método é aplicado em medições de concentração em massa de PTS de 24 horas, com níveis acima de $1\text{-}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e partículas com tamanho entre $0,3$ e $100 \mu\text{m}$. É adequado, portanto, para utilização em medições no canteiro de obras. O método, no Brasil, é regulamentado pela norma “NBR 9547 – Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume” de 1997. Especificamente para determinação de concentração de partículas MP_{10} , o método de ensaio é complementado pela “NBR 13412 – Material particulado em suspensão na atmosfera – Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas” de 1995.

A figura 6.1 apresenta o amostrador de grande volume para coleta de PTS e a figura 6.2 o amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas para coleta de MP_{10} .

Figura 6.1 – Amostrador de grande volume (AGV) para coleta de PTS.
Fonte: (obtido em <www.energetica.ind.br> acesso em novembro de 2006).

Figura 6.2 - Amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas para coleta de MP_{10} .

Fonte: (obtido em <www.energetica.ind.br> acesso em novembro de 2006).

6.2.2 Amostrador de médio volume

Nesse método a vazão de ar succionada é da ordem de $150 \text{ m}^3/\text{dia}$ e a dimensão do orifício de entrada e de coleta do filtro é de cerca de 5 cm. O limite de detecção é de cerca de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para um período de 24 horas. Usualmente, esse equipamento não é indicado para medição de concentração de PTS. Pelas suas características, não é um equipamento indicado para medição em canteiros de obras.

6.2.3 Amostradores de pequeno volume

Neste método a vazão de ar succionada é da ordem de $2 \text{ m}^3/\text{dia}$ e a dimensão do orifício de entrada e de coleta do filtro é de cerca de 5 cm. Devido ao pequeno volume de ar amostrado, o limite de detecção é muito alto (dezenas $\mu\text{g}/\text{m}^3$). O método não é indicado para medição de concentração de PTS, mas apenas para análises subseqüentes dos filtros carregados de material particulado. É comumente utilizado para medições de escurecimento e pode ser usado em alguns casos para medição de metais e aerossóis secundários (ALMEIDA, 1999). Pelas suas

características, não é um equipamento indicado para medição em canteiros de obras.

6.2.4 Outros amostradores

O método com amostrador de grande volume é bastante utilizado na determinação de concentração de material particulado no ar ambiente em áreas externas com grande geração de partículas, como é o caso dos canteiros de obras, ou mesmo no monitoramento da qualidade do ar nas cidades, sempre no período de 24 horas. Sua metodologia de medição (por gravimetria) é considerada uma das mais precisas. Há outro tipo de amostrador de grande volume, chamado de amostrador Hi-Vol gigante. É um amostrador de longo alcance, com fluxo de ar amostrado de 60.000 m³/dia, com orifício de entrada de 60 cm. É capaz de retirar amostras representativas de partículas até 60 µm, mesmo sob ventos fortes. É um equipamento para uso bastante específico já que possui grandes dimensões (sendo transportado por *trailer*), exige energia trifásica e apresenta nível de ruído elevado.

Há outros métodos utilizados na medição de concentração de partículas no ar ambiente, que podem ser aplicados no canteiro de obras, conforme o objetivo da medição. São usuais equipamentos de medição de resposta rápida (medições horárias ou menores), às vezes instantânea, utilizados quando há níveis reduzidos de massa de material particulado. Geralmente, são utilizados para medição de eventos específicos, num período de tempo curto, como a medição individualizada de um determinado serviço ou uma coleta para amostragem instantânea. Entre esses métodos podem ser citados os que utilizam os amostradores TEOM (*Tapered Element Oscillating Monitor*), os equipamentos por espalhamento de luz ou nefelometria e os monitores de atenuação de partículas beta. Esses métodos, geralmente medem concentração de partículas de até 10 µm. Em alguns casos, os equipamentos podem ser ligados a computadores possibilitando o monitoramento à distância e medições pré-programadas. Há alguns equipamentos movidos a bateria e que podem ser transportados manualmente para medições instantâneas ao longo do canteiro.

Espalhamento de luz ou nefelometria

Quando um feixe de luz atravessa um determinado volume de ar carregado de partículas, esse feixe de luz incidente é simultaneamente atenuado e espalhado por essas partículas. A determinação da concentração de material particulado dá-se pela análise do feixe de luz espalhado, sendo que a quantidade de luz espalhada depende diretamente do número e tamanho das partículas presentes no volume de ar medido.

A figura 6.3 apresenta um equipamento de amostragem por espalhamento de luz, capaz de medir partículas entre 0,1 e 10 μm , e que pode ser conectado ao computador para monitoramento à distância e ou pré-programado.

Figura 6.3 – Monitor de aerodispersóides portátil para coletas localizadas e medição por espalhamento de luz.
Fonte: Moraes (2006).

Atenuação de partículas beta

Nesta metodologia, um fluxo de ar é succionado através de um conduto no interior do equipamento, o material particulado presente neste fluxo de ar é depositado sobre um filtro de papel em forma de fita, sendo em seguida bombardeado por uma fonte de radiação beta. A atenuação dos raios beta devido à massa de particulado existente no filtro é utilizada como uma medida indireta de concentração de massa. Após certo período, a fita é deslocada automaticamente e uma nova massa de material particulada é coletada. A concentração é determinada pelo valor máximo armazenado na memória do equipamento.

TEOM

Neste amostrador, o fluxo de ar é succionado através de um filtro de teflon regulado a uma determinada freqüência de vibração. À medida que a massa de material particulado é depositada no filtro a freqüência é medida. Quanto maior a massa coletada, menor é a freqüência de vibração. A partir de uma relação entre massa e freqüência e aplicando-se uma constante de calibração do equipamento é possível determinar a massa coletada em um determinado intervalo de tempo. Ao mesmo tempo o equipamento mede a vazão de ar, possibilitando a determinação periódica das concentrações de material particulado automaticamente. A cada 10 minutos é possível obter-se uma medição. O equipamento pode ser conectado a um modem possibilitando monitoramento à distância.

A principal barreira para utilização deste equipamento é seu custo elevado.

Figura 6.4 – Amostrador TEOM.
Fonte: Universidade de Tóquio (2007).

6.2.5 Planejamento do monitoramento de material particulado em suspensão

O monitoramento de concentração de partículas, pelo uso dos diversos métodos, possui procedimentos de operação dos equipamentos amostradores bem definidos, muitas vezes até normatizados, o que garante a padronização dos resultados de medição possibilitando comparações e levantamento de históricos.

Porém, diferentemente de outras indústrias, o canteiro de obras de edifícios muda sua configuração constantemente, alterando sua condição de exposição, suas características de emissão, sua forma, entre outros aspectos, com grande frequência. Na fase de escavação, o material particulado está mais exposto aos ventos, as fontes de emissão estão no nível da rua ou abaixo dela e possuem características de emissão mais constantes, ao passo que, na fase de acabamentos, por exemplo, tem-se emissões em diversos níveis da edificação, são diversas fontes de emissão com características bem diferentes e inconstantes atuando ao mesmo tempo, alguns serviços estão mais expostos outros menos expostos à ação do ventos, em muitos casos a fase de acabamento tem duração muito maior que a fase de escavação, entre outros fatores. Tudo isso, faz com que a estratégia de monitoramento adotada na escavação possa vir a ser diferente da estratégia de monitoramento a ser adotada na fase de acabamento, por exemplo.

Outro aspecto a ser avaliado é o objetivo do monitoramento. O monitoramento pode objetivar identificar as características de emissão de uma determinada fonte, visando prever maior controle dessa emissão, pode objetivar medir as emissões num período específico ou ainda medir os efeitos nas edificações imediatamente vizinhas ou de maior distância, entre outros objetivos que possam surgir.

Devido à grande variabilidade que o canteiro apresenta, as estratégias de monitoramento devem observar alguns fatores:

- ✓ método de amostragem mais adequado;
- ✓ posicionamento adequado dos amostradores;
- ✓ quantidade de amostradores necessária;
- ✓ momento adequado da amostragem;

- ✓ meio ambiente afetado (grau de risco envolvido);
- ✓ tempo necessário para a amostragem e
- ✓ objetivo do monitoramento.

Alguns conceitos podem ajudar na definição destas estratégias de monitoramento:

Amostragem direcional

O BRE (2003) e GLA (2005) consideram a amostragem direcional como uma técnica bastante útil para avaliação das emissões críticas nas edificações vizinhas após a implantação do canteiro de obras. Consiste na utilização de dois amostradores colocados em posições opostas na linha do vento mais predominante. O primeiro amostrador fica na linha do vento predominante na divisa após o canteiro de obras e o segundo amostrador na divisa oposta, na mesma linha, antes do canteiro de obras. Esta técnica permite, de certa forma, verificar a real influência do canteiro de obras sobre a vizinhança, já que o segundo amostrador coleta amostras com baixa influência do canteiro de obras e o primeiro amostrador coleta amostras com alta influência do canteiro de obras.

Para amostras mais instantâneas a verificação pode ser feita no momento de incidência dos ventos, principalmente no primeiro amostrador.

Área de influência

O objetivo desta análise é detectar a influência do canteiro de obras em edificações específicas, num raio de até 100 metros do canteiro de obras (distância onde, normalmente, a influência do canteiro de obra ainda é mais perceptível). Normalmente, são escolhidas edificações com maior grau de risco para serem monitoradas.

A análise baseia-se em medições de concentração históricas, anteriores ao início da obra (essa análise também é chamada de determinação do *background*), para comparação com dados futuros, durante a execução da obra, analisando a real influência do canteiro sobre certas edificações.

No ato da medição histórica e no ato da medição futura, deve se analisar as principais fontes emissoras da região, as principais barreiras físicas existentes, entre outros aspectos, para que se possa avaliar possíveis desvios, como por exemplo, surgimento de novos canteiros de obras, novas vias de tráfego, demolição ou construção de barreiras físicas, entre outros, que podem distorcer bastante a real influência do canteiro de obras avaliado.

Tanto para a amostragem direcional como para avaliação da área de influência podem ser utilizados equipamentos AGV num período mínimo de 24 horas ou amostradores de resposta rápida. Para o AGV quanto maior a quantidade de dias monitorados melhor. Caso não seja possível, fazer amostras de 24 horas, em dias de maior emissão. Deve se avaliar, também, se as características de emissão do canteiro analisado são significativas em longos períodos de tempo, como ocorre nas escavações ou nas atividades de demolição.

Amostras pontuais

As amostragens pontuais podem ser utilizadas para se medir concentrações em momentos específicos ou de fontes específicas, visando principalmente verificar se as condições de controle são suficientes ou se precisam ser aplicadas ações de controle. Podem ser também, um instrumento de fiscalização, utilizados nos momentos em que outras técnicas não estão sendo realizadas ou quando se considera que as condições de controle estão adequadas. Podem ser utilizadas, também, para antecipar resultados e criar ações de controle adiantadamente. Utiliza-se de equipamentos portáteis e de medição de curto período.

6.2.6 Considerações sobre o monitoramento de materiais em suspensão

Em função das informações acima podem ser feitas algumas considerações quanto ao monitoramento de material particulado em suspensão:

- ✓ Para canteiros de obras os amostradores de grande volume são apropriados, principalmente quando se tem atividades ou fontes de emissão de maior duração.
- ✓ Os amostradores de resposta rápida são bastante úteis para fontes individuais, medições de emissões de curta duração ou amostragens esporádicas do canteiro de obras.
- ✓ A utilização conjunta dos dois tipos de amostragem (AGV e de resposta rápida) pode ser bastante eficaz no monitoramento e mesmo controle de emissões.
- ✓ Na avaliação das emissões nas edificações vizinhas, podem ser encontradas algumas dificuldades de autorização dos vizinhos para a instalação dos equipamentos de medição, principalmente no caso do AGV que deve permanecer por pelo menos 24 horas para atender aos requisitos normativos. Além disso, o AGV é um equipamento elétrico, que precisa ser mantido ligado durante toda a operação. Sua fonte de alimentação deve ser negociada com o vizinho ou feita uma rede para alimentação elétrica a partir do canteiro, o que podem ser barreiras. O motor do AGV emite certo nível de ruído, podendo incomodar a vizinhança, embora, para este caso, possam ser utilizados abafadores. Os técnicos da CETESB vivenciam com frequência esta situação e normalmente instalam os equipamentos em edificações públicas ou não-residenciais, quando possível. A hipótese de se instalar o amostrador pelo lado interno do canteiro bem próximo à divisa, também é uma opção para impacto na vizinhança imediata.
- ✓ No canteiro de obras deve haver um técnico treinado para operação e calibração dos equipamentos, além disso, como o ambiente do canteiro de obras é muitas vezes hostil, a verificação periódica de operação dos equipamentos faz-se necessária. No caso do AGV, a cada 24 horas o filtro deve ser obrigatoriamente substituído.
- ✓ A intensificação das ações de monitoramento está intimamente ligada ao meio ambiente afetado. Quanto mais sensível é o meio em que o canteiro está inserido, maior a necessidade de monitoramento. Exemplos de meios sensíveis são hospitais, escolas, locais de grande aglomeração pública, asilos, creches, zonas residenciais, vias de grande circulação de veículos que favorecem a ressuspensão, entre outros.

- ✓ Além dos fatores colocados anteriormente, as amostras do AGV necessitam obrigatoriamente de análise laboratorial, ao passo que, muitos equipamentos de amostragem rápida, fornecem os resultados automaticamente. Em canteiros de baixo grau de risco, para simplificar o processo, pode-se avaliar a dispensa do AGV.
- ✓ As condições de monitoramento variam conforme o estágio da obra, a duração de e a agressividade de cada etapa, estas condições são avaliadas no planejamento da obra e no plano de gestão de emissões (este assunto será discutido no capítulo 7).
- ✓ É recomendável que, além da medição de concentrações, seja realizada diariamente a anotação das principais atividades relevantes quanto à emissão de material particulado realizadas. Isso pode ajudar na identificação das causas de desvios de resultados entre as amostras ou mesmo caracterizar atividades mais nocivas.
- ✓ O padrão de qualidade do ar para PTS e MP_{10} estabelece monitoramento de 24 horas e média anual. Em muitos casos, o monitoramento do canteiro de obras só será possível no padrão de 24 horas, já que a medição durante o ano todo pode ser inviável.

