



Material particulado e sua emissão em canteiros de obras: revisão de literatura

Particulate matter and its emission in construction sites: Review

Paulo Henrique Ribeiro Ferraz¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil

Contato: paulo.rferraz88@gmail.com

Palavras-Chave

construção civil
poluição atmosférica
material particulado

RESUMO

A expansão da indústria da construção civil nas últimas décadas, dentre outras atividades impulsionadas pelo crescimento populacional, ocasionou o aumento da proporção dos danos ao meio ambiente, relacionados à atividade. As atividades do setor geram resíduos potencialmente poluidores para todos os compartimentos ambientais (água, atmosfera e solo), sendo um dos principais emissores de partículas em suspensão no ar. Através de uma revisão de literatura narrativa, este trabalho almeja explicitar as condições de exposição à poluição atmosférica por material particulado que todos os indivíduos estão sujeitos em torno de uma obra ou serviço referente à construção civil. O material particulado (MP) divide-se em partículas totais em suspensão (PTS), material particulado inalável (MP₁₀) e sua fração fina (MP_{2,5}). Na construção civil, foram encontrados os elementos Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti e Fe, relacionados aos materiais de construção utilizados. O corte de materiais cerâmicos foi a atividade com maior concentração de sílica cristalina, principal causadora da doença silicose. Enfim, verifica-se a necessidade de revisão dos padrões atuais de qualidade do ar, o estabelecimento de valores limite considerando-se a composição química do poluente, e a obrigatoriedade da implementação de medidas coletivas para controlar a emissão de MP nos canteiros de obras.

Key-word

construction
air pollution
particulate Matter

ABSTRACT

The expansion of the construction industry in recent decades, among other activities driven by population growth, has led to an increased proportion of activity-related environmental damage. The sector's activities generate potentially polluting waste to all environmental compartments (water, atmosphere and soil), being one of the main emitters of airborne particles. Through a review of narrative literature, this paper aims to clarify the conditions of exposure to air pollution by particulate matter that all individuals are subjected around a work or service related to construction. Particulate matter (PM) is divided into total suspended particles (TSP), inhalable particulate matter (PM₁₀) and its fine fraction (PM_{2.5}). In civil construction, the elements Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti and Fe were found, related to the building materials used. Cutting of ceramic materials was the activity with the highest concentration of crystalline silica, the main cause of silicosis disease. Finally, there is a need to review current air quality standards, establish limit values considering the chemical composition of the pollutant, and enforce collective measures to control PM emission at construction sites.

Informações do artigo

Recebido: 09 de setembro, 2019
Aceito: 13 de abril, 2020
Publicado: 30 de abril, 2020

Introdução

Nas últimas décadas, houve um rápido e considerável crescimento da população brasileira. Entre 2000 e 2010, foi registrado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011), um aumento de 12,5%. Como consequência, houve a expansão de diversos setores como agropecuária, indústrias, geração de energia, abastecimento de água e construção civil. Vale salientar que qualquer uma dessas atividades econômicas geram impactos no meio ambiente, seja pela extração de matéria-prima para beneficiamento, pela alteração do ambiente natural em determinadas áreas, ou pela geração de resíduos que, caso não sejam tratados e destinados corretamente podem vir a poluir e/ou contaminar os meios físicos (atmosfera, água ou solo).

O mercado da construção civil é um importante contribuinte para a economia nacional, tendo representado 4,50% do Valor Adicionado Bruto em 2018, segundo dados divulgados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2019). Seu crescimento mais expressivo ocorreu entre 2000 e 2010, tendo atingido seu ápice em 2010, com o resultado de 13,10%. O avanço do setor trouxe consigo, como consequência, uma maior proporção dos danos causados ao meio ambiente, inerentes às suas atividades. Desse modo, ressalta-se a importância do estudo dos impactos ambientais gerados pelo setor.

A lei nº 6.938 (BRASIL, 1981) a define como degradação da qualidade ambiental resultante de ações que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, segurança e bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente as formas de vida desse ambiente, prejudiquem suas condições estéticas ou sanitárias e que lancem matérias ou energia em desacordo com o estabelecido. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (BRASIL, 2006), entende-se por poluição ambiental qualquer adição ou lançamento de substâncias ou formas de energia ao meio ambiente, em dimensões que resultem na alteração de sua concentração natural, tornando-as maiores. Dentre os principais meios de ocorrência, podemos destacar a poluição do solo, da água e do ar (atmosférica).

A poluição atmosférica pode ocorrer por meio de emissão de gases tóxicos oriundos da operação de motores a combustão, manuseio de produtos químicos voláteis, bem como a emissão de partículas sólidas no ar, tendo como fonte o escapamento de motores, bem como a execução de diversas atividades no canteiro de obras, como demolições, escavações, entre outras. Podem se originar de fontes antropogênicas, ou seja, de atividade humana, como nos casos supracitados, ou de origem natural, como nas erupções vulcânicas (PINTO; REISEN; MONTE, 2018).

Segundo Souza et al. (2010), o MP consiste em uma mistura complexa de partículas líquidas e sólidas, conhecidas como aerossóis, em suspensão no ar, com sua dimensão variando entre poucos nanômetros até aproximadamente 100µm. A grande relevância do MP se deve a sua composição química e propriedades variáveis, devido as suas distintas fontes emissoras.

Tal variação pode levar a ocorrências de diversos problemas de saúde por parte dos habitantes nas áreas afetadas pelo poluente.

Estudos realizados por Gouveia et al. (2006), Danni-Oliveira (2008) e Cesar, Nascimento e Carvalho Júnior (2013) comprovaram a relação entre a concentração do MP e a ocorrência de problemas de saúde, inclusive com crescimento na taxa de mortalidade. De acordo com Danni-Oliveira (2008), na China, o material particulado (MP) está entre os principais poluentes causadores de morte prematura entre a população.

Um estudo elaborado por Pereira, Fortes e Martins (2015), no Campus de Fiocruz, no Rio de Janeiro/RJ, encontrou uma concentração média de MP maior no ponto próximo a uma construção e com o piso em concreto, do que no ponto com topografia plana e cobertura em grama. Tais valores encontrados pelo autor supracitado explicitam a maior exposição de todos os habitantes dos centros urbanos à poluição atmosférica.

O MP pode viajar por longa distância, como exemplo, podemos citar o estudo de Prospero et al. (2005) a respeito da poeira do Saara, no norte da África, que pode ser transportada pelo oceano Atlântico, podendo chegar a costa leste e sul dos Estados Unidos, ao Caribe, e ao Golfo do México. Acrescenta-se que fatores climáticos exercem influência na quantidade de poluentes atmosféricos (GUERRA; MIRANDA, 2011; PAYUS; MIAN; SULAIMAN, 2017). O estudo realizado por Azarmi et al. (2016) demonstrou uma redução gradativa da concentração de MP com relação ao distanciamento os canteiros de obra estudados. Tais fatos comprovam que a emissão de MP em um canteiro de obra pode afetar a área em seu entorno, tornando o ambiente insalubre não apenas para a mão de obra atuante.

Desde a montagem do canteiro até a conclusão da obra, diversas atividades que a compõem são geradoras de resíduos potencialmente poluidores. Pode haver contaminação de água e solo por meio de resíduos de tintas e solventes, bem como produtos de limpeza, e demais produtos químicos a serem utilizados nas diversas fases da concepção do empreendimento. Segundo Resende e Cardoso (2008) e Lisboa (2010), a construção civil constitui uma das grandes fontes de material particulado. Resende e Cardoso (2008) ainda acrescentaram que a emissão de MP na construção civil ocorre em todas as fases do ciclo de vida dos seus produtos.

O Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas - IBRAOP (2009) define obra como conjunto orgânico de serviços que se complementam, possuindo uma função completa e definida. Segundo a resolução nº 1.116, do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia - CONFEA (BRASIL, 2019), as obras são caracterizadas pela sua complexidade e multiprofissionalidade de conhecimentos técnicos exigidos para o seu desenvolvimento.

A diversa gama de serviços abrangida na concepção de um empreendimento de construção civil acarreta na utilização de variados tipos de materiais com distintas composições químicas e dimensões.

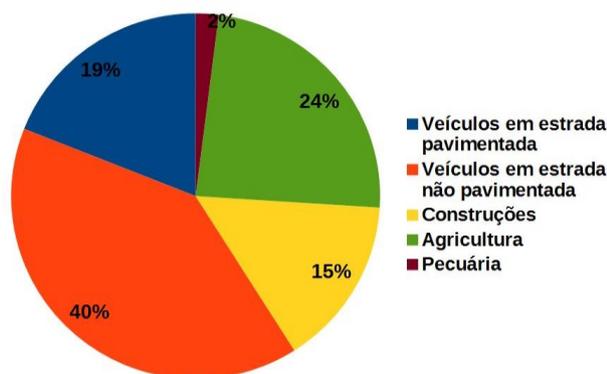
A fase de construção de um edifício, como em outros tipos de obra, apresenta uma heterogeneidade de atividades, fazendo com que, ao longo da execução da obra, sejam criadas novas fontes de MP com características diversificadas (RESENDE; CARDOSO, 2008). Desse modo, a poeira gerada por uma obra possui características heterogêneas, dependendo da sua fase de execução. Tal variedade pode ser responsável por inúmeros problemas de saúde.

De acordo com o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo - IEMA - ES (2006), 54,6% das emissões na região da grande Vitória são oriundas de atividades humanas (emissão veicular, queimadas, construção civil).

Segundo a United States Environmental Protection Agency - USEPA (2004), do total de poeira fugitiva emitida nos Estados Unidos, 15% é de responsabilidade do setor da construção civil. Na Figura 1 estão discriminadas as fontes de emissão de MP nos Estados Unidos, com seus referidos percentuais.

Santos e Reis Júnior (2011) citaram que um estudo realizado nos bairros da Ilha do Boi e Ilha do Frade, em Vitória-ES, concluiu que 12,4% e 7,4% das partículas sedimentáveis em ambos os bairros, são provenientes de atividades relacionadas à construção civil.

Figura 1. Fontes de emissão de poeira fugitiva nos Estados Unidos



Fonte: Adaptado de USEPA (2004)

Este trabalho tem por objetivo, através de uma revisão de literatura, explicitar as condições de exposição à poluição atmosférica por material particulado que todos os indivíduos estão sujeitos em torno de uma obra ou serviço referente à construção civil.

Material e Métodos

O presente trabalho consiste em uma revisão narrativa, definida por Rother (2007) como publicações amplas, apropriadas para descrever e discutir, sob o ponto de vista teórico ou contextual, o desenvolvimento ou “estado da arte” a respeito de determinado assunto.

Acrescenta-se que, segundo Galvão e Ricarte (2019), as revisões narrativas “sintetizam os resultados de

estudos quantitativos individuais sem referência a significância estatística dos resultados”.

Desse modo, foram selecionadas pesquisas nas quais se constavam dados a respeito dos níveis de emissão, bem como da composição química do MP e composição de resíduos da construção civil (relacionados), além dos riscos à saúde ocasionados pela exposição ao mesmo.

As ferramentas de busca utilizadas foram o portal de periódicos da CAPES e o site Google Scholar, onde foram selecionados estudos nas línguas portuguesa e inglesa, com ênfase dada às pesquisas publicadas a partir de 2009 até o ano atual, sendo consultados artigos científicos, dissertações e teses. Complementarmente, foram observados livros, manuais e orientações técnicas, bem como legislações vigentes, todos em consonância com o tema abordado. Os termos de busca utilizados foram: “material particulado”, “poeira”, “material particulado construção civil”, “poeira construção civil”, “exposição à poeira”, “particulate matter”, “dust”, “particulate matter construction”, “dust construction”, “dust exposition”.

As publicações foram selecionadas de modo a serem abordados todos os conceitos teóricos relacionados à emissão de material particulado: seu tamanho, composição, fontes, sua classificação, efeitos à saúde humana, concentrações e emissão em canteiro de obras.

Foram verificados estudos a respeito da concentração e das composições do material particulado emitido por uma obra de construção civil, seu possível efeito nas áreas vizinhas e possíveis soluções a serem adotadas para minimizar a emissão de material particulado.

Também foram explicitadas as legislações referentes aos níveis de emissões, tendo sido realizado um levantamento de dados pelo IBGE e por distintos autores, em diversas capitais brasileiras, referente à concentração de MP, sendo os mesmos comparados aos dados dos estudos referentes à concentração de MP próximo a construções.

Ao todo, foram encontrados 36 artigos científicos, 2 dissertações e 1 tese a respeito dos assuntos abordados nesse trabalho. Complementando este estudo, ainda foram encontradas uma Norma Regulamentadora, bem como duas resoluções e uma lei, servindo de embasamento para o entendimento do assunto abordado. Além disso, foram observadas 13 publicações técnicas, incluindo-se livros, manuais e orientações, nacionais e internacionais, bem como 4 pesquisas realizadas tanto por órgãos governamentais quanto por entidades privadas, essenciais para o entendimento do conteúdo desta revisão.

Resultados e Discussões

Está descrito, abaixo, o resultado de toda a pesquisa bibliográfica realizada.

Seinfeld e Pandis (2006) afirmam que dois tipos de aerossol são predominantes em áreas urbanas e rurais: o modo de nucleação (partículas menores que 10 nm) e os núcleos do aitken (partículas com diâmetros entre 10 e 100 nm).

Marques e Santos (2012) ainda complementaram que se têm as partículas totais em suspensão (PTS) todas de diâmetro inferior a 100µm; material particulado inalável, com diâmetro que não excede 10µm (MP₁₀), sendo subdividida em fração fina, com diâmetro inferior a 2,5µm (MP_{2,5}), e fração grossa, com partículas de tamanho entre 2,5 e 10µm (MP_{2,5-10}).

Brito, Araújo e Silva (2018) classificam as partículas atmosféricas devido ao seu diâmetro em quatro classes: partículas grossas (< 2,5 - 10µm), partículas finas (0,1-2,5µm), partículas ultrafinas (0,01 - 0,1µm) e nanopartículas (< 0,01µm).

Sua composição química depende exclusivamente do grau de urbanização dos municípios e das suas atividades exercidas predominantemente. Em centros urbanos, foi observada a presença de íons sulfato (SO₄²⁻), amônio (NH₄⁺), sódio (Na⁺), cloreto (Cl⁻), cálcio (Ca⁺), potássio (K⁺), nitrato (NO₃⁻), metais como alumínio (Al), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), magnésio (Mg), chumbo (Pb), manganês (Mn), níquel (Ni), compostos orgânicos e carbono elementar (QUEIROZ; JACOMINO; MENEZES, 2007; SOUZA et al., 2010; BOUROTTE et al., 2011; MURILLO et al., 2013; SANTIAGO, 2015; IQBAL; BAIG; KHAN, 2017;).

Brito, Araújo e Silva (2018) afirmam que existem interações entre as substâncias presentes na atmosfera e o material particulado, que absorve as substâncias que são dissolvidas no interior de sua partícula, ocorrendo a adsorção das partículas que simplesmente aderem sobre sua superfície. Os autores ainda exemplificam a adsorção de moléculas orgânicas de carbono sob a forma de fuligem. Brito, Araújo e Silva (2018) ainda acrescentam que no material particulado inalável fino, abaixo de 2,5 µm, observa-se a predominância de íons sulfato, nitrato, amônio, hidrogênio; carbono elementar; grande variedade de compostos orgânicos, metais, compostos de chumbo (Pb), cádmio (Cd), vanádio (V), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), entre outros.

Além da classificação por tamanho supracitada, a determinação de sua composição química é de grande importância devido à possibilidade de estimar os tipos e fontes de MP ao identificar os elementos e substâncias químicas presentes no mesmo (BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018). Os autores ainda acrescentam que tal avaliação constitui uma ferramenta para a compreensão do impacto de diferentes fontes de emissão na carga total de MP atmosférico, ressaltando que os traçadores são indicativos, e não determinísticos, onde os resultados obtidos devem ser avaliados simultaneamente ao conhecimento do analista.