6.3 Monitoramento da taxa de poeira sedimentável total

O monitoramento da taxa de sedimentação ou taxa de poeira sedimentável total ou *dustfall* ou *settlable particulates* em inglês, visa determinar o incômodo que uma determinada fonte de emissão causa por sedimentação de partículas nas superfícies. Esse efeito está bastante presente nos canteiros de obras de edifícios e, portanto, seu monitoramento em paralelo ao monitoramento das concentrações de partículas em suspensão faz-se bastante útil.

As técnicas de monitoramento da taxa total de poeira sedimentável variam de país para país, e com isso os parâmetros de comparação estarão sempre vinculados à

técnica utilizada. Os princípios das técnicas são muito similares, porém, os resultados podem variar.

Aqui é colocada a metodologia descrita na norma brasileira “NBR 12065 - Atmosfera – determinação da taxa de poeira sedimentável total” de 1991.

Segundo a NBR 12065 poeira sedimentável é a “poeira presente na atmosfera, suscetível à coleta por sedimentação livre, composta por partículas sólidas ou líquidas, suficientemente grandes para se depositarem no frasco coletor e bastante pequenas para atravessarem a peneira de 0,84 mm”.

A taxa de poeira sedimentável total é determinada em $t/Km^2 \times 30$ dias.

O método consiste na coleta de poeira sedimentada em frascos com dimensões aproximadas de 100 mm de boca e 200 mm de altura, ou volume compatível com o índice pluviométrico e nível de evaporação da região, preenchidos com 250 ml de água destilada ou deionizada e algum tipo de algicida, colocados em ambiente externo sobre postes ou torres de sustentação. Após a coleta que dura 30 dias, a poeira sedimentável total é determinada em laboratório por gravimetria, através da vaporização da fase líquida da solução de amostragem. A taxa de poeira sedimentável total equivale à quantidade de poeira sedimentável total precipitada em uma área de 1 km^2 , durante um período de 30 dias.

O frasco de coleta deve ser colocado num poste de 3 a 4 metros de altura livre de tal modo que a altura mínima não seja inferior a 3 metros e a altura máxima não seja superior a 15 metros em relação ao nível do solo. Quando instalado sobre construções, deve ser utilizada uma torre de 1,5 a 2 metros de altura. O suporte de sustentação deve prever uma proteção contra pouso de pássaros, possível queda de fezes, folhagens e outros resíduos indesejáveis.

A elaboração do ensaio é bastante simples, necessitando apenas de um técnico treinado para determinação da gravimetria em laboratório.

A maior barreira existente no Brasil para este ensaio é a falta de parâmetros de regulamentação oficiais para a taxa de poeira sedimentável total. Há alguns

parâmetros internacionais, mas, como as metodologias de ensaio são diferentes, eles servem apenas como um parâmetro de proporção.

A figura 6.5 apresenta um desenho do conjunto de coleta de amostras com o frasco, o poste e o a proteção contra pássaros, folhagens e outros resíduos.

Figura 6.5 – Conjunto de coleta de amostras na determinação da taxa de poeira sedimentável total.

Verificou-se que em países como Estados Unidos, Reino Unido e Austrália há métodos de determinação de taxa de poeira sedimentável total, que adotam os mesmos princípios do ensaio brasileiro.

A figura 6.6 apresenta exemplo de conjunto de - amostra de taxa de sedimentação de acordo com a norma britânica *BS 1747 part I – Methods for the measurement of air pollution – Deposit gauges and frisbee gauges*. O princípio do ensaio é o mesmo do brasileiro, sendo a taxa de poeira sedimentável total, também determinada por gravimetria, após um período de 30 dias de coleta. A diferença é que o cilindro com líquido fica na base do tripé e há um dispositivo de coleta no topo do tripé em forma de tigela que possui um filtro que retém as partículas sedimentadas. No laboratório o filtro é pesado por gravimetria, após a lavagem da tigela e do frasco com água destilada, que depois é descartada através do filtro, garantindo a coleta de eventuais partículas que tenham ficado nesses recipientes. Neste método a taxa de sedimentação é determinada em $\text{g/m}^2 \times \text{dia}$.

Figura 6.6 – Amostrador para determinação da taxa de poeira sedimentável total de acordo com a BS 1747 parte I (*frisbee gauge*).

Fonte: (obtido em <www.hanby.co.uk> acesso em janeiro de 2007).

Segundo o BRE (2003) o problema destas metodologias é que os coletores devem ser colocados em locais onde se presume que haverá grande sedimentação de partículas. Como as emissões dos canteiros de obras são muito variáveis, os resultados obtidos podem não ser fiéis aos reais incômodos causados, pois os frascos podem não ter sido posicionados em locais fortemente afetados. Uma possível solução para problema, que é bastante viável, pois os amostradores são extremamente baratos, é a colocação de frascos ao redor de toda a obra, de modo a monitorar todas as posições, embora haja um trabalho adicional de laboratório.

Outro aspecto a ser destacado é que, por ser um método cujo período de amostragem é de certa forma grande, muitas vezes o monitoramento vai relatar um fato acontecido, que muitas vezes não poderá ser corrigido, pois a atividade já terminou, fato que não ocorre em muitas indústrias, por exemplo, onde o método é muitas vezes utilizado. Além disso, por vezes o resultado obtido pode ser consequência de um evento esporádico de grande emissão, seguido por um período sem maiores emissões.

Há também um método bastante interessante, não regulado por normas, denominado *“Sticky Pad System”*. A periodicidade da amostragem, normalmente, é de uma semana, mas pode ser feita em um dia ou menos. A grande vantagem é que o método fornece a taxa de sedimentação de imediato, sem a necessidade de serviços laboratoriais. A unidade de medida não é equivalente a dos outros métodos: ela é registrada em percentual de área efetiva coberta por partículas. O método determina as mudanças em uma superfície quanto à quantidade de poeira depositada durante um período. Isto é feito através de um adesivo branco que é colocado em áreas externas durante um período determinado de tempo, recebendo poeira depositada. Um reflectômetro determina a porcentagem de área efetiva do adesivo coberta por poeira num determinado período. Uma alternativa ao método, é a utilização de uma lâmina de vidro em vez do adesivo, que depois é levada ao laboratório para determinar suas alterações na refletância. O maior problema deste método é a sua suscetibilidade às precipitações ou ventos, mas trata-se de um método bastante econômico, que pode ser realizado em diversos pontos e de análise rápida, que possibilita facilmente identificar o que pode estar ocorrendo em diversas superfícies, como a de automóveis vizinhos à obra, por exemplo. A figura 6.7 mostra o reflectômetro utilizado no *“Sticky Pad System”*.

Figura 6.7 - Reflectômetro utilizado no *“Sticky Pad System”*.
Fonte: (obtido em <www.hanby.co.uk> acesso em janeiro de 2007)

6.3.1 Planejamento do monitoramento da taxa de poeira sedimentável total

Da mesma maneira que na determinação de concentrações de material particulado em suspensão, o monitoramento da taxa de poeira sedimentável total está suscetível às oscilações do canteiro de obras.

Como já mencionado por se tratar de um método de baixo custo, é recomendado que sejam colocados diversos frascos coletores ao redor de toda a obra, para cobrir todas as possibilidades, ou pelo menos os principais pontos de risco. Recomenda-se que haja avaliação diária, registrando os principais serviços ocorridos a cada dia, para que possam se identificar possíveis atividades que possam ter elevado os resultados. O uso combinado com o *Sticky Pad System*, também pode facilitar a identificação das causas diariamente, além de possibilitar ações de controle mais imediatamente.

A amostragem é indicada para edificações imediatamente vizinhas, mas também para edificações mais distantes, para se avaliar os efeitos das partículas carregadas no ar a distâncias maiores.

A localização dos frascos deve ser estudada, pois além do uso dos postes ou torres, não deve haver barreiras físicas próximas que prejudiquem os resultados, como edifícios e árvores. Vallack (1995) recomenda que num raio de 5 metros e num ângulo de 30° ou menos em relação ao alinhamento horizontal do frasco não devam existir barreiras físicas. Além disso, o acesso para inspeção dos frascos deve ser fácil, além de estar protegido contra vandalismo.

Outro fator a se analisar no planejamento do monitoramento é o grau de risco envolvido. Se o canteiro de obra estiver inserido em meio ambiente sensível (próximo a escolas, asilos, hospitais, zonas residenciais, creches, áreas de grande aglomeração de pessoas, entre outros) maior devem ser as ações de controle e monitoramento. Porém, se o canteiro estiver inserido em uma zona de baixo risco, o monitoramento pode ser reduzido ou até eliminado.

6.4 Padrões de qualidade do ar para construção civil

Três padrões de qualidade do ar são importantes para o monitoramento das emissões de material particulado pelos canteiros de obras de edifícios:

- ✓ MP_{10} ;
- ✓ PTS;
- ✓ Taxa de poeira sedimentável total.

No Brasil são regulamentados os padrões para MP_{10} e PTS. Em outros países é comum a regulamentação para partículas MP_{10} , como mostrado no capítulo 4. Para a taxa de poeira sedimentável total não foi encontrado nenhum padrão de nível nacional regulamentado. Há apenas recomendações em alguns países ou parâmetros reguladores em alguns estados e municípios norte-americanos.

6.4.1 Padrões para MP_{10} e PTS

O capítulo 4 apresentou padrões nacionais e internacionais de qualidade do ar para partículas MP_{10} e PTS.

Para atendimento aos padrões de qualidade do ar é importante que se utilize o equipamento amostrador regulamentado pelo padrão que está sendo adotado. No Brasil, as partículas PTS e MP_{10} são monitoradas por equipamentos Amostradores de Grande Volume – AGV, no caso de PTS, e equipamentos Amostradores de Grande Volume acoplados a um separador inercial de partículas, no caso de MP_{10} . Os mesmos equipamentos utilizados no Brasil são adotados em outros padrões internacionais como o dos Estados Unidos,

Comunidade Européia e Organização Mundial da Saúde. É importante ressaltar que há alguns equipamentos, diferentes daqueles regulamentados, que apresentam fatores de conversão para equiparação com os resultados dos equipamentos regulamentados.

O padrão brasileiro, assim como em outros países, adota amostragens de 24 horas e médias anuais para PTS e MP_{10} . Para o monitoramento dos canteiros de obras, provavelmente, será mais comum a utilização das amostragens de 24 horas, até mesmo porque, somente em grandes canteiros, com grau de risco alto, é que serão implantadas amostragens constantes ao longo do ano. Em outros casos, conforme o planejamento de amostragem, deverão ser realizadas amostras nos períodos considerados relevantes.

Os equipamentos portáteis, mencionados no item 6.2.4, embora não regulamentados pelo padrão de qualidade do ar, funcionam como elementos complementares, dando maior flexibilidade ao processo de monitoramento, já que possibilitam amostras em períodos menores.

Em Hong Kong há uma legislação específica para emissão de canteiros de obras que admite dois parâmetros reguladores para MP_{10} : $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas medições de 24 horas (enquanto o padrão de qualidade do ar nacional é de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em medições de 1 hora. Essa medição de 1 hora é usada apenas como verificação para evitar reclamações. Nos Estados Unidos, em algumas localidades, é utilizado o padrão nacional de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para medição na direção favorável do vento, se este limite for excedido, deve ser realizada uma medição na direção oposta ao vento e que não deve exceder $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esses padrões são utilizados em diversas indústrias, inclusive na construção civil (GLA, 2005).

Tem-se abaixo os padrões brasileiros:

PTS – 24 horas

Padrão primário: $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - amostrador de grande volume

Padrão secundário: $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - amostrador de grande volume

PTS – Média Geométrica Anual

Padrão primário: 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - amostrador de grande volume

Padrão secundário: 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - amostrador de grande volume

MP₁₀ - 24 horas

Padrão primário: 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - separação inercial/filtração

Padrão secundário: 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - separação inercial/filtração

MP₁₀ - Média Aritmética Anual

Padrão primário: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - separação inercial/filtração

Padrão secundário: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - separação inercial/filtração

O padrão secundário, no caso dos canteiros de obras, pode ser utilizado como meta, embora, em situações bastante específicas, conforme a legislação, esse padrão possa ser obrigatório. São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Já os padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

É importante ressaltar que a medição de PTS pode ser utilizada para parametrizar o incômodo, embora não avalie diretamente a real quantidade de partículas que sedimentam sobre as superfícies.

6.4.2 Padrões para taxa de poeira sedimentável total

A aplicação de parâmetros padronizados para monitoramento de taxa de poeira sedimentável total é comprometida por dois fatores: ausência de padrões nacionais e internacionais e variabilidade dos tipos de equipamento amostradores, criando resultados diferenciados.

Abaixo são colocados índices encontrados na bibliografia consultada, alguns utilizam a mesma metodologia de amostragem brasileira, podendo ser utilizados como referência.

Padrão do Estado de Nova York (Estados Unidos)

O estado norte-americano de Nova York possui padrões de qualidade do ar para taxa de partícula sedimentável total estabelecidos na sub-parte *257-3 Air quality Standards-Particulates*, de 1977, da *Environmental and Conservation Rules and Regulations* de acordo com a Lei de conservação ambiental do estado. A lei é aplicável a qualquer emissor.

O método de amostragem é similar ao brasileiro, coletando amostras em frascos de 1 galão (3,6 litros) e com taxa medida por gravimetria.

São estabelecidos os seguintes padrões:

Durante 12 meses consecutivos, 50% dos resultados mensais não podem ultrapassar **0,60 mg/cm²/mês** (ou 6t/km²/30 dias no padrão brasileiro) em grandes centros urbanos ou áreas industriais.

Durante 12 meses consecutivos, 84% dos resultados mensais não podem ultrapassar **0,90 mg/cm²/mês** (ou 9 t/km²/30dias no padrão brasileiro) em grandes centros urbanos ou áreas industriais.

Padrão do estado da Pensylvania (Estados Unidos)

No estado norte-americano da Pensylvania há padrões para taxa de poeira sedimentável total estabelecidos pelo Programa de Qualidade do Ar do Departamento de Saúde do Condado de Allegheny. O método de amostragem é similar ao brasileiro.