No estudo realizado por Souza et al. (2010), em São José dos Campos/SP, foram encontrados os íons sódio (Na⁺), cloreto (Cl⁻) e nitrato (NO₃⁻) de forma mais abundante na fração grossa (MP 2,5-10), onde os dois primeiros relacionados ao transporte de aerossóis de sais marinhos, e o último está relacionado à reação entre o ácido nítrico (HNO₃) e o cloreto de sódio (NaCl), que resultou na volatilização do ácido clorídrico (HCl).

Na fração fina (MP 2,5), detectou-se a presença mais abundante de íons sulfato (SO₄²⁻) e amônio (NH₄⁺).

A composição encontrada se deve a grande concentração de indústrias no município, cerca de 900 empresas segundo Souza et al. (2010), que justificaria a presença abundante de sulfato (SO₄²⁻) e nitrato (NO₃⁻), e a presença de íons sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻) ocorre devido a sua distância do litoral, aproximadamente 65 km, segundo o autor.

No estado de São Paulo, de acordo com Bourotte et al. (2011), algumas espécies químicas encontradas são específicas de massas de ar continental, como os íons potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e amônio (NH₄⁺), marinhas, citando-se os sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻), bem como traços de atividade antrópica, onde se observou a presença de cobalto (Co), cobre (Cu), cádmio (Cd), chumbo (Pb), ferro (Fe) e vanádio (V). Na cidade de Cuiabá, os elementos predominantes foram alumínio (Al), ferro (Fe), silício (Si) e potássio (K), todos característicos da ressuspensão do solo, podendo ter sido emitidos por meio de queimadas e ressuspendidos por movimentações (SANTIAGO et al., 2015).

Na área metropolitana da Costa Rica, a fração grossa (MP₁₀) consiste, em sua maior parte, em partículas de carbono, poeira mineral, spray marinho e aerossóis secundários inorgânicos (MURILLO et al., 2013).

Os resíduos da construção civil no estado de São Paulo, de acordo com Ulsen et al. (2010), possuem a sílica (SiO₂) como principal componente, com teores entre 48% e 84%, tendo sua origem associada aos agregados naturais dos concretos e argamassas.

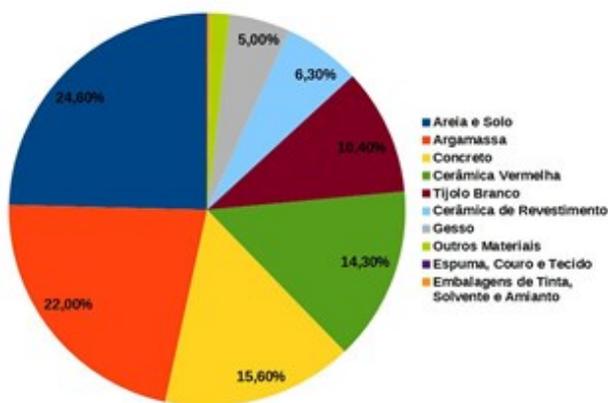
Segundo os mesmos autores a alumina (Al₂O₃), apresentando teores entre 4,7% e 11%, e o óxido de cálcio (CaO), com quantidade variando entre 2,4% e 14%, são os outros óxidos mais representativos, estando o primeiro relacionado com a presença da cerâmica vermelha e do solo e, secundariamente, à presença de feldspatos e do cimento, e o segundo está associado ao aglomerante presente em componentes construtivos.

Na cidade de Fortaleza/CE, os componentes dos resíduos de construção, encontrados por Lima e Cabral (2013), consistem predominantemente de areia e solo (24,6%), argamassa (22%), concreto (15,6%), cerâmica vermelha (14,3%), tijolo branco (10,4%), cerâmica de revestimento (6,3%), gesso (5,0%) e 1,4% de outros componentes (plástico, papelão, madeira, vidro e ferro), 0,02% de espuma, couro e tecido e 0,20% de embalagens de tinta, solvente e amianto, conforme indicado na Figura 2.

De acordo com os componentes encontrados nos resíduos analisados em Fortaleza, conclui-se que sua composição química se assemelha ao encontrado em São Paulo.

Analisando-se as composições dos resíduos, tem-se uma ideia dos materiais predominantes em uma obra e, por consequência, pode-se identificar, inicialmente, a possível composição química da poeira gerada em uma obra de construção civil.

Figura 2. Composição do resíduo de construção civil em Fortaleza/CE



Fonte: Adaptado de LIMA e CABRAL (2013)

O estudo realizado por Santos (2018), em um canteiro de obra na cidade de Londrina/PR, constatou a presença no MP 10 dos elementos magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), titânio (Ti) e ferro (Fe), correlacionados com os materiais de construção utilizados na obra, bem como a queima de combustível.

O autor ainda destacou a maior concentração de cálcio (Ca), silício (Si) e ferro (Fe), que são encontrados nos cimentos, areia, cal e gesso, utilizados em larga escala na construção civil. Ainda se acrescentou que o titânio (Ti), manganês (Mn) e o zinco (Zn), foram encontrados em todas as amostras estudadas, ainda que em pequena quantidade, onde o autor afirmou que sua provável origem seria o aço. Tais elementos também podem ocorrer em outros componentes, como telhas metálicas, esquadrias, entre outros.

Na cidade de Salvador/BA, de acordo com Araújo, Costa e Moraes (2014), foram encontrados os elementos cálcio (Ca), silício (Si), cloro (Cl), alumínio (Al) e ferro (Fe), independente da sua fase de medição. Os autores ainda afirmaram que não foi possível identificar a atividade específica que emitiu esse MP e acrescentou que as atividades em execução utilizavam materiais com perfis químicos semelhantes.

De acordo com os componentes encontrados nos resíduos analisados em Fortaleza, conclui-se que sua composição química se assemelha ao encontrado em São Paulo. Analisando-se as composições dos resíduos, tem-se uma ideia dos materiais predominantes em uma obra e, por consequência, pode-se identificar, inicialmente, a possível composição química da poeira gerada em uma obra de construção civil.

Moraes, Costa e Araújo (2016) afirmaram que, no seu estudo realizado na cidade de Salvador/BA, não foi possível identificar nenhuma atividade específica na fase de estrutura e alvenaria de forma diferenciada para a geração de MP. Os mesmos ainda acrescentam que análises químicas das amostras coletadas nos cinco canteiros de obra estudados mostraram que os principais elementos químicos identificados nos materiais de construção são silício (Si),

cálcio (Ca), ferro (Fe), alumínio (Al), enxofre (S) e potássio (K).

Iqbal, Baig; e Khan (2017) afirmam que é possível prever as características físico-químicas do material particulado em suspensão apenas determinando os parâmetros correspondentes de material inerte fino presente no canteiro de obras. No seu estudo, foram avaliadas as concentrações dos metais alumínio (Al), cálcio (Ca), níquel (Ni), ferro (Fe) e zinco (Zn); dos íons sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e cloreto (Cl), além dos valores de pH e condutividade elétrica. Foi utilizada a análise de regressão linear, que apresentou todas as diferenças percentuais, com relação aos valores reais, abaixo de 20%. Desse modo, segundo os autores, reforça-se a confiabilidade do modelo desenvolvido.

Conforme estudo elaborado por Weggeberg et al. (2016), no trabalho de reabilitação de túnel analisado, foi constatada a presença dos elementos silício (Si), alumínio (Al), magnésio (Mg), titânio (Ti), manganês (Mn), bário (Ba) e zircônio (Zr), associados ao $MP_{2,5}$, sendo oriundos das atividades de perfuração de rocha e tráfego de veículos e outros equipamentos de construção. Os mesmos autores ainda complementam que outros elementos como cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co) e vanádio (V) também foram amplamente encontrados com uma proporção de massa em partículas maiores. Outros elementos potencialmente tóxicos como arsênio (As), chumbo (Pb), cobre (Cu) e selênio (Sn) foram encontrados na fração respirável (WEGGERBERG et al., 2016).

De acordo com Saliba (2016), nos particulados podemos encontrar sílica, asbestos, algodão, caulim, grãos (trigo, cevada) e partículas (insolúveis ou de baixa solubilidade) não especificadas de outra maneira – PNOS. O mesmo classifica a poeira quanto ao seu efeito no organismo, conforme resumido na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da poeira quanto ao efeito no organismo

Tipo	Efeito	Doença / Causador
Pneumoconiótica	Pode provocar algum tipo de pneumoconiose	Silicose (Sílica), asbestose (fibras de abesto), siderose (ferro), entre outras.
Tóxica	Pode provocar enfermidade tanto por inalação quanto por ingestão	Chumbo, mercúrio, arsênio, cádmio, manganês, cromo, entre outros metais
Alérgica	Pode causar algum tipo de processo alérgico	Poeira de resina epóxi e algumas poeiras de madeira
Inerte	Produz enfermidades leves e reversíveis	Sílica em concentração menor do que 1,0% e não conter asbesto. Causador de bronquites e resfriados

Fonte: Adaptado de SALIBA (2016)

A sílica é encontrada na natureza em abundância, pois constitui a maior parte da crosta terrestre. Sua fórmula química é constituída por um átomo de silício e dois de oxigênio (SiO_2), podendo-se unir a outros, formando diversas estruturas cristalizadas, podendo se apresentar na forma de quartzo, cristobalita, tridmita ou amorfa, sendo sua nocividade maior de acordo com sua forma, onde a sílica amorfa e fundida é menos nociva que a cristalizada, (SALIBA, 2016).

Kulscar Neto et al. (2010) ainda complementa que a sílica livre cristalizada, tendo como o quartzo sua forma mais conhecida, é a principal causadora da doença silicose. Em ambientes de trabalho sujeito a exposição à poeira de sílica, a NR15 (BRASIL, 1978) estabelece o seu limite de tolerância em função do percentual de quartzo, para a poeira total e respirável. O limite recomendado estabelecido pela National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH (2007) é de 0,05 mg/m³.

Quanto às fibras de asbesto, Saliba (2016) afirma que a principal causa de dano está relacionada a forma das partículas. A NR15 (BRASIL, 1978) estabelece o limite tolerável de 2,0f/m³ para o asbesto cristolita.

Referente a poeira de algodão, o autor supracitado afirma que poderá ser desenvolvida uma enfermidade denominada bissinose, que está associada a quantidade inalada de poeira e o tempo de exposição.

Com relação à poeira de caulim, a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) afirmou que a poeira de caulim pode causar dano à pele e às mucosas, além de pneumoconiose, no caso de inalação excessiva (SALIBA, 2016). A NIOSH (2007) estabeleceu um limite recomendado para exposição ao caulim de 10 mg/m³ para as partículas totais e 5 mg/m³ para as frações respiráveis.

No que se refere ao material particulado proveniente do manuseio de madeira, quando utilizada madeira dura, esta pode ser derivada de espécies de árvores de folhas grossas, tendo a ACGIH informado que a exposição à sua poeira pode produzir diversos efeitos na saúde do ser humano, tais como dermatite, irritação, alergias respiratórias e câncer (SALIBA, 2016).

No que diz respeito à exposição à poeira dos grãos, o referido autor afirma que, de acordo com estudos epidemiológicos realizados nas últimas décadas, pode causar doenças como “febre do grão”, chiado, dor no peito, tosse, bronquite, irritação nasal e nos olhos, além de sintomas de doenças respiratórias crônicas. Quanto à inalação de PNOS, o mesmo menciona que, de acordo com a ACGIH, mesmo se tratando de partículas inertes, as mesmas podem causar efeitos à saúde, sendo recomendado que suas concentrações ambientais mantenham-se abaixo de 3,0 mg/m³ para partículas respiráveis e 10 mg/m³ para partículas inaláveis, até que se estabeleça um limite de exposição para substância específica.

O autor referenciado anteriormente ainda citou que a poeira de sílica e madeira estão presentes na construção civil.

Porém, também está presente o PNOS, oriundos do uso de cimento e cal, e o caulim, que pode ser utilizado na construção civil tanto na forma in natura, como agregado miúdo, ou após tratado, onde resulta o metacaulim, como aditivo nas argamassas e concretos, segundo Azerêdo (2012). Fibras de asbesto também podem ser encontradas em obras, devido ao uso de materiais que possuem amianto, como telhas, caixas d'água entre outros.

Na pesquisa realizada Martins (2009), a atividade de corte de cerâmica e granito foi a atividade que apresentou elevadas concentrações de sílica cristalina na forma de α -quartzo, enquanto a preparação da massa de gesso e assentamento em superfícies apresentou

concentrações baixas. Quanto à poeira emitida pelo lixamento de massa corrida, as concentrações ultrapassaram o limite estabelecido para poeira inalável total e praticamente igualaram o nível de ação para a poeira inalável respirável, não tendo sido encontrados valores acima dos limites determinados na atividade de produção de argamassa e concreto, executada com betoneira (MARTINS, 2009). O autor ainda menciona que, em todas as obras visitadas, a poeira de cimento para a fabricação de argamassa foi a que apresentou maior frequência, seguida pela poeira da madeira, da areia, poeira de varrição, da cal, gesso, e poeira proveniente de demolição ou reforma. O mesmo ainda acrescenta que apenas 1% da amostragem é relativa ao corte ou polimento de pedras ornamentais, sendo a de maior potencial danoso à saúde humana, devido a maior concentração de sílica apresentada.

Embora o estudo elaborado por Martins (2009) possua enfoque voltado para a saúde ocupacional da mão de obra na construção civil, tais poeiras citadas pela autora também podem exercer influência nas áreas de entorno da obra, expondo os moradores das edificações vizinhas aos mesmos riscos, aos quais a equipe de trabalho se encontra, ainda que em menor proporção.

Segundo Azarmi et al. (2016), a queda na concentração de MP₁₀ e MP_{2,5} decresce em escala logarítmica, diminuindo de valor à medida em que se cresce a distância entre o ponto de medição e a fonte emissora, que será o canteiro de obras.

Segundo César et al. (2013), as internações por doenças respiratórias em crianças de até dez anos de idade estão associadas positiva e significativamente à emissão de PM_{2,5}.

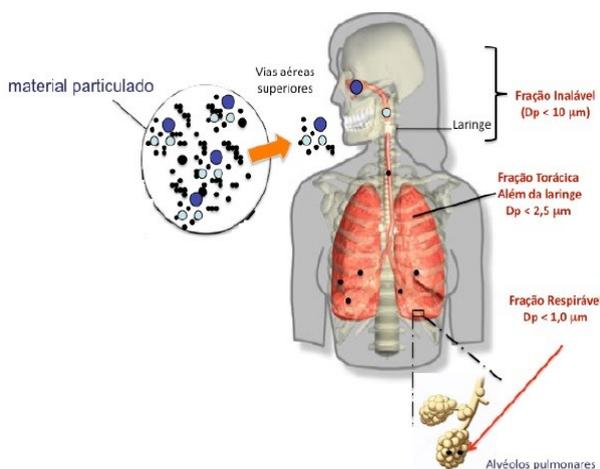
O estudo realizado por Gouveia et al. (2006) mostrou que um acréscimo de 10 μ g/m³ na concentração de material particulado inalável está associada a um incremento de 4,6% nas internações por asma em crianças 4,3% por doença pulmonar obstrutiva crônica em idosos, bem como 1,0% e 1,5% para, respectivamente, doenças do aparelho circulatório e doenças isquêmicas do coração, também em idosos.

O tamanho do material particulado está diretamente relacionado com o seu potencial de provocar efeitos adversos à saúde humana (SOUZA et al., 2010; BRITO; ARAÚJO; SILVA, 2018).

Quanto menor o tamanho da partícula, mais profunda poderá ser sua penetração no sistema respiratório trazendo, como consequência, um maior dano à saúde (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011; BRITO; ARAÚJO; SILVA, 2018), conforme representado na Figura 3.

A poluição por MP afeta principalmente os sistemas cardiovascular e respiratório, também existindo estudos que associam a efeitos no sistema reprodutor (BRITO; ARAÚJO; SILVA, 2018).