Para medições mensais: 43t/milha²/mês (ou 16,6 t/km²/30dias no padrão brasileiro)

Para média anual das medições mensais: 23t/milha²/mês (ou 8,9t/km²/30dias no padrão brasileiro).

***Sticky pad system* (Reino Unido)**

Esta metodologia de coleta é bastante diferente dos métodos colocados anteriormente, inclusive em suas unidades de medida. Não é uma metodologia regulamentada por norma ou lei. Beaman e Kingsbury (1981) *apud* GLA (2005) determinam os seguintes limites com o uso do sticky pad system:

Passível de incômodo: 0,5% de área efetiva coberta do adesivo por dia (EAC – *Effective Área Coverage per Day*).

Sérios incômodos: 5% de área efetiva coberta do adesivo por dia (EAC – *Effective Área Coverage per Day*).

Frisbee Gauge (Reino Unido)

A metodologia de coleta é determinada pela norma britânica BS 1747 parte I. Os parâmetros indicados são baseados em estudos de Vallack e Shillito (1998).

Passível de incômodo: $200 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{dia}$.

Real incômodo: $260 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{dia}$.

Não foram encontrados estudos brasileiros que apresentem parâmetros para taxa de poeira sedimentável total.

Foram encontrados outros estudos que apresentavam parâmetros recomendados, que não eram muito diferentes dos valores americanos ou baseavam-se em metodologias bastante diferentes, como avaliação da perda de brilho de superfícies.

6.5 Considerações sobre influência de fatores meteorológicos no monitoramento

Os fatores meteorológicos podem ser agentes de amenização ou intensificação dos efeitos nocivos dos poluentes atmosféricos.

Da mesma forma que é recomendável que se avalie diariamente as atividades do canteiro de obras que estão em andamento para avaliação de possíveis variações nas medições, a medição de alguns fatores meteorológicos, também pode contribuir para melhor averiguação dos resultados. Com certeza as emissões num dia chuvoso ou de umidade relativa do ar elevada serão diferentes das de dias mais secos.

Os principais parâmetros que podem ser analisados para avaliação das emissões de material particulado no canteiro de obras são:

- velocidade dos ventos (os ventos são um agente de dispersão);
- precipitação (a chuva é um agente dispersor);
- umidade relativa do ar (quanto maior a umidade do ar, menor a permanência de partículas na atmosfera).

Caso estas medidas não sejam possíveis, diversas instituições fornecem dados regionais que podem ao menos dar uma referência das condições meteorológicas no local. Em São Paulo podem ser consultados a CETESB, o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Aeroespaciais), entre outras instituições. Além dos dados citados, outros parâmetros úteis das condições meteorológicas podem ser obtidos nestas instituições, como por exemplo, períodos de inversão térmica.

6.6 Considerações sobre o capítulo

O monitoramento é uma eficaz ferramenta de manutenção de condições favoráveis à prevenção da poluição atmosférica a partir do canteiro de obras, quando associado ao controle e prevenção.

Os equipamentos de monitoramento são de certa maneira simples. Com facilidade consegue-se habilitar profissionais das empresas para operar tais equipamentos. Seus custos, via de regra, não são elevados, principalmente quando se avaliam os benefícios que se pode obter com o monitoramento.

No capítulo 5, percebeu-se que alguns equipamentos ou artifícios de controle não estão disponíveis no Brasil, pois, em muitos casos, são específicos para a construção civil e ainda não têm um mercado favorável por aqui. No caso dos equipamentos de monitoramento, muitos deles são encontrados com facilidade no

mercado brasileiro, pois há tempos vêm sendo utilizados em outras indústrias e segmentos.

Maior desenvolvimento científico ainda se faz necessário no monitoramento do canteiro de obras, suas características particulares, sugerem, talvez, não novos equipamentos, mas procedimentos de medição mais específicos.

A determinação de taxa de poeira sedimentável não possui padrões nacionais, embora a amostragem já é realizada há bastante tempo em zonas industriais. São necessários estudos nacionais nos canteiros de obras para avaliação dos limites a partir dos quais há geração de incômodo às edificações vizinhas.

Apesar das barreiras colocadas ao longo do capítulo, o monitoramento mostra-se plenamente viável nos canteiros de obras brasileiros, já na atualidade. Basta que haja conscientização das empresas sobre o problema e que a partir disso, haja vontade em diminuir os efeitos poluidores dos canteiros.

O monitoramento de partículas $PM_{2,5}$ não foi o foco desse capítulo, devido a sua baixa presença nos canteiros de obras de edifícios. Em canteiros onde existir alta incidência de veículo com motores a combustão ou número elevados de queimas, o seu monitoramento deve ser avaliado. Boa parte dos equipamentos e metodologias colocadas para partículas em suspensão PM_{10} , podem ser aplicados às partículas $PM_{2,5}$.

7 GESTÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NO CANTEIRO DE OBRAS DE EDIFÍCIOS

7.1 Introdução

A garantia de que os níveis de emissão de material particulado de um canteiro de obras de edifício se mantenham dentro dos padrões de qualidade do ar pré-estabelecidos pode ser algo bastante complexo. Quanto maior for a sensibilidade das edificações vizinhas, quanto maior for o número de atividades no canteiro, quanto maiores forem as dimensões da obra, quanto maior for a duração da obra, entre outros aspectos, maior essa complexidade. A garantia de emissões controladas depende de um planejamento adequado, que identifique os riscos envolvidos, as atividades emissoras e as ferramentas de prevenção, controle e monitoramento disponíveis e aplicáveis. Além disso, depende de uma transferência adequada dessas informações às equipes de produção, de um controle contínuo da aplicação do que foi planejado e da retro-alimentação para melhoria contínua. Todos esses fatores só se tornam possíveis se existir um conjunto de procedimentos organizados que garantam que todas estas etapas - Planejamento, Execução, Controle e Retro alimentação – sejam corretamente aplicadas.

O objetivo deste capítulo é estruturar conjuntos de aspectos e diretrizes que possibilitem a elaboração de um plano de gestão da emissão de material particulado no canteiro de obras de edifícios desde a fase de concepção do edifício até a conclusão das atividades no canteiro de obras.

7.2 Plano de gestão

Para realizar a gestão da emissão de material particulado no canteiro de obras de edifícios, sugere-se que as ações iniciem-se na concepção do edifício e mantenham-se em aplicação até a fase de conclusão da obra, quando o canteiro é

desmobilizado e a edificação liberada aos usuários, finalizando-se a fase de construção e iniciando-se a fase de operação do edifício.

Para se realizar a gestão de material particulado, é necessário que sejam seguidos alguns princípios que ajudem a estruturar um “plano de gestão”. O ciclo PDCA ou ciclo de Deming é freqüentemente utilizado para estruturar sistemas de gestão. Ele sugere que um sistema de gestão esteja baseado em quatro etapas fundamentais:

- Planejamento (P - *planning*) – estabelece objetivos e metas, processos e metodologias para se obter o resultado esperado.
- Execução (D – *do*) – consiste em colocar em prática o planejado.
- Verificação/controle (C – *check*) - monitorar e avaliar periodicamente resultados, avaliar metodologias, confrontar com o inicialmente planejado.
- Ação (A – *act*) – de acordo com o encontrado nas atividades de verificação e controle, tomar ações para melhoria imediata ou de processos futuros.

A aplicação sucessiva destes quatro passos aumenta as possibilidades de que a gestão de um determinado processo ou conjunto de processos tenha sua eficiência melhorada. De qualquer modo, cada caso é um caso, portanto, em cada uma destas quatro etapas devem ser propostas medidas específicas para se atender com eficiência os objetivos do plano de ação que está sendo implementado.

O *Project Management Institute* (PMI), organização mundial especializada em gerenciamento de projetos¹, através do *Project Management Body of Knowledge* – PMBoK, estabelece duas classificações para organização de planos de gerenciamento: Grupo de processos e Áreas de conhecimento. Estas duas classificações são empregadas de forma simultânea.

A estruturação do grupo de processos é similar ao ciclo PDCA e está relacionada a uma seqüência temporal. Os processos que compõem o desenvolvimento de um dado projeto são organizados nos seguintes grupos (baseado em Mendes, 2006):

¹Projeto nesse caso consiste num empreendimento temporário, de elaboração progressiva, com o objetivo de criar um produto ou serviço único (MENDES, 2006). Gerenciar a emissão de material particulado pode ser entendido como gerenciar um projeto.

- Processos de iniciação – consistem nos processos que definem e autorizam o início do projeto ou de uma fase do projeto.
- Processos de planejamento – este grupo é composto pelos processos que planejam e mantêm um esquema de trabalho viável para se atingir os objetivos do projeto.
- Processos de execução – são processos que coordenam recursos para realizar o planejamento estabelecido.
- Processos de monitoramento e controle – são processos que visam assegurar que os objetivos do projeto estão sendo atingidos. Eles monitoram e avaliam o progresso e tomam ações corretivas.
- Processos de encerramento – são processos que formalizam a aceitação do projeto ou de uma fase do projeto, além de promover outras atividades de encerramento.

Os processos dos grupos de processos também podem ser classificados por Áreas de conhecimento. Os processos são agrupados pela afinidade de suas atividades:

- Integração – processos necessários para assegurar que os diversos elementos do projeto sejam adequadamente coordenados.
- Escopo – processos que asseguram que o projeto ou suas fases contemplem todo o trabalho requerido.
- Tempo – processos necessários para assegurar que o projeto ou suas fases ocorram dentro do prazo previsto.
- Custo – processos que asseguram o custo previsto.
- Qualidade – processos que asseguram que as necessidades que originaram o desenvolvimento do projeto sejam satisfeitas.
- Recursos humanos – processos necessários para proporcionar a melhor utilização das pessoas envolvidas.
- Comunicações – processos necessários para assegurar a geração, captura, distribuição, armazenamento e apresentação das informações do projeto, de forma adequada e no tempo certo.
- Riscos - processos que identificam, analisam e apresentam os riscos do projeto.

- Aquisição – processos necessários para aquisição de produtos e serviços externos à organização que desenvolve o projeto.

Os grupos de processo e as áreas de conhecimento podem organizar os processos de forma matricial de tal maneira que um processo obtenha as duas classificações simultaneamente. Isso significa que, dentro do grupo de planejamento, podem existir processos de tempo, custo, aquisição, riscos, recursos humanos, qualidade, entre outros, dentro do grupo de execução podem existir processos de qualidade, comunicações, recursos humanos, aquisição, entre outros, valendo o mesmo para os outros grupos e áreas de conhecimento. Esta fusão de classificações garante maior eficiência na elaboração do plano de gestão.

Complementando os princípios colocados acima e relacionando-se mais diretamente a fatores ambientais, podem ser colocados alguns aspectos mencionados na norma NBR ISO 14.001:1996 – Sistemas de gestão ambiental – especificações e diretrizes para uso. A norma, voltada para certificação ambiental de empresas, apresenta alguns aspectos relevantes para as fases de planejamento, execução, controle e correção de sistemas de gestão ambiental. Estes aspectos são colocados a seguir:

Planejamento

Devem ser considerados os seguintes aspectos:

- redução de impactos ambientais adversos significativos;
- desenvolvimento de procedimentos para avaliação de desempenho ambiental e indicadores associados;
- concepção de produtos de modo a minimizar seus impactos ambientais nas fases de produção, uso e disposição;
- prevenção da poluição
- redução de resíduos
- redução do consumo de recursos
- comprometimento com a recuperação e reciclagem, ao invés de disposição;
- educação e treinamento;
- compartilhamento de experiências na área ambiental;
- envolvimento das partes interessadas e comunicação entre elas;

- encorajamento o uso de sistemas de gestão ambiental por fornecedores e prestadores de serviço.

Implementação e operação

- a estrutura e responsabilidades devem ser definidas, devendo ser nomeado um representante da administração;
- devem ser identificadas necessidades de treinamento;
- devem ser estabelecidos procedimentos de comunicação interna e externa;
- os procedimentos devem ser documentados e seus critérios estipulados, devendo ser estabelecidos procedimentos para os aspectos ambientais significativos, identificáveis de bens e serviços da organização;
- os procedimentos devem ser obrigatoriamente informados a fornecedores e prestadores de serviço;
- devem ser estabelecidos procedimentos para identificar o potencial e atender acidentes e situações de emergência, bem como prevenir impactos ambientais.

Verificação e ação corretiva

- devem ser estabelecidos procedimentos para monitoramento e medição periódica das operações e atividades das empresas, incluindo avaliação periódica do atendimento à legislação e regulamentos ambientais pertinentes;
- os registros de monitoramento e medição, bem como as calibrações dos equipamentos de monitoramento utilizados, devem ser mantidos e controlados;
- devem ser estabelecidas responsabilidades e autoridades para investigar as não-conformidades;
- devem ser estabelecidos procedimentos que garantam que as ações corretivas e preventivas sejam iniciadas e concluídas e que sejam apropriadas à magnitude dos problemas e proporcionais ao impacto ambiental verificado.

Baseado nos princípios colocados acima e nos capítulos anteriores, a seguir é proposta uma tabela que determina etapas e principais aspectos que devem ser

levados em consideração para que se elabore um plano de gestão de emissões de material particulado no canteiro de obras de edifícios (Quadro 7.1).