Figura 3. Representação das áreas de depósito do material particulado



Fonte: GUARIEIRO; VASCONCELLOS e SOLCI (2011)

Na construção civil, devido aos materiais utilizados, podemos citar o risco de ocorrência das seguintes doenças pulmonares: silicose, asbestose, pneumoconiose por abrasivos, siderose, silicatose, entre outras. Segundo Kulscar Neto et al. (2010), a silicose é causada pelo acúmulo de poeira que contém sílica nos pulmões, com a consequente reação dos tecidos pulmonares, sendo uma doença incurável. Santos et al. (2010) ainda afirmam que a silicose é a principal causa de invalidez entre as pneumoconioses ocupacionais. Segundo Cullinan e Reid (2013), os trabalhadores da construção civil constituem um dos grupos de risco para a contração de silicose.

A asbestose ocorre em consequência à exposição inalatória a poeiras contendo fibras de asbesto, tendo como sintomas dificuldade de respiração e tosse seca (BRASIL, 2006). Martins (2009) define a asbestose como o a cicatrização do tecido pulmonar causada pela aspiração do pó de asbesto (amianto), depositando-se profundamente nos pulmões. Ferreira (2018) afirma que entre suas características se encontram tosse seca e dificuldade de respiração. A pneumoconiose por abrasivos tem como causa a inalação de poeiras de abrasivos como alumina (Al_2O_3) e o carbetto de silício (SiC) (BRASIL, 2006). O primeiro se encontra presente nos compostos de cimento.

Acrescenta-se ainda que, de acordo com Tokmechi (2011), a exposição à poeira de cimento pode causar, além da pneumoconiose, o comprometimento da função pulmonar, doença pulmonar obstrutiva crônica, e carcinoma.

A pneumoconiose por materiais abrasivos tem como uma de suas características o aparecimento de tecido cicatricial no pulmão (BRASIL, 2006). A siderose é causada por exposição ao ferro (BRASIL, 2006). Pode se caracterizar por manchas no pulmão, com possível deposição de partículas (BRASIL, 2006).

O ferro pode estar presente no cimento, no aço que compõe o concreto armado e nos demais elementos metálicos utilizados na construção. De acordo com o Ministério da Saúde (BRASIL, 2006), a silicatose ocorre pela inalação de poeira de silicatos, que estão presentes no cimento. A enfermidade pode ser caracterizada por ocorrência de cicatrização no tecido pulmonar (BRASIL, 2006). As unidades de medida mais empregadas na medição de poluentes atmosféricos, segundo Lisboa (2010), se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Unidades de medida utilizadas para a medição de poluentes atmosféricos

Unidade	Simbologia
Microgramas por metro cúbico	$\mu g/m^3$
Partes por milhão	ppm
Milhões de partículas por pé cúbico de ar	mmpc

Fonte: LISBOA (2010)

A Organização Mundial de Saúde (OMS)/World Health Organization (WHO) publicou, em 2006, padrões atualizados de qualidade do ar. A publicação é destinada ao uso mundial, porém os governos deverão considerar suas próprias circunstâncias locais antes de adotar qualquer padrão (WHO, 2006). Os limites recomendados pela OMS são resultantes de avaliações das evidências científicas existentes até o ano de 2005. Os valores de referência recomendados pela OMS para as partículas de $MP_{2,5}$ e MP_{10} estão indicados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de referência para o MP_{10} e $MP_{2,5}$, recomendados pela OMS

Poluente	Concentração ($\mu g/m^3$)	Período de referência
$MP_{2,5}$	10	Média anual
	25	Média em 24 horas
MP_{10}	20	Média anual
	50	Média em 24 horas

Fonte: WHO (2006)

No Brasil, os padrões de qualidade do ar são definidos pela resolução nº 491, do CONAMA (BRASIL, 2018), onde os limites deverão ser adotados de forma gradativa, em quatro etapas, de acordo com o seu artigo 4º. As quatro etapas referidas no instrumento legal são denominadas de padrões intermediários PI-1, PI-2, PI-3, e padrão final PF. A primeira etapa entrou em vigor a partir da publicação da resolução (BRASIL, 2018). As etapas subsequentes (PI-2, PI-3 e PF) serão adotadas de acordo com os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distritais de meio ambiente (BRASIL, 2018). A etapa PF corresponde aos limites definidos pela OMS (BRASIL, 2018). Os valores de referência nacional estão dispostos na Tabela 4, considerando a média aritmética anual e a medição em um período de 24 horas.

Tabela 4. Valores de referência para o MP₁₀, MP_{2,5} e PTS

Poluente	PI-1 (µg/m ³)	PI-2 (µg/m ³)	PI-3 (µg/m ³)	PF (µg/m ³)	Período de referência
MP ₁₀	120	100	75	50	24 horas
	40	35	30	20	Anual
MP _{2,5}	60	50	37	25	24 horas
	20	17	15	10	Anual
PTS	-	-	-	240	24 horas
	-	-	-	80	Anual

Fonte: Brasil (2019)

O estudo realizado por Araújo, Costa e Moraes (2014) realizou a medição da concentração de MP em um canteiro de obras na cidade de Salvador/BA, com a aferição realizada em quatro pontos distintos, sendo um deles fixado na entrada do canteiro e realizada sua medição nas três fases da obra, sendo este chamado de ponto fixo, enquanto os outros três foram posicionados em locais diferentes, na saída do canteiro, um ponto para cada fase da obra estudada, sendo denominados de pontos 1, 2 e 3. As três fases analisadas pelo autor se encontram na Tabela 5, contendo as atividades realizadas e os métodos empregados para controle da emissão de poeira.

Tabela 5. Atividades de construção e métodos de controle de poeira

Atividades e métodos	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Serviços de construção nos pontos distintos	<p>Ponto 1 Atividades principais: Escavação manual, meso-estrutura, arrasamento de fundações em estacas helicoidais, tráfego de veículos no solo, transporte terrestre, tráfego de caminhões no local de construção.</p> <p>Outras atividades ao redor: Superestrutura, alvenaria de elevador, execução de auto nivelamento, piso, alvenaria, execução de revestimento em argamassa, tratamento de concreto e regularização de piso com cimento</p>	<p>Ponto 2 Atividades principais: Execução de reforço em concreto (pilares, vigas e lajes), alvenaria de elevador, execução de argamassa, e alvenaria do shaft.</p> <p>Outras atividades ao redor: Acabamentos no interior e exterior (revestimento cerâmico de parede, revestimento de argamassa, filete de mármore e granito na porta), canalização e instalação elétrica sistemas de impermeabilização com manta de asfalto e impermeabilização com cimento cristalizante.</p>	<p>Ponto 3 Atividades principais: Atividades de acabamento em argamassa externa e interna, rejunte na fachada de alvenaria, revestimento cerâmico (parede), impermeabilização com cimento cristalizante, bancadas de mármore e granito, forro de placas de gesso cartonado, lixar (parede e teto).</p> <p>Outras atividades ao redor: Execução de concreto armado (pilares, vigas e lajes), alvenaria de elevador, execução de argamassa e alvenaria de eixo.</p>
Serviços de construção nos pontos fixos	<p>Atividades principais: transporte de material, movimentação de veículos e arredores das atividades de construção em geral.</p> <p>Outras atividades em torno do bairro</p>		
Métodos de controle de poeira	<p>Borrifor água para as rotas dentro do canteiro de obras</p> <p>Rota de tráfego cuidadosa</p> <p>Todos os caminhões que entram e saem do canteiro foram cobertos</p>	<p>Borrifor água para as rotas dentro do canteiro de obras</p> <p>Rota de tráfego cuidadosa</p> <p>Todos os caminhões que entram e saem do canteiro foram cobertos</p>	<p>Borrifor água para as rotas dentro do canteiro de obras</p> <p>Rota de tráfego cuidadosa</p> <p>Todos os caminhões que entram e saem do canteiro foram cobertos</p> <p>Sistema de telas ao redor da edificação para mitigar as atividades de argamassa de fachada de poeira</p>

Fonte: ARAÚJO, COSTA e MORAES (2014)

Os autores ainda descrevem que no ponto fixo foram realizadas medições no período de 22h e 8h para o MP₁₀, e no período de 8h para o MP_{2,5} e as PTS, tendo as medições nos pontos 1, 2 e 3 sido realizadas apenas para o período de 8h; e que a aferição no período de 8 horas foi realizada entre 7:00h e 15:00h, durante o funcionamento da obra. Vale salientar que, apesar da legislação estabelecer limites de concentração para períodos de 24 horas, a jornada diária de trabalho em uma obra de construção civil consiste, em média, 8 horas. Desse modo, durante as horas de funcionamento da obra, ocorrerão as maiores concentrações de MP.