Quadro 7.1. – Estruturação do plano de gestão de emissões de material particulado

PLANEJAMENTO
Iniciação da fase de planejamento
Avaliação de grau de risco e estimativa de emissões
Verificação de aspectos legais
Apoio à concepção de projetos e planejamento de execução
Identificação das atividades emissoras de MP
Elaboração dos procedimentos de controle
Plano de monitoramento
Avaliação de custos
Definição de responsabilidades
Plano de comunicação
Requisitos para contratações
Encerramento da etapa de planejamento
IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO
Integração – iniciação execução
Definição de responsabilidades
Contratações
Treinamentos internos e externos
Comunicações internas e com vizinhança
VERIFICAÇÃO E AÇÃO CORRETIVA
Verificação do grau de risco
Verificação das atividades geradoras correntes
Verificação dos procedimentos de monitoramento
Verificação da eficácia das atividades de prevenção, controle e monitoramento
Verificação dos equipamentos de monitoramento
Verificação de treinamentos e planos de comunicação
Planos de ações corretivas e emergências
Encerramento – término da execução

Como já mencionado por diversas vezes ao longo deste trabalho, cada canteiro de obras é único, necessitando, portanto, de uma avaliação específica a cada novo

empreendimento. O quadro 7.1. sugere os principais aspectos que devem ser avaliados desde a concepção até a conclusão da obra, para que se consiga manter níveis aceitáveis de emissão de material particulado nos canteiros de obras. A forma como cada aspecto será tratado é definida pela organização responsável pela elaboração e aplicação do plano de gestão, levando-se em consideração as características da obra e do seu entorno, mas também a sua cultura empresarial. A seguir, os aspectos do quadro 7.1 são comentados e são colocados fatores que se consideram relevantes no momento da elaboração deste plano de gestão.

7.2.1 Planejamento

A etapa de planejamento, para este trabalho, contempla todas as atividades que vão desde a concepção do edifício até o início da execução da obra.

Entende-se que a vontade de se ter um plano de gestão para controle de emissão de material particulado a partir do canteiro, bem como de gestão de outros tipos de aspectos ambientais, parte dos empreendedores que concebem o produto. Sem o apoio dos empreendedores, muitos dos aspectos que poderiam ser implantados nas fases de projetos ou de execução podem ficar comprometidos.

Em muitos casos, a poluição por material particulado, será apenas mais um tipo de poluição que estará sendo tratado, de tal forma, que muitos tópicos citados a seguir, serão tratados na obra em conjunto com a gestão de outros aspectos ambientais.

7.2.1.1 Iniciação

A iniciação compreende visa oficializar o início do plano de gestão na fase de planejamento e estruturar os recursos para o andamento desta etapa. Nesta etapa são importantes:

- ✓ determinar um gestor para a etapa de planejamento;
- ✓ caso se julgue necessário, contratar especialistas para apoiar decisões específicas acerca das emissões de material particulado no canteiro de obras;
- ✓ determinar todas as etapas, responsabilidades, plano de comunicação e documentos que deverão ser gerados ao longo da fase de planejamento. estes itens podem ser definidos em uma lista de checagem que é verificada ao longo do processo.
- ✓ condições de contratação de profissionais e recursos necessários para elaborar o este planejamento;
- ✓ definir treinamentos necessários e treinar a equipe de projeto, planejadores, construtores e demais envolvidos no planejamento da obra acerca dos conceitos de poluição atmosférica, material particulado, efeitos nocivos e formas de prevenção e controle.

O gestor para a etapa de planejamento deve apresentar conhecimento adequado sobre emissões de material particulado, ou estar apoiado por profissional conhecedor. Muito provavelmente, o gestor será um profissional relacionado a impactos ambientais diversos da construção, inclusive poluição por material particulado.

7.2.1.2 Avaliação do grau de risco e estimativa de emissões

A avaliação do grau de risco que o canteiro de obras levará ao meio ambiente em que está inserido é um dos principais aspectos a ser avaliado na etapa de planejamento. O risco deve ser avaliado, preferencialmente, antes do desenvolvimento dos projetos executivos, preferencialmente, logo após da concepção do projeto arquitetônico, possibilitando que o gestor responsável, projetistas, planejadores, construtores, especialistas e demais envolvidos, participem desta avaliação e apresentem soluções antecipadas para amenizar os riscos.

Dois aspectos devem ser obrigatoriamente focados na análise de riscos: características da região onde o canteiro de obras será inserido e atividades de

construção do canteiro que apresentem potencial para poluição da atmosfera local ou que possam dificultar o controle de emissões.

Sugere-se que a avaliação da região seja feita sempre primeiro que a avaliação das atividades de construção, pois as características da região são muito mais difíceis de serem alteradas do que as características de construção, podendo ser dada abordagem diferente na avaliação das atividades de construção.

Entre as características da região, devem ser avaliadas:

- ✓ proximidade do canteiro em relação a receptores sensíveis: escolas, creches, hospitais, áreas residenciais, centros comerciais, áreas com grande aglomeração de pessoas, entre outros;
- ✓ proximidade a propriedades: estacionamentos de veículos, monumentos, espaços públicos e edificações diversas;
- ✓ proximidade a meios naturais: cursos de água, florestas, entre outros;
- ✓ características meteorológicas da região durante a execução da obra;
- ✓ proximidade a vias com intensa circulação de veículos que possam ressuspender as partículas;
- ✓ proximidade a outros canteiros de obras que possam potencializar os efeitos poluidores da obra.

Quanto maior a proximidade do canteiro aos elementos citados acima, maior o risco. A zona de maior risco compreende, geralmente, todos os elementos que se encontram dentro de uma zona definida por uma faixa de 50 metros de largura que circunda todo o canteiro de obras.

Havendo detectado risco elevado por proximidade, gera-se maior conscientização para as ações a serem adotadas no estudo dos riscos das atividades de construção.

A avaliação das características das atividades de construção que inicialmente estão previstas é de fundamental importância, uma vez que, neste momento, pode ser amenizada uma série de efeitos nocivos ao meio ambiente, pela simples substituição, diminuição ou melhor posicionamento de certas atividades no canteiro de obras. Esta avaliação não deve ser superficial, dada a sua importância para todo o desenvolvimento da execução.

Para facilitar a identificação destas atividades, sugere-se, antes do início da avaliação de riscos, a elaboração de uma lista padrão de potenciais atividades emissoras que podem estar presentes durante cada etapa de execução da obra, passando por atividades de demolição, movimentação de terra e construção do edifício. Uma vez iniciada a avaliação, para cada atividade potencial, assinalam-se aquelas que efetivamente possam apresentar níveis de emissão elevados ou dificuldades de controle, para que então se possam discutir as possíveis soluções relativas à fase de planejamento para amenizar ou eliminar o risco. As soluções propostas servirão de diretriz para a fase de concepção de projeto e planejamento de execução.

A duração das atividades e o período do ano em que serão realizadas, também devem ser considerados na análise. Uma escavação realizada no verão é menos nociva à atmosfera que uma escavação realizada no inverno, quando a escassez de chuvas é a maior e a umidade do ar é menor.

Obviamente, que a escolha de uma atividade construtiva, não está vinculada somente ao seu efeito nocivo ao meio ambiente. Muitas das atividades poderão ser identificadas como nocivas, mas mesmo assim não serão substituídas, necessitando de ações de controle de emissão a serem definidas nas etapas seguintes.

Sugere-se que, quando a obra for realizada por fases, a avaliação de riscos seja elaborada por fases, também, pois seus riscos potenciais podem variar.

Como regra geral, sabe-se que quanto maior a obra e maior a sensibilidade do meio, maiores os seus riscos potenciais. A GLA (2005) apresenta uma classificação de risco por tamanho e tipologia da obra, associada às características do entorno e atividades de construção a realizar no canteiro de obras. Obras comerciais, residenciais ou de uso misto com áreas acima de 1000 m² já são consideradas de risco.

A elaboração de uma metodologia de análise de riscos baseada em pesos numéricos pode facilitar bastante a execução desta etapa. No anexo A é apresentada uma metodologia de análise de riscos estabelecida pela prefeitura de Londres (ainda em fase de aprovação) que estabelece pesos a características do

entorno, características do desenvolvimento da obra e atividades de construção, classificando o canteiro de obras, a partir da soma dos pesos, em de baixo, médio ou de alto risco. A metodologia serve apenas como exemplo, pois as características meteorológicas e construtivas variam muito de um país para o outro.

Como elemento final desta etapa, sugere-se que seja elaborado um documento que identifique:

- ✓ os receptores por grau de sensibilidade;
- ✓ memorial descritivo básico das atividades de construção que permaneceram após a análise de risco e análise de viabilidade de substituição;
- ✓ ressalvas para atividades específicas;
- ✓ ressalvas quanto às condições meteorológicas e melhores períodos para execução de determinadas atividades;
- ✓ identificação das atividades de construção críticas e que precisarão de controle intensificado;
- ✓ identificação dos vizinhos que deverão ser tratados com maior cuidado;
- ✓ conclusões com considerações sobre o grau de risco encontrado.

Paralelamente à avaliação de grau de riscos, alguns autores propõem alguns índices para estimativa de emissões do canteiro. Os índices são bastante questionados porque alguns não consideram questões como variabilidade dos canteiros de obras e barreiras físicas, variabilidade do tipo de solos, das atividades construtivas de uma região para outra, das condições climáticas, do tipo de obra, entre outros aspectos.

Exemplos de índices encontrados na bibliografia para emissão de PM_{10}

- apenas com a área do terreno: $0,11 \text{ toneladas/acre/mês}$. Considera apenas o movimento de terra. (MRI, 1999).
- com a área do terreno mais o volume de terra escavado: $0,011 \text{ toneladas/acre/mês} + 0,059 \text{ toneladas/1000 jardas cúbicas de corte ou aterro no terreno}$. Considera apenas o movimento de terra. (MRI, 1999).
- conhecidas a área de solo movimentada por residência, a metragem de residência unifamiliar de um pavimento, a duração da obra e a profundidade de escavação para radier: $0,032 \text{ toneladas} \times \text{área de solo movimentada pela}$

residência (acre) x duração da obra (mês)+ 0,059/1000 jardas cúbicas de corte para radier (área da casa x profundidade do radier).

7.2.1.3 Verificação de aspectos legais

De nada adianta estruturar um plano de gestão para controlar emissões de material particulado se os procedimentos e resultados não atenderem a exigências legais ou normativas. A verificação de exigências federais, estaduais e municipais deve fazer parte da estruturação do planejamento.

No Brasil não existem legislações específicas para emissões de material particulado a partir do canteiro de obras. No momento, existem apenas os padrões de qualidade do ar nacionais e estaduais e normas técnicas, conforme colocado nos capítulos 4 e 6.

7.2.1.4 Apoio à concepção de projetos e planejamento da execução

Durante a concepção do projeto e planejamento da produção de um empreendimento, diversas diretrizes devem ser atendidas. São diretrizes normativas, diretrizes de mercado, diretrizes legais, diretrizes dos usuários, diretrizes do empreendedor, diretrizes do construtor, entre outros. Essas diretrizes são definidas em conjunto com os responsáveis pela coordenação do projeto e do planejamento, após um consenso entre os diversos interesses envolvidos. O controle de emissão de material particulado pode ser mais uma diretriz, que estará associada a conceitos, que podem decorrer da equipe envolvida no empreendimento, de aspectos legais ou de especialistas contratados. Havendo um gestor responsável pelo controle da emissão de material particulado, esse profissional será responsável por transmitir e avaliar essas diretrizes durante todo o processo.

Quanto maior o envolvimento da equipe de projetistas e planejadores nas decisões da análise de risco das atividades de construção realizada anteriormente, maior a

conscientização acerca das diretrizes. As diretrizes podem, inclusive, surgir a partir das conclusões da análise de riscos, que vão informar quais as atividades de construção devem ser evitadas, diminuídas ou afastadas de receptores sensíveis.

Quanto maior o risco identificado, ou seja, quanto maior a proximidade a receptores sensíveis e quanto maior o potencial de emissão das atividades do canteiro identificadas, maior deve ser o cuidado com as decisões nessa etapa.

Como regra geral, quanto menor o volume de demolição e movimentação de terra, maior o grau de industrialização dos processos construtivos empregados e melhor o planejamento do canteiro de obras, menor o nível de emissão potencial do canteiro de obras. Para se obter tais objetivos, a maior parte das decisões está na concepção dos projetos e no planejamento, portanto é uma etapa de grande relevância.

As ações que não se conseguir estabelecer nesta etapa para prevenir as emissões de material particulado, ficarão obrigatoriamente condicionadas a ações de controle durante a execução ou futuros re-planejamentos.

É importante mencionar, que quanto maior a qualidade e manutenção das informações geradas nesta fase, melhor serão os resultados futuros.

A seguir são citados alguns exemplos de ações de prevenção que poderiam ser tomadas na etapa de concepção dos projetos e planejamento da produção:

- ✓ diminuição do volume de demolição. Exemplo: aproveitamento de edificações existentes ou parte delas;
- ✓ diminuição da movimentação de terra. Exemplo: diminuição do número de subsolos; criação de garagens acima do nível do solo; preservação de áreas verdes existentes; adaptação ao relevo existente; criar redes aéreas em substituição a redes subterrâneas; entre outros.
- ✓ elaborar projeto do canteiro de obras. Exemplo: diminuir as atividades de transporte, evitando a circulação de veículos, ou suscetibilidade dos materiais à atmosfera; diminuir a estocagem de materiais em montes (agregados); utilizar silos; prever vias de circulação pavimentadas; não localizar atividades emissoras de MP junto a receptores sensíveis ou em áreas sujeitas à ação de ventos, chuvas e dispersão na atmosfera; entre outros;

- ✓ estudo das tecnologias construtivas, favorecendo tecnologias industrializadas ou ao menos racionalizadas, evitando-se ao máximo a produção de elementos no canteiro de obras ou, quando estes acontecerem, com a maior racionalização possível, diminuindo perdas e emissões desnecessárias.

7.2.1.5 Identificação das atividades emissoras de material particulado e procedimentos de controle

Uma vez que a etapa de concepção de projetos e planejamento foi concluída, tem-se uma visão bastante clara de como será executada a obra, possibilitando, a identificação de todas as atividades emissoras de material particulado que farão parte do canteiro de obras e, por consequência, poderão ser determinados procedimentos de controle para estas atividades.

Para facilitar a identificação das atividades emissoras, diversos autores sugerem a utilização de planilhas de checagem, onde estão apresentadas todas as possíveis atividades emissoras por fase da obra. Na mesma planilha é indicada a relevância potencial da atividade quanto à emissão e sua duração, bem como a descrição dos métodos de controle correspondentes e identificação dos responsáveis por este controle.

O nível do controle a ser adotado para cada atividade identificada está bastante relacionado ao grau de risco identificado inicialmente e à relevância da atividade quanto à emissão de material particulado. O tipo e a intensidade de controle devem ser avaliados caso a caso, não existindo regras fixas, mas devem ser adequados para se manter níveis de emissão aceitáveis. Em muitos casos, a eficácia dos controles somente será comprovada com o monitoramento, verificando-se se o método de controle está adequado ou deve ser intensificado, substituído ou mesmo amenizado.

Dada a importância e, em alguns casos, a complexidade dos métodos de controle, sugere-se que seja elaborado um manual de procedimentos de controle que contemple os seguintes itens:

- ✓ tipo de controle a ser adotado;
- ✓ definição de responsabilidades;
- ✓ procedimentos de execução do controle;
- ✓ desenhos ilustrativos ou indicativos, conforme o controle a ser adotado.
Exemplo: planta com locação de barreiras físicas; planta com localização de reservatórios de água para controle de emissões; entre outros.
- ✓ frequência do controle;
- ✓ recursos necessários: pessoas, materiais, ferramentas e equipamentos;
- ✓ tolerâncias, quando for o caso;
- ✓ metodologia de manutenção dos equipamentos de controle, quando for o caso;
- ✓ plano de treinamento de equipes internas e equipes de terceiros;
- ✓ condições de contratação dos diversos terceiros envolvidos no fornecimento de serviços, materiais e equipamentos.
- ✓ procedimentos de verificação da implantação do controle;

Além da identificação das atividades emissoras, faz-se necessária a identificação da sobreposição de atividades emissoras ao longo do tempo. Essa informação é obtida pelo cruzamento das informações do cronograma físico da obra com a planilha de identificação de atividades emissoras. Esse ponto é fundamental para a identificação dos períodos mais críticos da obra por sobreposição de atividades emissoras e, por consequência, aqueles períodos onde as ações de controle e monitoramento devem ser intensificadas. Obviamente que, em muitos casos, mesmo sem que haja sobreposição de atividades críticas, uma única atividade pode ter potencial elevado de emissões, necessitando de intensificação de controle e monitoramento. Sugere-se que seja elaborada uma programação física periódica de atividades emissoras, indicando sua relevância, bem como indicando os períodos mais críticos da obra. Para facilitar a vinculação com o cronograma físico, essa programação pode ser dividida conforme as fases de desenvolvimento da obra.

O quadro 7.2 apresenta um modelo de planilha de checagem para identificação de atividades emissoras e medidas de controle. No quadro sugere-se que a coluna de medida de controle seja preenchida por códigos referente aos controles apresentados no manual de procedimentos de controle, já que, muitas vezes, a descrição de um método de controle pode ser complexa, necessitando de plantas, desenhos esquemáticos e outros procedimentos. Exemplo: C1 – instalação de coifa em serra de bancada (descrição no manual). O quadro apresenta uma planilha parcial, apenas com algumas subfases. No apêndice A é apresentada uma planilha completa que engloba as fases de demolição, movimento de terra e construção. A planilha foi montada com base nas informações do capítulo 5.

O quadro 7.3 apresenta modelo de programação mensal de atividades emissoras.

Quadro 7.2 – Modelo de planilha de checagem para identificação de atividades emissoras e medidas de controle.

Atividade Emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	Duração da atividade	Medida de controle	Responsável pelo controle
Fase: Demolição				
Demolição mecanizada				
Carga de material				
Descarga de material				
Saída de caminhões do canteiro				
Transporte de material				
Trânsito de veículos sobre solo				
Armanejamento de resíduos				
Manuseio de material biológico				
Queima de material				
Serragem manual				
Britagem				
Lixamento				
Quebra manual				
Utilização de explosivos				
Cortes com maçarico				
Fase: Movimento de Terra				
Escavação mecanizada				
Escavação manual				
Carga de material				
Descarga de material				
Trânsito de veículos sobre solo				
Transporte de terra				
Saída de caminhões do canteiro				
Estocagem de terra				
Exposição de solo solto				
Fase: Construção				
Subfase: Fundação				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Uso de maçarico e soldagem				
Queima de materiais				
Escavação manual				
Escavação mecanizada				
Limpeza com varrição				
Carga de material pulverulento				
Descarga de material pulverulento				
Trânsito de veículos sobre solo				
Estocagem de material				
Motores a combustão				
continua				

Quadro 7.3 – Exemplo de programação mensal de atividades emissoras.

PROGRAMAÇÃO MENSAL DE ATIVIDADES EMISSORAS						
Atividade emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	verão			outono	
		jan	fev	mar	abr	mai
Fase: Demolição						
Demolição mecanizada	at	x				
Carga de material	at	x				
Saída de caminhões do canteiro	at	x				
Transporte de material	at	x				
Trânsito de veículos sobre solo	at	x				
Estocagem de entulho	md	x				
Motores a combustão	at	x				
Fase: Movimento de terra						
Escavação mecanizada	at	x	x	x		
Carga e descarga de material	at	x	x	x		
Trânsito de veículos sobre solo	at	x	x	x		
Transporte de terra	at	x	x	x		
Saída de caminhões do canteiro	at	x	x	x		
Estocagem de terra	md	x	x	x		
Motores a combustão	at	x	x	x		
Fase: Construção						
Subfase:Fundação						
Escavação mecanizada	at			x		
Escavação manual	md			x		
Manuseio de material pulverulento	md				x	x
Estocagem de terra	md			x	x	
Quebras de materiais pulverulentos	md					x
Cortes com serra de bancada	md				x	x
Solo exposto	at			x	x	x
Carga e descarga de material	md			x		
Trânsito de veículos sobre solo	at			x	x	x
Transporte de terra	md			x		
Saída de caminhões do canteiro	at			x	x	x
Motores a combustão	md				x	
Relevância do mês		at	at	at	md	md

Ao fim dessa etapa, com métodos de controle e responsáveis pelo controle determinados e distribuídos ao longo do tempo, recomenda-se a avaliação de custos dos métodos estabelecidos. O levantamento de custo pode ser realizado pela equipe de orçamento da obra apoiada pelo gestor ambiental. Em razão dos valores obtidos, pode ser solicitada a revisão dos métodos de controle, sendo importante o consentimento do gestor ambiental acerca do desempenho de novas ações de controle propostas.

7.2.1.6 Plano de monitoramento

Conhecidos o grau de risco, o entorno da obra, as características do canteiro de obras, o planejamento da obra, as atividades de construção emissoras e os métodos de controle que serão utilizados, torna-se possível elaborar o plano de monitoramento de emissões de material particulado do canteiro de obras.

A elaboração do plano de monitoramento passa pelos seguintes passos (tipos e características de monitoramento foram apresentados no capítulo 6):

- 1) verificação dos equipamentos amostradores disponíveis e empresas para realização de ensaios;
- 2) verificação do grau de risco do canteiro de obras;
- 3) verificação dos receptores vizinhos mais sensíveis para definição das posições principais dos amostradores;
- 4) definição das posições secundárias de amostradores e avaliação de *background*²; análise da viabilidade de instalação dos equipamentos disponíveis nos pontos escolhidos (ligação elétrica, interferências físicas, desconforto por ruídos, entre outros);
- 5) substituição de tipos de equipamentos ou posição, caso apareçam dificuldades técnicas nos passos anteriores;
- 6) análise da programação periódica de atividades emissoras, para elaboração de programação periódica de equipamentos e equipes de monitoramento. Esta etapa visa otimizar a instalação de equipamentos e equipe. Em períodos de baixa emissão, a quantidade ou tipo de amostradores podem ser alterados. É levada consideração, também, o tempo de amostragem necessário de cada método escolhido;
- 7) avaliar etapas em que se fazem necessárias apenas amostragens

²*Background* é um termo normalmente utilizado na avaliação de qualidade do ar para avaliação de histórico de concentrações do ar na região para comparação posterior com dados a partir da implantação da nova fonte emissora (canteiro de obras, neste caso). Quando não existirem dados históricos, deverão ser posicionados equipamentos na direção dos ventos predominantes em posição anterior e posterior ao canteiro de obras, para se ter dados de emissões sem o canteiro e depois com a influenciado canteiro.

- 8) pontuais; (etapas em que ocorrem apenas eventos esporádicos com emissões expressivas e que não precisam ser avaliadas continuamente. Exemplo.: monitorar a emissão de uma serra);
- 9) elaboração do plano de monitoramento

Sugere-se que o plano de monitoramento seja composto das seguintes informações:

- ✓ histograma de utilização dos equipamentos e de equipe, indicando quantidade e tipo de amostrador e profissional por período da obra;
- ✓ plantas de locação dos equipamentos, divididas por períodos determinados no histograma;
- ✓ programação de amostragens pontuais e procedimentos de medição;
- ✓ autorizações de vizinhos para instalação dos equipamentos;
- ✓ procedimentos de operação dos equipamentos;
- ✓ procedimentos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos;
- ✓ padrões de qualidade do ar a serem seguidos;
- ✓ dados de contato de fabricantes, laboratórios e demais empresas envolvidas;
- ✓ definições de responsabilidades;
- ✓ plano de treinamento das equipes envolvidas;
- ✓ condições de contratação de terceiros envolvidos no monitoramento;
- ✓ procedimentos de verificação da implantação do monitoramento.

Ao fim dessa etapa, com métodos de monitoramento determinados, equipes dimensionadas e distribuição ao longo do tempo, recomenda-se a avaliação de custos dos métodos de monitoramento estabelecidos. Em razão dos valores obtidos, pode ser solicitada a revisão dos métodos de monitoramento, sendo importante o consentimento do gestor ambiental acerca do desempenho das novas ações de monitoramento propostas.

7.2.1.7 Plano de comunicação

O plano de comunicação visa garantir que as informações geradas no planejamento e ao longo do processo cheguem a todos os envolvidos no plano de gestão.

Uma das principais ações de comunicação é a comunicação com vizinhos. Deve ser estabelecido um canal formal de comunicação entre o gestor ambiental e os vizinhos da obra. Antes do início da obra, todos os vizinhos devem ser comunicados sobre esse canal, bem como devem receber informações gerais sobre a obra e seus possíveis impactos.

Deve ser estabelecido um padrão de comunicação com as equipes internas e terceiras, envolvidas desde o planejamento até a fase de verificação. Normalmente, o plano de comunicação estabelece o tipo de informação, quem gera e quem recebe a informação, por qual canal e com qual periodicidade.

Deve ser estabelecido um canal de comunicação para urgências, no caso de ocorrências de anormalidades, que necessitem de ação rápida, fora da programação estabelecida.

Em alguns países, as autoridades ambientais locais exigem algumas comunicações que são enviadas em fases específicas da obra. Quando for o caso, elas devem constar do plano de comunicação.

7.2.1.8 Requisitos para contratações

Recomenda-se que o gestor ambiental informe e, quando for o caso, apóie os responsáveis pelas contratações sobre os principais procedimentos que deverão ser seguidos pelos fornecedores diversos. Sugere-se que estas condições façam parte dos procedimentos de controle de emissões e plano monitoramento da obra. Em alguns casos, como a contratação de recursos para desenvolver o planejamento,

estas condições devem ser desenvolvidas na fase de iniciação. Há uma série de requisitos que podem ser aplicados, como por exemplo:

- especificações de equipamentos e acessórios de monitoramento;
- especificações de equipamentos e acessórios de controle;
- condições para laboratórios de análise;
- condições para contratação de consultorias;
- determinação de responsabilidades dos fornecedores de mão-de-obra no cumprimento de ações de prevenção e controle de emissões de material particulado no canteiro;
- condições de transporte, embalagem, recebimento e estocagem de diversos produtos que podem emitir partículas. Por exemplo: aglomerantes ensacados;
- programação física das atividades de controle e monitoramento contratadas de terceiros;
- condições de fornecimento de equipamentos;
- condições de operação de máquinas, veículos e equipamentos dentro e fora do canteiro de obras.

Em diversos casos, além de serem pré-requisitos para contratação, essas informações devem fazer parte dos planos de treinamento dos fornecedores.

7.2.1.9 Encerramento da etapa de planejamento

O encerramento da fase de planejamento envolve a verificação do cumprimento de todas as etapas previstas no início dos trabalhos, bem como do conteúdo de todo o material gerado, para que as informações possam ser transmitidas às equipes envolvidas na produção da obra.

Esta verificação pode ser feita por meio de listas de checagem, elaboradas na fase de iniciação.

De acordo com o que foi proposto, no encerramento devem ter sido gerados os seguintes elementos:

- ✓ documento de avaliação do grau de risco;
- ✓ atas de reunião de projeto e planejamento;
- ✓ listas de identificação de atividades emissoras e atividades de controle;
- ✓ procedimentos de controle;
- ✓ plano de monitoramento;
- ✓ orçamentos, cronogramas e histogramas;
- ✓ plano de comunicação;
- ✓ condições de contratação;
- ✓ lista de checagem final.

7.2.2 Implementação e operação

A etapa de implementação e operação é um complemento do planejamento, ela visa garantir que as informações planejadas cheguem às equipes de produção para serem aplicadas. É uma etapa de integração entre o planejado e o que será executado. As principais tarefas desta fase são:

- ✓ eleger um líder para o processo de implementação, operação e verificação. Recomenda-se manter o gestor ambiental da fase de planejamento;
- ✓ iniciar o processo transmitindo formalmente todas as informações planejadas à liderança do processo;
- ✓ definir de modo documentado as responsabilidades das equipes internas e empresas contratadas, atendendo aos procedimentos de controle e monitoramento planejados;
- ✓ elaborar a programação de treinamentos conforme responsabilidade de cada indivíduo envolvido;
- ✓ garantir o treinamento inicial e periódico de todos os indivíduos envolvidos;
- ✓ garantir a contratação de terceiros de acordo com as condições de contratação pré-estabelecidas;

- ✓ efetivar o canal de comunicação com vizinhos;
- ✓ efetivar comunicação com equipes internas e terceirizadas, conforme previsto no plano de comunicação.

Caso a obra seja realizada por fases, a cada nova fase, repetem-se os procedimentos de implementação.

7.2.3 Verificação e ação corretiva

Uma vez que todos os indivíduos envolvidos na gestão das emissões de material particulado estão adequadamente informados sobre suas responsabilidades e como proceder para realizar atividades de controle e monitoramento nos canteiros de obras, criam-se condições para que efetivamente coloquem o planejado em prática.