Os resultados das medições realizadas pelos autores, para o ponto fixo, se encontram na Tabela 6. A concentração de MP₁₀ para o período de 22 horas apresentou seu maior valor na fase 1, com 78,32 µg/m³. O seu valor mínimo foi de 48,33 µg/m³, na fase 3. Os valores medidos se encontram entre o padrão intermediário PI-3 e o padrão final PF da Resolução nº 491, do CONAMA (BRASIL, 2018).

Quanto ao período de 8 horas, que corresponde a jornada de trabalho, as concentrações de MP₁₀ oscilaram entre os padrões intermediários PI-2 e PI-1, em quantidade superior ao período de 22 horas, com uma diferença em torno de 70%. As concentrações de MP_{2,5}, no período de 8

Tabela 6. Estatística descritiva das medições no ponto fixo de um canteiro de obras na cidade de Salvador/BA

Estatísticas descritivas	Ponto fixo, Fase 1				Ponto fixo, Fase 2				Ponto fixo, Fase 3			
	TS	MP ₁₀ 8h	MP ₁₀ 22h	MP _{2,5}	PTS	MP ₁₀ 8h	MP ₁₀ 22h	MP _{2,5}	PTS	MP ₁₀ 8h	MP ₁₀ 22h	MP _{2,5}
Máximo ¹	448,28	131,11	78,32	48,59	327,88	108,01	63,22	58,15	608,97	117,46	56,86	67,87
Média ¹	339,01	90,71	53,26	43,87	287,47	89,31	51,77	43,93	325,09	78,30	46,96	50,24
Mediana ¹	333,54	87,82	41,16	44,55	297,46	88,97	43,26	42,64	274,71	74,12	33,22	48,13
Mínimo ¹	183,3	64,18	48,52	38,56	222,33	60,74	53,24	30,08	125,37	45,43	48,33	38,66
Desvio Padrão ¹	90,65	23,96	13,38	3,40	37,65	16,00	7,08	8,48	145,30	23,12	8,88	9,74
Coefficiente de variação	27%	26%	25%	8%	13%	18%	13%	19%	44%	29%	19%	19%

⁽¹⁾ em µg/m³

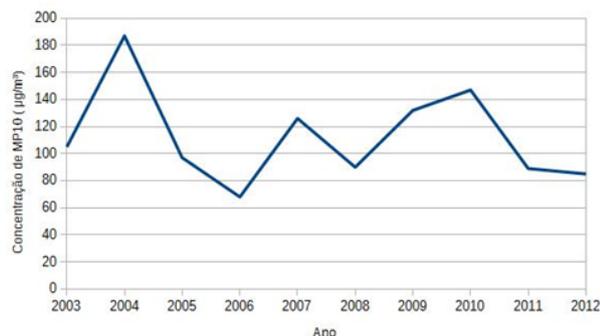
Fonte: ARAÚJO, COSTA e MORAES (2014)

horas, 30,08 µg/m³ e 78,32 µg/m³, considerando as medições em todas as fases da obra, estando sua média próxima ao padrão PI-2.

O valor médio das partículas totais em suspensão supera o limite padrão final PF de 240 µg/m³, conforme já indicado na Tabela 4, chegando a uma diferença máxima de 153,7%.

Entre os anos de 2003 e 2012, o IBGE monitorou as concentrações de MP₁₀ na cidade de Salvador/BA.

Os valores máximos das concentrações no período supracitado, oscilaram entre 85 µg/m³, no ano de 2012, e 187 µg/m³, em 2004. O gráfico da Figura 4 indica variação da concentração de MP₁₀ na atmosfera da cidade.

Figura 4. Valores das concentrações máximas de MP₁₀ na cidade de Salvador/BA, entre os anos de 2003 a 2012

Fonte: IBGE (2019)

Os valores encontrados por Araújo, Costa e Moraes (2014) para a quantidade de MP₁₀ na obra estudada foram inferiores as quantidades máximas anuais aferidas pelo IBGE, considerando-se os períodos de 8 e 22 horas.

Vale salientar que a legislação brasileira não considera o canteiro de obras como fonte geradora de resíduos, tampouco a composição química dos mesmos, se atendo apenas à concentração das partículas em termos de massa, podendo representar um risco potencial tóxico significativa (ARAÚJO; MORAES; COSTA, 2017).

Segundo César et al. (2013), ocorreram 437 internações por doenças respiratórias em crianças com até dez anos de idade em Piracicaba/SP, entre 1 de agosto de 2011 e 31 de julho de 2012.

O autor ainda cita que, no período, a concentração média diária de MP_{2,5} foi de 28,6 µg/m³, dentro dos limites legais brasileiros, e que os valores

máximo e mínimo foram, respectivamente, 1,0 e 113,0 µg/m³.

Segundo César et al. (2013), ocorreram 437 internações por doenças respiratórias em crianças com até dez anos de idade em Piracicaba/SP, entre 1 de agosto de 2011 e 31 de julho de 2012.

Os autores ainda citam que, no período, a concentração média diária de MP_{2,5} foi de 28,6 µg/m³, dentro dos limites legais brasileiros, e que os valores máximo e mínimo foram, respectivamente, 1,0 e 113,0 µg/m³.

Segundo Payus, Mian e Sulaiman (2017), condições meteorológicas como temperatura, umidade e velocidade do vento influenciam na caracterização do MP de acordo com seu tamanho.

Guerra e Miranda (2011) afirmam que a precipitação e a velocidade dos ventos são relacionadas com a poluição atmosférica, atuando como mecanismos dispersores dos poluentes. Um estudo realizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, por Santos, Carvalho e Reboita (2016), constatou a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) na concentração de poluentes atmosféricos.

Payus, Mian e Sulaiman (2017) afirmaram que a emissão de MP em atividades de construção civil é oriunda, principalmente, dos serviços de superestrutura, admitindo a possibilidade de influência da sobreposição de atividades.

De acordo com o estudo elaborado por Rabbani et al. (2014), através de análises de laboratório, que os serviços mais críticos em termos de exposição à poeira são o corte de elementos cerâmicos, corte de madeira com serra circular e o lixamento de paredes e tetos, antes da pintura.

Os autores ainda complementam que o nível de poeira gerada pela mistura de concreto e argamassas, bem como pela limpeza do canteiro, se encontrou abaixo dos limites estabelecidos, porém, ainda devem ser considerados no contexto da prevenção de doenças pulmonares. Para a identificação das atividades emissoras de MP, Resende e Cardoso (2008) propuseram que as mesmas fossem separadas em três grupos distintos: demolições, movimentação de terra e serviços preliminares, e serviços de construção. Os autores ainda sugeriram mais dois grupos, sendo eles: transporte, armazenagem e remoção de materiais e resíduos; bem como os veículos e equipamentos de produção e transporte.

Apesar das atividades de demolição ocorrerem em um curto período de tempo, sua emissão de material particulado é bastante significativa, sendo suas partículas, em grande parte, de fração grossa, também sendo encontradas partículas da fração fina, oriundas da combustão dos motores dos veículos e equipamentos utilizados durante a execução do serviço (RESENDE; CARDOSO, 2008).

Os autores ainda acrescentam que, em muitos casos, demolições manuais ou mecanizadas tendem a gerar menos material particulado que o uso de explosivos.

As atividades de movimentação de terra e serviços preliminares estão entre as maiores fontes de geração de material particulado, sendo seus efeitos potencializados em períodos de seca, com grande quantidade de ventos e em campos abertos (RESENDE; CARDOSO, 2008).