Porém, para assegurar que as condições planejadas estejam ocorrendo dentro do previsto, ou melhor, que os níveis de emissão de material particulado estejam dentro dos níveis estabelecidos pelo padrão de qualidade do ar, são necessárias ações de verificação e de correção. Para esta etapa recomenda-se que sejam considerados os seguintes aspectos:

- ✓ verificação do grau de risco planejado;
- ✓ verificação das atividades emissoras correntes;
- ✓ verificação da implantação das ações de controle;
- ✓ verificação do plano de monitoramento;
- ✓ verificação da eficiência das ações de prevenção e controle;
- ✓ verificação dos equipamentos de monitoramento;
- ✓ verificação de treinamentos;
- ✓ verificação das condições de contratação;
- ✓ verificação do plano de comunicação;
- ✓ plano de ações corretivas;
- ✓ encerramento.

Nesta etapa, a presença efetiva do gestor ambiental e de sua equipe, é fundamental para que haja cumprimento das ações de controle.

7.2.3.1 Verificação do grau de risco

Muitas vezes, entre a realização da avaliação do grau de risco no planejamento e o início ou até a finalização da obra, muito tempo pode decorrer. Com isso, as características do grau de risco inicial podem ser alteradas, principalmente, as características do entorno. O próprio projeto ou planejamento da obra pode sofrer modificações importantes alterando as atividades de construção previstas.

Esses aspectos fazem com que, pouco antes do início dos serviços, as considerações do grau de risco inicial sejam reavaliadas, buscando identificar novos riscos ou mesmo a eliminação de alguns riscos. Além da avaliação antes do início da obra, recomenda-se que seja feita uma avaliação periódica, semestral ou anual, principalmente em obras que, independentemente do entorno, já apresentem grau de risco elevado.

Cada vez que o documento de grau de risco sofre alterações, faz-se necessária a reavaliação de todo o processo de planejamento que o sucede. O mesmo ocorre com os processos de implementação e operação, necessitando, muitas vezes de novos treinamentos. Somente desta maneira é possível realizar um controle efetivo das emissões de material particulado.

7.2.3.2 Verificação das atividades emissoras correntes

Da mesma forma que ocorre com o grau de risco, as atividades emissoras definidas após a etapa de projeto e planejamento da obra podem sofrer alterações. Isso pode ocorrer antes do início da obra ou durante a execução da obra. Mesmo que não haja

alterações de projeto, o planejamento da obra pode sofrer alterações, influenciado por diversos fatores, como longos períodos chuvosos, por exemplo. A simples alteração do planejamento físico da obra pode levar a um remanejamento de atividades, podendo alterar o histograma de atividades emissoras.

Com isso, as planilhas de identificação e relevância de atividades emissoras, o histograma de atividades emissoras e suas respectivas ações de controle podem ser alterados continuamente, necessitando de reavaliação periódica. O mesmo vale para os procedimentos de controle e monitoramento, bem como os planos de treinamento, condições de contratações e todos outros aspectos do planejamento. Via de regra, sempre que existirem modificações de projeto ou planejamento da obra, deve ser feita a reavaliação do processo de planejamento e implementação. Em cada caso, caberá ao gestor responsável avaliar a real necessidade de alteração, visto que, diversos documentos e ações sucedem qualquer alteração no planejamento inicial. Muitas vezes as modificações serão pouco significativas, quanto ao controle de emissões.

Outro aspecto a ser avaliado é o surgimento de novas atividades emissoras que, por algum motivo, não foram previstas no planejamento. Nesse caso, devem ser realizadas todas as etapas do planejamento, para garantir o seu controle e monitoramento.

7.2.3.3 Verificação da implantação das ações de controle

Baseadas no planejamento inicial ou na revisão de planejamento, as ações de controle sempre existirão e sempre haverá a necessidade de se verificar se elas de fato estão sendo colocadas em prática.

Deverá ser estabelecido um procedimento de verificação da real implantação das atividades de controle. Esse procedimento poderá estar descrito no documento de procedimentos de controle elaborado no planejamento.

Deve ser estabelecida uma rotina de verificação fixa ou aleatória, conforme a fase da obra, o tipo de controle e o grau de risco envolvido. A elaboração de uma lista de checagem dos principais procedimentos a serem verificados por tipo de controle pode colaborar com a inspeção.

Devem ser previstos procedimentos para correção de não-conformidades, estabelecendo planos de ações ou datas para correção, por exemplo. A tolerância para a não-conformidade, deverá estar relacionada ao risco envolvido.

7.2.3.4 Verificação do plano de monitoramento e equipamentos de monitoramento

O plano de monitoramento deve ser reavaliado, sempre que o grau de risco, os projetos ou o planejamento da obra forem alterados, independentemente das atividades emissoras e controles terem sofrido alteração. Uma alteração de projeto, pode não criar novas atividades emissoras, mas pode, por exemplo, criar barreiras físicas que impossibilitem o monitoramento. A alteração da programação física pode levar as atividades para um período de seca, diminuindo as condições de dispersão, necessitando de intensificação de monitoramento, entre muitos outros fatores. Mais uma vez, se faz necessária ação efetiva do gestor ambiental.

Outro fator a ser verificado é a implantação do plano de monitoramento. Conforme o histograma de monitoramento e a planta de locação dos equipamentos, deve ser verificada a real implantação do monitoramento, no momento previsto, com os tipos de equipamentos previstos e nas localizações previstas. Deve ser previsto um procedimento de verificação periódica.

Deve ser verificado periodicamente se os procedimentos de operação dos equipamentos estão sendo seguidos corretamente. Os serviços laboratoriais, também devem ser avaliados periodicamente. Conforme o tamanho da obra, serão geradas centenas ou milhares de amostragens, por isso, estas verificações são

bastante importantes. Listas de checagem podem ser elaboradas para verificação dos procedimentos adotados.

O funcionamento e calibração dos equipamentos, também, devem ser verificados periodicamente. Deve haver procedimento de manutenção preventiva, calibração e verificação periódica das condições de operação dos amostradores. Como muito dos equipamentos serão operados diariamente (exceto taxa de sedimentação total), a verificação pode ser feita com maior frequência. Os operadores devem ser orientados, sobre como proceder nos casos de falhas e descarte de amostragens.

Devem ser previsto procedimentos para tratamento de não-conformidades, estabelecendo planos de ação de melhoria, ações preventivas, ações corretivas, planos de re-treinamento, entre outros.

7.2.3.5 Verificação da eficiência das ações de prevenção, controle e monitoramento

Todo o planejamento elaborado visava manter os níveis de emissão dentro de padrões de qualidade do ar pré-estabelecidos.

Porém, na etapa de planejamento, não se pode ter a real certeza da eficácia das ações de prevenção previstas, bem como dos métodos de controle a serem implantados. Muitas vezes, o que se terá é o histórico de obras anteriores, o que é relevante, embora, não garanta o resultado. Esses, somente poderão ser verificados quando a obra for iniciada e as ações de prevenção, controle e monitoramento estiverem colocadas em prática em conformidade com os procedimentos.

O monitoramento é fundamental para esta verificação. Os procedimentos de monitoramento serão aplicados conforme definido no planejamento e apresentarão medições de concentração na atmosfera e deposição nas áreas previamente estabelecidas. Quando os amostradores identificarem emissões ou deposições acima dos padrões estabelecidos, ações deverão ser tomadas. Essas ações

passarão por identificação visual ou medição pontual de atividades emissoras que possam estar causando os desvios, intensificação ou revisão das ações de controle, alteração no método executivo, entre outras ações que se façam necessárias para se alcançar a conformidade com os padrões.

As ações de correção para emissões ou deposições acima dos padrões são prioritárias e devem ser solucionadas com agilidade. Afinal, os desvios apontam que todo o trabalho realizado anteriormente está falhando em algum ponto e objetivo principal não está sendo alcançado. A elaboração de procedimentos de ação corretiva neste caso é fundamental.

A eficiência do monitoramento também pode ser comprometida e por isso deve ser verificada. Uma das maneiras de fazer esta verificação é através do recebimento de queixas de vizinhos ou do poder público. Outra maneira, é a realização de medições em pontos diferentes dos previstos, avaliando-se os resultados. Via de regra, as ações de monitoramento devem ser bem planejadas focando os pontos mais sensíveis, as direções dos ventos mais favoráveis, as atividades e períodos de maior emissão entre outros aspectos, objetivando a máxima eficiência. Porém, desvios podem ocorrer. Se as ações de monitoramento estão falhas, conseqüentemente, muitos dos controles podem estar ineficientes, por isso, quando for detectada falha no monitoramento, devem ser buscadas falhas no controle.

Há casos em que o monitoramento não será capaz de identificar desvios nas emissões e que exigirão controle mais intenso das atividades, para evitar problemas. Pode ocorrer, por exemplo, se muitos caminhões saírem do canteiro sem lavagem ou cobertos inadequadamente, gerando emissões ao longo de sua rota.

Todas as falhas identificadas devem ser adequadamente registradas e transmitidas aos responsáveis pela elaboração e acompanhamento dos planos de gestão, evitando que, no futuro, não sejam cometidas as mesmas falhas.

Outro aspecto a ser avaliado é o super-dimensionamento das ações de controle. Em alguns casos pode-se notar que o controle aplicado mantém as emissões bastante abaixo dos limites e, como muitas vezes isto implica em custos, pode-se diminuir a

intensidade de controle ou até mesmo de monitoramento, já que o custo do monitoramento está intimamente ligado ao número de amostragens.

7.2.3.6 Verificação de treinamentos e plano de comunicação

Embora o treinamento das equipes e operacionalização do plano de comunicação sejam uma ação da fase de implementação e operação, recomenda-se a verificação da eficácia dos treinamentos e dos planos de comunicação durante a obra. Isso pode ser realizado, principalmente, junto aos profissionais considerados essenciais para a manutenção do plano de gestão em operação, como por exemplo, operadores de amostradores, profissionais responsáveis pelo controle de atividades com alto índice de emissões, entre outros. Esta verificação pode ser realizada por amostragem, pelo uso de questionários previamente elaborados, verificando se o profissional detém as principais informações necessárias para a execução de sua função.

Trata-se de uma ação complementar, mas que pode aumentar a eficiência do plano de gestão.

7.2.3.7 Planos de ações corretivas e emergências

Para todas as verificações citadas, devem ser previsto procedimentos para tratamento de desvios dos procedimentos. São procedimentos que englobam elaboração de planos de ação preventiva para evitar o surgimento de não-conformidades, elaboração de indicadores para acompanhamento de pontos críticos para o sucesso da gestão, implantação de planos de ação de melhoria quando existirem itens não-conformes, previsão de tratamento corretivo específico para situações consideradas críticas, entre outros. Além disso, deve ser previsto

procedimento para registro de todos os desvios para alimentação de processos futuros.

Planos de emergência, também, devem ser estabelecidos. Por exemplo, se as emissões extrapolarem um segundo padrão de qualidade do ar, acima daqueles pré-estabelecidos, ações de emergência devem ser colocadas em prática, como acionamento imediato de equipes responsáveis, envio de equipamentos suplementares, entre outros. Para isso, uma análise de risco de ocorrência de emergências pode ser realizada pela a equipe da produção, visando estabelecer procedimentos de emergência.

7.2.3.8 Encerramento

Ao término da obra, terá se gerado um conjunto de documentos de controle, registros de não-conformidades, registros de falhas do planejamento, ações de melhoria implementadas, desvios nos níveis de emissões e causas e soluções identificadas, resultados de ensaios laboratoriais, emergências ocorridas, notificações do poder público, descumprimentos contratuais, entre outros pontos, que formarão um grande banco de dados sobre diversos aspectos das emissões de material particulado no canteiro de obra. Caso bem tratados, estes dados formam uma importante base de informações para melhoria de processos futuros.

O objetivo do processo de encerramento é justamente reunir todas essas informações (que foram sendo organizadas ao longo da obra) de forma a garantir fácil acesso na elaboração de trabalhos futuros. Além disso, o encerramento deve apresentar um registro formal de lições aprendidas, possibilitando a obtenção de informações essenciais de forma rápida e objetiva. Esse documento, preferencialmente, deve ser elaborado pelo gestor ambiental ou pelos gestores ambientais que acompanharam o processo. Com essas informações devidamente organizadas, aumentam-se as chances de que erros do passado não voltem a ocorrer gerando uma série de benefícios à organização.

7.3 Considerações sobre o capítulo

Este capítulo visou apresentar um conjunto de recomendações e não regras que podem ser utilizadas na composição de um plano de gestão para prevenção, controle e monitoramento de emissões de material particulado em canteiros de obras. Cada empresa deverá adaptar a forma de realizar a gestão a sua cultura organizacional, as suas limitações técnicas, operacionais e orçamentárias. De qualquer modo, o objetivo final deve ser alcançado, ou seja, os níveis de emissão de material particulado do canteiro devem ser mantidos abaixo dos padrões estabelecidos; do contrário, terão sido investidos recursos em algo que não deu todo o retorno esperado. Afinal, reduzir as emissões, mas mantê-las acima dos padrões, significa que o canteiro ainda é nocivo ao meio em que está inserido.

Aspectos fundamentais a serem avaliados no início da elaboração de um plano de gestão são os riscos que o canteiro de obra apresenta. Canteiros de alto risco terão planos de gestão bem mais detalhados que canteiros de baixo risco. Até mesmo porque as ações de prevenção, controle e monitoramento implicam em aumento de custo, a gestão a ser aplicada deve ser aquela realmente necessária. Em canteiros de baixo risco, os planos de gestão, tendem a ser algo bastante simples e rápido de se realizar.

Outro aspecto a ser avaliado é o nível de conhecimento dos profissionais envolvidos. Esta experiência é fundamental para um bom plano de gestão. Como o tratamento de emissões de material particulado nos canteiros de obras é algo relativamente novo, essa experiência ainda é algo praticamente inexistente. Ela vai ser adquirida, plano após plano, sendo fundamental o registro de lições aprendidas e formação do banco de dados, para garantir que um plano seja melhor que o outro.

Como dificilmente um canteiro de obras é similar a outro, as lições vão se consolidando a partir da soma de experiências entre canteiros ou mesma da troca de informações entre organizações.