Os mesmos ainda enfatizam que o uso de equipamentos mecânicos para a execução dos serviços faz com que a emissão seja elevada e que a movimentação de terra também está relacionada com o seu transporte, carga e descarga, onde a lama aderida aos pneus dos veículos constitui uma importante fonte de emissão de aerossóis, depois de seca.

Na pesquisa elaborada por Muleski, Cowred Junior e Kinsey (2005), as emissões durante a carga de caminhões foram 100 vezes maiores que na operação de descarga, podendo tal fato ser reflexo da operação de carga ocorrer em uma maior elevação do solo, estando mais exposta à ação dos ventos. Os autores ainda afirmam que o uso de moto scraper para terraplenagem produz cerca de dez vezes mais MP₁₀ que as operações de carga e descarga,

em uma distância típica de 300 a 600m, onde as emissões variam de 0,5 a 500 kg por 800 m³.

Com relação a serviços de escavação, Ketchman e Bilec (2013) afirmaram que a atividade de maior índice de emissão de MP_{2,5-10} e MP_{2,5} foi o transporte de solo, seguido pela escavação do local. Entre as medidas de controle estão manter a umidade do solo e executar a lavagem dos pneus dos veículos sempre que os mesmos se retirarem do canteiro (RESENDE; CARDOSO, 2008).

De acordo com o estudo de Muleski, Cowred Junior e Kinsey (2005), testes de lama e sujeira demonstram que um teor de umidade de 10% no solo indica uma estimativa razoável do valor limite que torna a irrigação contra produtiva. Os mesmos ainda afirmaram que o uso de cascalho ou pavimentação, em um pátio de 7,6m, apresentaram uma eficiência na faixa de 40% a 50%. Quanto aos serviços de construção, Resende e Cardoso (2008) os definem como àqueles referentes à execução da estrutura, vedações e acabamentos e citam que a racionalização ou industrialização de uma atividade pode reduzir seu potencial emissor, pois a atividade geradora seria reduzida ou eliminada.

O resumo do potencial de emissão de cada atividade de construção se encontra na Tabela 7.

Na pesquisa realizada por Paschoalin Filho et al. (2017), na cidade de São Paulo/SP, das nove obras analisadas, sete possuíam lava rodas para veículo, realizavam aspersão de água com caminhão pipa e utilizavam dispositivos para coleta de resíduos pulverulentos, enquanto três possuíam lava bicas para bombas de concretagem e caminhão betoneira e as baias de resíduo devidamente cobertas.

Tabela 7. Potencial de emissão das atividades de construção civil

Atividade Geradora de MP	Corte 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 Maçaricos/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				
Revestimentos externos								□	x				
Pisos argamassados								□	x				
Revestimentos cerâmicos	□			■		■		■	x				
Esquadrias	■		■	■	■								
Pintura					□	■	□						
Cobertura	□		■			x			x				
Impermeabilização						■				□	■	x	
Pavimentação	□					□		■	x	■		□	□
Paisagismo						■							□
Sistemas prediais	x	x	x	■		x		x	x	x	x	x	□

■ Ocorre com maior intensidade/frequência

x Ocorre com menor intensidade/frequência

□ Atividades com maior potencial de emissão de MP

Fonte: Adaptado de RESENDE e CARDOSO (2008)

Tokmechi (2011) afirma que os principais causadores de poeira em uma obra seriam os silos para armazenamento de cimento, quando houver, e as vias de tráfego sem pavimentação, ainda citando os equipamentos para mistura do concreto, para produção de agregados e o serviço de transporte de materiais porosos.

Paschoalin Filho et al. (2017) afirmam que a estabilização das vias é de grande importância para reduzir a emissão de poeira durante o trânsito de equipamento nas obras.

De acordo com Su et al. (2010), o uso de palha trançada no piso externo do canteiro de obras para a redução da emissão de MP possui uma maior eficiência quanto a redução do MP₁₀ em relação ao MP_{2,5}, ambos apresentando eficiências de 40% e 12%, respectivamente.

Os autores ainda complementam que a sua eficiência depende o índice de cobertura do material. Chang et al. (2014) afirmou que existe a possibilidade de utilização de grama para a redução de MP₁₀, porém sua eficiência está diretamente relacionada com a altura da vegetação.

Os mesmos complementaram que sua eficiência pode se aproximar de zero caso a altura da grama for menor que 2 cm, e que a redução de MP₁₀ é ineficiente se a grama não for alta o suficiente sobre a área exposta.

Conclusão

Com base nas referências analisadas, fica evidente que a exposição à poeira oriunda de atividades da construção civil não se resume exclusivamente à sua quantidade emitida, mas também à composição química do poluente, que pode desencadear inúmeros problemas de saúde não apenas para os empregados do setor, mas também aos habitantes das áreas adjacentes a qualquer canteiro de obras.

Apesar de ter sido constatado, na literatura observada, o seu uso, a implantação de métodos coletivos para controle de emissão de material particulado na construção civil não é obrigatória. As normas regulamentadoras brasileiras são voltadas apenas para os profissionais atuantes na área.

Os estudos verificados também constataram a ocorrência de problemas de saúde referentes a níveis de concentração de material particulado que se encontravam dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, o que reforça ainda mais a necessidade de adoção de medidas coletivas de controle de emissão de poeira nos canteiros de obra.

Desse modo, tais medidas deverão se tornar obrigatórias, com a finalidade de reduzir o impacto causado pela poluição atmosférica nas regiões em torno dos canteiros de obra.

Também deverão ser revistos os padrões atuais de qualidade do ar no Brasil, em termos de concentração de poluentes emitidos, bem como estabelecendo limites para os componentes químicos que o constituem.

Limitações deste Estudo

Este estudo possui limitações quanto ao universo pesquisado, visto que apenas uma base de dados foi utilizada, sendo, entretanto, os dados apresentados representativos deste universo nas condições de contorno da pesquisa apresentadas.

Referências

ARAÚJO, I.P.S.; COSTA, D.B.; MORAES, R.J.B. Identification and Characterization of Particulate Matter Concentrations at Construction Jobsites. *Sustainability*, v. 6, Issue 11, p. 7666-7688, 2014.

ARAÚJO, I.P.S.; MORAES, R.J.B.; COSTA, D.B. Boas Práticas para Redução da Emissão de Material Particulado Proveniente dos Canteiros de Obras. In: SERRA, S.B.; COSTA, D.B.; SAURIN, T.A.; CARDOSO, F.F. (Org.). *Tecnologias para o Canteiro de Obras Sustentável*. São Carlos: FINEP, 2017, cap. 4, p. 91-105.

AZARMI, F.; KUMAR, P.; MARSH, D.; FULLER, G. Assessment of the long-term impacts of PM₁₀ and PM_{2.5} particles from construction works on surrounding areas. *Environmental Science: Processes & Impacts*, v. 18, Issue 2, p. 208-221, 2016.

AZERÊDO, A.F.N. *Estudo do Resíduo de Caulim em Argamassas a Base de Cal Quanto às suas Propriedades Frescas, Endurecidas e Microestruturais*. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

BOUROTTE, C.L.M.; SANCHÉZ-CCOYLLO, O.R.; FORTI, M.C.; MELFI, A.J. Chemical composition of atmospheric particulate matter soluble fraction and meteorological variables in São Paulo State, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 3, p. 419-432, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 491, de 19 de Novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 155, n. 223, p. 155-156, 21 de novembro de 2018.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Glossário de termos técnicos ambientais rodoviários**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Seção 1, ano 119, n. 167, p. 16509-16512, 02 de setembro de 1981.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Pneumoconioses**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 15: Atividades e operações insalubres**. Diário Oficial da União: Seção 1, ano 116, n. 247, p. 10455-10482, 06 de julho de 1978.

BRASIL. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. **Resolução nº 1.116, de 26 de Abril de 2019**. Estabelece que as obras e os serviços no âmbito da Engenharia e da Agronomia são classificados como serviços técnicos especializados. Diário Oficial da União: Seção 1, ano 157, n. 84, p. 54, 03 de maio de 2019.