A avaliação do histórico de medições é, também, fundamental. As medições são um importante indicador de desempenho da gestão aplicada. Em alguns casos, pode-se concluir que há excesso de controle ou monitoramento, podendo se ter diminuições de custos imediatas ou em trabalhos futuros. Também, ao longo do tempo, serão caracterizadas as atividades realmente nocivas, conforme o padrão de construção da empresa, podendo-se dedicar mais efetivamente a estas atividades. Pelas medições é possível determinar, também, quais as medidas de controle são mais eficazes, entre muitos outros aspectos.

No Brasil, as regulamentações legais acerca das emissões dos canteiros de obras são inexistentes. Porém, em alguns países como Estados Unidos, alguns estados e municípios exigem a elaboração de planos de gestão de emissões de material particulado, seguindo padrões do órgão público.

Como já citado anteriormente, a emissão de material particulado é apenas mais um aspecto ambiental que causa poluição significativa dos canteiros de obras. Há outros impactos significativos sendo causados ao mesmo tempo, como ruído e vibração, geração de resíduos sólidos, geração de resíduos tóxicos, entre outros. Portanto, a não ser que seja um caso bastante específico, a gestão da emissão de partículas estará sempre associada à gestão de outros aspectos ambientais. Independentemente da quantidade de impactos ambientais, buscou-se uma estruturação do plano de gestão que pudesse se aplicar a outros aspectos ambientais. As fases de planejamento, implementação e verificação deverão sempre existir, assim como muitos outros aspectos mencionados dentro destas fases. Serão necessários procedimentos complementares, ou ainda adaptações no conteúdo das fases, para atendimento de demandas específicas de cada aspecto ambiental. Além disso, o mesmo gestor deverá cuidar de todos os impactos e aspectos ambientais do canteiro, o que facilita esta integração.

Garantir uma gestão eficaz das emissões não é tarefa simples. Quanto maior o tamanho e a diversidade de atividades da obra, maior a dificuldade de se realizar

esta gestão. Porém, os impactos gerados pelo material particulado a partir dos canteiros de obras podem ser bastante nocivos à população, causando males que são muito mais difíceis de solucionar que o controle de emissões a partir do canteiro de obras. Anualmente, milhares de pessoas ocupam os hospitais, vítimas de problemas respiratórios agravados pelas partículas do ar. A construção civil não é a única fonte de emissão, mas é uma fonte importante, que se controlada pode ter influência significativa na saúde pública. Trata-se de responsabilidade social, de comprometimento com o desenvolvimento sustentável.

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior desafio do século XXI para sociedade será com certeza o alcance desenvolvimento sustentável do planeta. Atualmente, é muito difícil afirmar se este objetivo será conseguido, a única coisa que se pode fazer agora é “agir”.

Durante todo o trabalho foi demonstrado que sem “ação” da construção civil não se alcançará o desenvolvimento sustentável em âmbito local, regional ou global. Sem ação e interação de todos os agentes da construção civil, ela continuará sendo a maior causadora de impactos ambientais do planeta.

O papel da empresa construtora é de grande relevância para a diminuição dos impactos ambientais da construção civil, seja pela atuação direta nos aspectos ambientais do canteiro de obras, seja pela exigência a seus fornecedores e parceiros.

Seu papel é tão relevante, que muito provavelmente, num futuro não muito distante, sofrerá pressões da sociedade, das empresas incorporadoras, dos bancos financiadores, do governo e de muitos outros agentes para que se adapte a padrões ambientais aceitáveis.

A emissão de material particulado a partir dos canteiros de obras é um dos diversos efeitos nocivos que as construtoras causam à sociedade. Como demonstrado ao longo do trabalho, seu controle exige um conjunto de ações integradas que vão desde a fase de projetos ao término da obra, passando pela análise do meio afetado, pela escolha das tecnologias construtivas, pelo planejamento da obra, pelo desenvolvimento de ferramentas de controle e monitoramento de emissões, entre outros aspectos.

Muito provavelmente, sempre que as empresas construtoras pensarem em controlar as emissões de material particulado em seus canteiros o farão em conjunto com ações de controle de outros aspectos ambientais do canteiro, pois as equipes envolvidas, em muitos casos, serão as mesmas. Apesar disso, o controle de

emissões de material particulado possui muitas especificidades, que precisarão ser estudadas em particular.

O trabalho apresentou diversas metodologias de controle que podem ser aplicadas para grande variedade de atividades emissoras que o canteiro de obras possui. Ficou evidente que para o controle adequado das emissões, por mais que se tenha realizado um bom planejamento e uma boa implantação das metodologias de controle, o monitoramento é essencial. Ele possibilita não só medir o nível de desempenho do canteiro de obras, mas como propor melhorias imediatas (ou quase imediatas, conforme o tipo de monitoramento), otimizar as ações de controle e garantir que o canteiro de obras de fato não esteja sendo nocivo à sociedade.

Estudar o entorno da obra, também, é fundamental, afinal os efeitos nocivos do canteiro afetam justamente a população vizinha. O grau de intensidade dos controles e monitoramentos está intimamente ligado à sensibilidade da população vizinha. Controlar e monitorar implica em custos adicionais, portanto, quanto mais otimizados forem, melhor.

Com relação aos custos de monitoramento e controle, com toda certeza eles implicarão em acréscimos aos orçamentos das obras. Por outro lado, eles estarão garantindo menor número de problemas com vizinhos, estarão garantindo melhor imagem à empresa construtora frente à sociedade e seus funcionários, estarão garantindo melhor condição de saúde à população e maior preservação do meio ambiente, podendo melhorar as condições de vida de todos, inclusive dos construtores e suas famílias.

Outro aspecto fundamental é a escolha de tecnologias construtivas. Quanto maior o nível de industrialização da obra, menor o nível de atividades no canteiro de obras, o que significa menor número de impactos ambientais. Não só impactos por emissão de material particulado, mas também, geração de resíduos, ruídos, vibrações, entre outros. A industrialização, algumas vezes, garante também, que as obras futuramente sejam desmontadas, podendo ter suas partes reaproveitadas, diminuindo, também, impactos na fase de demolição e destinação final de resíduos.

As obras industrializadas diminuem muito o nível de emissão de material particulado durante as atividades de construção, porém, nem sempre, podem garantir a diminuição de emissões durante a fase de movimentação de terra ou mesmo durante as demolições iniciais. Estas fases podem ser melhoradas a partir de um projeto menos agressivo, que aproveite mais as condições locais. Mesmo que o movimento de terra e a demolição sejam elevados, estas atividades são, muitas vezes, mais fáceis de serem controladas, e, em muitos casos, implicam durações reduzidas, frente ao prazo de construção dos edifícios, portanto a industrialização das atividades de construção melhora bastante as condições para a construtora e para o meio.

O trabalho de projetistas e planejadores é fundamental para se definir os níveis de emissão futuros.

Um fator a ser citado é a disponibilidade de equipamentos e agentes químicos de controle no Brasil. Devido, principalmente, à falta de exigências legais quanto aos níveis de emissão de material particulado especificamente para canteiros de obras, no Brasil não existem equipamentos e agentes químicos de controle de emissão específicos para obras. Estes equipamentos são mais comuns em países onde há legislação para construção, como Estados Unidos. Atualmente, as empresas que queiram fazer uso destes métodos de controle, como aspiradores de pó de obra, aspiradores acoplados a serras manuais elétricas, coifas para serras circulares de bancada, estabilizadores químicos, deverão importá-los.

Se por um lado os métodos de controle ainda são restritos, a maioria dos equipamentos de monitoramento está disponível no país, visto que há tempos são utilizados por outras indústrias.

O trabalho procurou demonstrar que, apesar de algumas barreiras, o controle de níveis de emissão de material particulado nos canteiros de obras brasileiros é viável de ser aplicado por empresas construtoras. Com um plano de gestão de emissões de material particulado estruturado e melhorado continuamente, integração com as equipes de projeto e planejamento, preparação das equipes de produção, criatividade e efetividade na aplicação das ações de controle e monitoramento é possível manter-se as emissões em níveis aceitáveis. Comprometimento e

conscientização ambiental dos envolvidos são fundamentais. Empresas que possuam sistemas de gestão ambiental terão maior facilidade em lidar com o assunto, pois já têm um ambiente favorável, não só com seus colaboradores, mas, também com todos seus fornecedores e agentes relacionados.

As leis brasileiras precisam se desenvolver. Embora existam padrões de qualidade do ar nacionais e estaduais, não há fiscalização direta sobre os canteiros de obras, tampouco leis específicas, como existem no caso dos resíduos de construção, no caso dos ruídos de obras, entre outros. Em muitos países o poder público tem se mobilizado para criar leis que regulamentem as emissões de material particulado dos canteiros, pois reconhecem que se trata de uma importante fonte de emissão com efeitos nocivos diversos sobre a população e o meio ambiente em geral.

Sob o aspecto científico, ainda há muito para se trabalhar. Mundialmente, o assunto ainda é pouco explorado no que diz respeito à indústria da construção civil, porém notam-se estudos iniciando em vários países, pois a relevância é reconhecida. Ainda há poucos dados quanto às emissões nas diversas etapas da obra, muitos afirmam que as atividades de movimentação de terra e demolição são as mais nocivas, porém o número de dados que comprovem isto é muito limitado. A avaliação da eficácia das atividades de controle é também limitada (há poucos estudos sobre o assunto), porém faz-se fundamental, pois para uma única atividade emissora podem existir diversas ferramentas de controle, porém, ainda é difícil afirmar quais são as mais eficazes através de dados numéricos. O monitoramento de emissões, também precisa ser evoluído em âmbito científico. Tudo o que se tem hoje, foi desenvolvido para outras indústrias, porém o canteiro de obras é uma indústria de características peculiares, que sofre alterações, muitas vezes, significativas ao longo do tempo, que tem emissões ocorrendo de diversas formas, não só através de chaminés, como ocorre em muitas indústrias.

O autor pretende dar continuidade a este trabalho em pesquisa de doutorado, onde serão monitoradas as emissões em diversas etapas dos canteiros de obras de edifícios, caracterizando as atividades construtivas quanto ao seu grau de emissão, possibilitando a evolução do assunto em termos de controle e monitoramento, além de se conhecer o real impacto dos canteiros de edifícios brasileiros na atmosfera.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12065 - Atmosfera** – determinação da taxa de poeira sedimentável total. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9547 - Material particulado em suspensão no ar ambiente** - determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13412 - Material particulado em suspensão na atmosfera** - determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas. Rio de Janeiro, 1995.

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. Dissertação de mestrado. 1999.194f. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ALPHANDÈRY,P.; BITOUN, P.; DUPONT, Y. **O equívoco ecológico**: riscos políticos da incoseqüência. São Paulo: Brasiliense. 1992.78p.

ANDRADE, A. C.; SOUZA, U.E.L. **Método para quantificação de perda de materiais nos canteiros de obras de construção de edifícios**: superestrutura e alvenaria. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo. 28p. 2000.

ANDRADE, S.M.M. **Metodologia para avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil em meio urbano**. Tese de doutorado. 2004. 198 f. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ARAÚJO, V.M; CARDOSO, F.F; **Redução de impactos ambientais do canteiro de obras**. Projeto Finep Habitações + sustentáveis. Finep. São Paulo.15p.2006 . Trabalho em desenvolvimento.

ASSUNÇÃO, J.V. **Poluição atmosférica**. In: CASTELLANO E,G., ed. Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998, p. 271-308.

BARBIERI, J.C. **Desenvolvimento e o meio ambiente**: as estratégias de mudança da agenda 21. Petrópolis, Vozes, 1997. 120p.

BRITO FILHO, J.A. **Cidade versus entulho**. II Seminário desenvolvimento sustentável e reciclagem na construção civil. São Paulo, 1999, Anais: IBRACON/CT206-1999.

CAMARGO, A.L.B. **Desenvolvimento sustentável**: dimensões e desafios. Campinas: Papirus, 2003. 160p.

CAVALVANTI, C. **Desenvolvimento e natureza:** estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo:Cortez, 1998,pp. 17-25. Breve introdução à economia da sustentabilidade.

CENTER OF EXCELLENCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. (on line). Disponível em <www.sustainable.doe.gov>. Acesso em: 3 mar 2006.

CHEMLA, P.; LABOUZE, E. **Ranking environmental impacts:** applications to buildings. Second International Conference of Building and Environment – CIB, Paris, 8p. 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Relatório de qualidade do ar em São Paulo – 2005.** São Paulo: CETESB, 2005, 153p.

COUNTES ENVIRONMENTAL. **Wrap Fugitive Dust Handbook.** West Lake Village: Westerns Governors Association, 2004. 191p.

COWHERD JR., C.; KINSEY, J. S.; MULESKI, G.E. **Particulate emissions from construction activities.** Artigo técnico do Midwest Research institute e United States Environmental Protection Agency, EUA, 12p, 2005.

DEGANI, C.M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios.** 2003. 223f. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS – DEFRA. **LA-IPPC Risk Method.** Disponível em: < <http://www.defra.gov.uk/environment/ppc/risk-laippcl-risk.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2006.

EL DORADO COUNTY AIR POLLUTION CONTROL OFFICER. **Rule 223-1 - Fugitive dust:** construction, bulk material handling, blasting, other earthmoving activities and carryout and trackout prevention. El Dorado County:El Dorado County Air Pollution Control Officer, 2005, 18p. Legislação do Condado.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States.** Office of solid waste. Estados Unidos, Junho de 1998. Report n.o EPA 530-R-98-010

ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT DE HONK KONG – EPD HONG KONG. **Air pollution control regulation relevant to the construction industry.** Manual de treinamento da EPD – Hong Kong, 45p, 2006. Disponível em < <http://www.epd-asg.gov.hk>> .Acesso em 20 dez. 2006.

FERGUSON, J.H.; DONALD, L; DOWNS, H.W. **Fugitive dust:** nonpoint sources. Missouri: University of Missouri-Columbia,1999, 4p.artigo técnico disponível em: <http://www.muextension.missouri.edu/xplor> Acesso em: 25 de junho de 2006.

FRANCO, M.A.R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável.** São Paulo: Annablume, 2000. 78p.

FOGLIATTI, M.C ; FILLIPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 249p.

GREATER LONDON AUTHORITY – GLA. **The control of dust emissions from construction and demolition**. Versão Draft London Best Practice Guide. London: Greater London authority e Association of London government, 2005. 51p.

HOLTHAUSEN, C. **Agenda 21: o caminho da dignidade humana**. Florianópolis: Papa-Livro, 2000. 100p.

INSTITUTO ETHOS. **Indicadores Ethos de Responsabilidade social empresarial 2005**. São Paulo: Instituto Ethos, 2005. 83 p.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam: CIB, 1999. 131p. CIB report publication 237.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE - UNEP-IETC. **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries**. Pretoria: CIB e UNEP-IETC. 2002. 83p. Boutek Report No Bou/E0204

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Air quality – Particle size fraction definitions for health related sampling**. ISO 7708.1995.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 102f. Tese de livre docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, C. **On agenda 21 for Latin America and Caribbean construbussines: a perspective from Brazil**. Journal Building Research and Information, Rotterdam, 23p., 2001.

KUKADIA, V.; UPTON, S.; HALL, D. **Control of dust from construction and demolition activities**. Londres: BRE e DTI, 2003.50p.

LAMBERTS, R.; WESPHAL, F. **Energy efficiency in buildings in Brazil**. CIB – Symposium on Construction and Environment, São Paulo, Novembro de 2000. CIB PCC USP em CD-ROM.

LEMAIRE, S.; CHEVALIER, J.; CHEVALIER, J.L.; GUARRACINO, G. **Introducing environmental and health criteria when choosing building products**. International Conference on Durability of Building Materials and Components. Lyon, 8p., Abril de 1995.

LOTURCO, B. **A nova lei do lixo**. Revista Técnica. São Paulo, p. 52-55 , Janeiro de 2004.

MAIMON, D. **Passaporte verde: gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 100p.

MENDES, J.R.B. **Gerenciamento de projetos na visão de um gerente de projetos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006. 325 p.

MIDWEST RESEARCH INSTITUTE – MRI, **Estimating particulate matter emissions from construction operations**. Kansas, EUA: MRI, 1999.

MIDWEST RESEARCH INSTITUTE – MRI, **Particulate matter emissions from controlled construction activities** . EUA: US EPA, US EPA/600/R01/031, 2001.

MORAES, A.P. **Qualidade do ar interno com ênfase em concentração de aerodispersóides nos edifícios**. 2006. 160 p. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MORETTI, R. S. **Habitação popular e sustentabilidade**. Revista Técnica. São Paulo, p. 44-47, Fevereiro de 2005.

NSW ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY. **Guidelines for controlling dust from construction sites**. Sydney: NSW EPA, 2005. 14p.

PALIARI, J.C. **Metodologia para a coleta e análise de informações sobre consumos e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios**. 1999. 473 f. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PEREIRA, L.; JALALI, S.; AGUIAR, B. **Gestão dos resíduos de construção e demolição**. Departamento de engenharia Civil da Universidade de Minho. Guimarães, Portugal, 13p., 2000.

PINHEIRO, A.C.F.B.; MONTEIRO, A.L.F.B.P.A. **Ciências do ambiente: ecologia, poluição e impacto ambiental**. São Paulo: Makron, 1992. 148p.

PINTO, T.P. **A nova legislação para resíduos de construção**. Revista Técnica. São Paulo, p. 62-64, Janeiro de 2004.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. Tese de doutorado. 1999. 189 f. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RESENDE, F.; CARDOSO, F. F. **Identificação de aspectos relevantes para a sustentabilidade de edifícios**. IV Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção/ I Encontro Latino Americano de Gestão e Economia da Construção. Porto Alegre, 24 a 26 de outubro de 2005, UFRGS. Artigo completo no CD-ROM do evento.

SCHARTZMAN, S. **Consciência ambiental e desenvolvimento sustentável**. (on line). Disponível em: < <http://www.schwartzman.org.br/simon/> > . Acesso em: 25 jun. 2006.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A. C. F. **Gestão de resíduos da construção civil**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – UFSC. Florianópolis, 13p., 10 a 14 de outubro de 2004.

SILVA, V.G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros**: diretrizes e base metodológica. 2003.210f. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Geo Data Portal. Disponível em <<http://geodata.grid.unep.ch/time.php>>. Acesso em :25 jun. 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Air quality criteria for particulate matter**. Vol. I Estados Unidos: US EPA, 2004. 900p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (on line) disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acessos diversos em junho e julho de 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Particle pollution and your health**. Estados Unidos: US EPA, 2006. 2p. folheto informativo em arquivo pdf.

VALLACK, H.W. **Protocol for using the dry Frisbee (with foam insert) dust deposit gauge**. Artigo da Stockholm Environment Institute of York, York, 2p, fevereiro de 1995.

VALLACK, H.W.; SHILLITO, D.E. **Suggested Guidelines for Deposited Ambient Dust**. Revista Atmospheric Environment, n. 32, United Kingdom, p 2737 – 2744, 1998.

VALVERDE, F.M. **Agregados para construção civil**. Anepac. São Paulo, 6p. 2006.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY. **Focus on air quality and construction projects**. Washington: Washington State Department of Ecology, 2005, 2p. folheto informativo em arquivo pdf.

ZORDAN, S.E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. Dissertação de mestrado. 1997. Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

ANEXO A

Metodologia para avaliação de grau de riscos de emissão de material particulado PM₁₀ a partir do canteiro de obras elaborada pela prefeitura da cidade de Londres - Inglaterra (ainda em fase de aprovação)

Nome do avaliador	Nome da empresa
Endereço do canteiro de obras	Prazo estimado de construção

Ambiente do entorno da obra

Entorno da obra 1:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
O canteiro está a mais de 30 metros de uma AQMA?	5	
O canteiro está a menos de 30 metros de uma AQMA?	10	
O canteiro está dentro de uma AQMA?	15	
medição a partir da divisa do canteiro ao ponto mais próximo da AQMA		

Entorno da obra 2:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
O canteiro está entre 20 m e 1 Km de uma rua principal (tráfego de 10.000 veículos por dia)	5	
O canteiro está a menos de 20 metros de uma rua principal (tráfego de 10.000 veículos por dia)	10	
O canteiro está dentro de um raio de 20 metros de um cruzamento movimentado?	15	
cruzamento movimentado é a combinação de vias que geram tráfego superior a 10.000 vpd		

Entorno da obra 3:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Há residência num raio inferior a 5 metros do canteiro?	5	
Há residência num raio superior a 5 metros do canteiro?	10	

Entorno da obra 4:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Há receptores sensíveis dentro de um raio de 30 metros do canteiro? (escolas, hospitais, creches, entre outros)		

Sim	10	
Não	0	

Entorno da obra 5:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Há outro canteiro num raio superior a 20 metros no mesmo período?	5	
Há outro canteiro num raio inferior a 20 metros no mesmo período?	10	

Pontuação total do Ambiente do entorno da obra	
---	--

AQMA = Air quality Management Area - São áreas determinadas pela prefeitura de Londres como área que necessitam de gerenciamento da qualidade do ar

Desenvolvimento da obra

Completar os itens 1,2 ou 3 e ir para o 4

Desenvolvimento da obra 1:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
A obra se destinará a uso comercial acima de 1000 m²?		
Sim	7	
Não	0	

Desenvolvimento da obra 2:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Serão construídas mais de 10 casas?		
Sim	7	
Não	0	

Desenvolvimento da obra 3:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Será um empreendimento de uso misto com mais de 1000 m² ou mais de 10 casas?		
Sim	7	
Não	0	

Desenvolvimento da obra 4:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
A obra será desenvolvida no outono ou primavera?*	3	
A obra será desenvolvida no inverno?*	5	
A obra será desenvolvida no verão?*	7	
*Assinalar a época em que haverá maior quantidade de emissões. Ex.: demolições		

Desenvolvimento da obra 5:		
-----------------------------------	--	--

	Pontuação possível	Pontuação dada
Está planejada duração da obra inferior a 20 semanas?	3	
Está planejada duração da obra entre 20 e 52 semanas?	5	
Está planejada duração da obra superior a 52 semanas?	7	

Desenvolvimento da obra 6:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Serão erguidas barreiras sólidas ao redor do canteiro?		
Sim	0	
Não	5	
A obra envolve remediação/movimento de terra?		
Sim	5	
Não	0	
A obra envolve serviços de demolição? (incluindo escavações e remoção de concreto)		
Sim	5	
Não	0	

Pontuação total do Desenvolvimento da obra	
---	--

Atividades de Construção

Atividades de Construção 1:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Haverá movimentação inferior a 5 caminhões por dia no canteiro?	5	
Haverá movimentação entre 5 e 10 caminhões por dia no canteiro?	10	
Haverá movimentação superior a 10 caminhões por dia no canteiro?	15	
A movimentação corresponde à entrada e saída do canteiro		

Atividades de Construção 2:		
	Pontuação possível	Pontuação dada
Haverá fresagem de concreto no canteiro?		
Sim	5	
Não	0	
Haverá usina de concreto no canteiro?		
Sim	5	
Não	0	
Haverá maquinário móvel no canteiro?		
Sim	5	
Não	0	
Haverá materiais estocados em montes?		
Sim	5	
Não	2	
Haverá betoneiras ou serras para tijolos/concreto no canteiro?		

Sim	5	
Não	0	

Pontuação total do Ambiente de Atividades de construção	
--	--

Pontuação total de Ambiente do entorno + Desenvolvimento da obra + Atividades de construção. De 33 141 pontos	
--	--

Categoria de risco Alto - pontuação superior a 104 Médio - pontuação entre 71 e 103 Baixo - pontuação entre 33 e 70	
---	--

APÊNDICE A

Planilha de checagem para identificação de atividades emissoras e controles

IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES EMISSORAS E CONTROLES				
Atividade Emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	Duração da atividad e	Medida de controle	Respons ável pelo controle
Fase: Demolição				
Demolição mecanizada				
Carga de material				
Descarga de material				
Saída de caminhões do canteiro				
Transporte de material				
Trânsito de veículos sobre solo				
Armanejamento de resíduos				
Manuseio de material biológico				
Queima de material				
Serragem manual				
Britagem				
Lixamento				
Quebra manual				
Utilização de explosivos				
Cortes com maçarico				
Fase: Movimento de Terra				
Escavação mecanizada				
Escavação manual				
Carga de material				
Descarga de material				
Trânsito de veículos sobre solo				
Transporte de terra				
Saída de caminhões do canteiro				
Estocagem de terra				
Exposição de solo solto				
Fase: Construção				
Subfase: Fundação				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Uso de maçarico e soldagem				

continua

continuação

IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES EMISSORAS E CONTROLES				
Atividade Emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	Duração da ativ.	Medida de controle	Respons. pelo controle
Queima de materiais				
Escavação manual				
Escavação mecanizada				
Limpeza com varrição				
Trânsito de veículos sobre solo				
Estocagem de material				
Motores a combustão				
Subfase: Estrutura				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Uso de maçarico e soldagem				
Queima de materiais				
Escavação manual				
Escavação mecanizada				
Limpeza com varrição				
Carga de material pulverulento				
Descarga de material pulverulento				
Trânsito de veículos sobre solo				
Motores a combustão				
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Alvenaria				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Limpeza com varrição				
Estocagem de material no local de trabalho				
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Revestimentos internos				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				

continua

continuação

IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES EMISSORAS E CONTROLES				
Atividade Emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	Duração da ativ.	Medida de controle	Respons. pelo controle
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Limpeza com varrição				
Estocagem de material no local de trabalho				
Subfase: Revestimentos externos				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Limpeza com varrição				
Estocagem de material no local de trabalho				
Subfase:Pisos argamassados				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Limpeza com varrição				
Trânsito de veículos sobre solo				
Transportes internos de material pulverulento				
Estocagem de material no local de trabalho				
Subfase:Revestimentos cerâmicos				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Limpeza com varrição				
Estocagem de material no local de trabalho				
Motores a combustão				

continua

continuação

IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES EMISSORAS E CONTROLES				
Atividade Emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	Duração da ativ.	Medida de controle	Respons. pelo controle
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Esquadrias				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Desgaste superficial				
Quebras				
Limpeza com varrição				
Subfase: Impermeabilizações				
Uso de material pulverulento				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Uso de maçarico e soldagem				
Queima de materiais				
Limpeza com varrição				
Estocagem de material no local de trabalho				
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Instalações prediais				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Uso de maçarico e soldagem				
Queima de materiais				
Escavação manual				
Escavação mecanizada				
Limpeza com varrição				
Motores a combustão				
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Pintura				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Aspersão de partículas líquidas				
Limpeza com varrição				
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Cobertura				
Cortes serras manuais				
Cortes serras de bancada				

continua

continuação

IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES EMISSORAS E CONTROLES				
Atividade Emissora	Relevância (baixa - bx;média - md;alta - at)	Duração da ativ.	Medida de controle	Respons. pelo controle
Perfurações				
Uso de material pulverulento				
Desgaste superficial				
Quebras				
Lançamento de argamassas e concretos				
Aspersão de partículas líquidas				
Uso de maçarico e soldagem				
Limpeza com varrição				
Estocagem de material no local de trabalho				
Motores a combustão				
Transportes internos de material pulverulento				
Subfase: Paisagismo				
Uso de material pulverulento				
Aspersão de partículas líquidas				
Escavação manual				
Escavação mecanizada				
Limpeza com varrição				
Trânsito de veículos sobre solo				
Estocagem de material no local de trabalho				
Transportes internos de material pulverulento				
Transporte, armazenagem remoção de materiais e resíduos				
Carga de material pulverulento				
Descarga de material pulverulento				
Trânsito de veículos sobre solo				
Estocagem de material pulverulento ensacado				
Estocagem de material pulverulento em montes				
Motores a combustão				
Transportes horizontais internos de material pulverulento				
Veículos de construção e transportes				
Trânsito de veículos sobre solo no canteiro				
Trânsito de veículos com ressuspensão de partículas				
Motores a combustão				
Saída de veículos do canteiro				