BRITO, P.H.F. ARAÚJO, R.S. SILVA, G.M.M. Composição Química do Material Particulado Atmosférico: Uma Revisão de Literatura. *Revista Holos*, ano 34, v. 4, p. 62-68, 2018.

BRITO, G. F. S. SODRÉ, F. F. ALMEIDA, F. V. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 5, p. 1335-1354, 2018.

- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Banco de Dados. **PIB Brasil e Construção Civil: Participação (%) no Valor Adicionado Bruto (a preços básicos) Segundo as Classes e Atividades**. Brasília, 28 fev. 2019. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em 03 de Abril de 2019.
- CESAR, A.C.L. NASCIMENTO, L.F.C. CARVALHO Jr, J.A. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Rev. Saúde Pública**, v. 47, n. 6, p. 1209-1212, 2013.
- CHANG, Y.M. HU, W.H. SU, K.T. CHOU, C.M. KAO, J.C.M. LIN, K.L. PM10 Emissions Reduction from Exposed Areas Using Grass-Planted Covering: Field Study of a Construction Site. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 140, n. 12, 2014.
- CULLINAN, P. REID, P. Pneumoconiosis. **Primary Care Respiratory Journal**, v. 22, n. 02, p. 249-252, 2013.
- DANNI-OLIVEIRA, I.M. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **Revista Ra'e Ga**, v. 15, p. 113-126, 2008.
- FERREIRA, A.J.C.G. Doenças Ocupacionais Respiratórias – Perspectivas Atuais. **Revista Internacional em Língua Portuguesa**, n.34, p. 53-76, 2018.
- GALVÃO, M.C.B.; RICARTE, I.L.M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.
- GOUVEIA, N.; FREITAS, C.U.; MARTINS, L.C. MARCÍLIO, I.O. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, 2006.
- GUARIEIRO, L.L.N.; VASCONCELLOS, P.C.; SOLCI, M.C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 03, n. 5, p. 434-445, 2011.
- GUERRA, F.P.; MIRANDA, R.M. Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2, 2011, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: IBEAS, 2011. ISSN 2179-8400. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IV-007.pdf>. Acesso em: 03 de Abril de 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=249230>. Acesso em: 03 de Abril de 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Séries históricas e estatísticas. **Concentração de poluentes no ar em áreas urbanas - 1 Máxima concentração anual observada**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003-2012. Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=16&op=0&vcodigo=IU5&t=concentracao-poluente-ar-areas-urbanas-1>. Acesso em: 16 de Maio de 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **Orientação Técnica IBR nº 02/2009**: Obra e Serviço de Engenharia. Florianópolis: IBRAOP, 2009. Disponível em: <http://www.ibraop.org.br/orientacoes-tecnicas/>. Acesso em: 12 de Maio de 2019.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Relatório da qualidade do ar na região da grande Vitória 2005**. Cariacica: IEMA, 2006.
- IQBAL, K.; BAIG, M.A.; KHAN, S.J. Estimation of Physico-Chemical Characteristics of Suspended Particulate Matter (SPM) at Construction Sites: A Statistical Regression-Based Model. **Journal of The Chemical Society of Pakistan**, v. 39, n.2, 2017.
- KETCHMAN, K.; BILEC, M. Quantification of Particulate Matter from Commercial Building Excavation Activities Using Life-Cycle Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 12, 2013.
- KULSCAR NETO, F.; GRONCHI, C.C.; SAAD, I.F.S.D.; CUNHA, I.A.; POSSEBON, J.; TEIXEIRA, M.M.; AMARAL, N.C. **Sílica: manual do trabalhador**. 2. Ed. São Paulo: Fundacentro, 2010.
- LIMA, A.S.; CABRAL, A.E.B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 169-176, 2013.
- LISBOA, H.M. **Controle da Poluição Atmosférica**. Florianópolis: UFSC, 2010. ISBN 978-85-913483-0-5.
- MARQUES, R.; SANTOS, E.S. Redes de Monitoramento de Material Particulado Inalável, Legislação e os Riscos à Saúde. **Revista Hygeia**, v. 8, n. 14, p. 115-128, 2012.
- MARTINS, A.R.B. **Caracterização e avaliação de poeira presentes em canteiros de obras de edificações verticais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife.
- MORAES, R.J.B.; COSTA, D.B.; ARAÚJO, I.P.S. Particulate Matter Concentration from Construction Sites: Concrete and Masonry Works. **Journal of Environmental Engineering**, v. 142, issue 11, 2016.
- MULESKI, G. E.; COWRED JUNIOR, C.; KINSEY, J.S. Particulate Emissions from Construction Activities. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 55, issue 6, p. 772–783, 2005.
- MURILLO, J.H.; ROMAN, S.R.; MARIN, J.F.R.; RAMOS, A.C.; JIMENEZ, S.B.; GONZALEZ, B.C.; BAUMGARDNER, D.G. Chemical characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. **Atmospheric Pollution Research**, v. 4, issue 2, p. 181-190, 2013.
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-149**: NIOSH pocket guide to chemical hazards. Cincinnati: NIOSH Publications, 2007.
- PASCHOALIN FILHO, J.A.; BEZERRA, P.R.L.; FARIA, A.C.; OLIVEIRA, L.R.G.J. Diagnóstico de práticas de redução dos impactos ambientais no entorno adotadas por obras residenciais de diferentes regiões da cidade de São Paulo (SP). **Revista Holos**, ano 33, v. 4, 2017.
- PAYUS, C.; MIAN, L.Y.; SULAIMAN, N. Airborne Fine Particulate Emissions from Construction Activities. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 8, n. 7, 2017.
- PEREIRA, J.L.G. FORTES, J.D.N. MARTINS, E.M. Poluição do Ar por Material Particulado em Área Intraurbana no Rio de Janeiro: Aspectos Metodológicos. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, p. 53-67, 2015.
- PINTO, W.P.; REISEN, V.A.; MONTE, E.Z. Previsão da concentração de material particulado inalável, na Região da Grande Vitória, ES, Brasil, utilizando o modelo SARIMAX. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 307-318, 2018.
- PROSPERO, J. M.; BLADES, E.; MATHISON, G.; NAIDU, R. Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust. **Aerobiologia**, v. 21, n. 1, p. 1-19, 2005.
- QUEIROZ, P.G.M.; JACOMINO, V.M.F.; MENEZES, M.A.B.C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1233-1239, 2007.
- RABBANI, E.R.K.; SAPHIRA, A.; MARTINS, A.R.B.; BARKOKÉBAS JÚNIOR, B. Characterization and Evaluation of Dust

on Building Construction Sites in Brazil. **The Open Occupational Health & Safety Journal**, v. 5, p. 1-8, 2014.

RESENDE, F.; CARDOSO, F.F. **Poliuição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2008. ISSN 0103-9830.

ROTHER, E.T. Revisão Sistemática x Revisão Narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, p. 5-6, 2007.

SALIBA, T.M. **Manual prático de avaliação e controle de poeira e outros particulados: PPRA**. 8 Ed. São Paulo: LTR, 2016. ISBN 978-85-361-8697-9.

SANTIAGO, A.; PRADO, R.J.; MODESTO FILHO, P.; ALONSO, R.V. Caracterização do material particulado suspenso no ar de Cuiabá-MT no período de queimadas. **Revista Matéria**, v. 20, n. 1, p. 273-273, 2015.

SANTOS, C.; NORTE, A.; FRADINHO, F.; CATARINO, A.; FERREIRA, A.J.; LOUREIRO, M.; BARGANHA, M.F. Silicose – Breve revisão e experiência de um serviço de pneumologia. **Revista Portuguesa de Pneumologia**, v. 16, n. 1, 2010.

SANTOS, I.M. **Exposição a Material Particulado em um Canteiro de Obra da Construção Civil e sua Associação com Marcadores Inflamatórios Sanguíneos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

SANTOS, J.M.; REIS JÚNIOR, N.C. **Relatório Técnico: Caracterização e quantificação de partículas sedimentadas na região da Grande Vitória**. Vitória: Fundação Espírito-Santense de Tecnologia, 2011.

SANTOS, T.C.; CARVALHO, V.S.B.; REBOITA, M.S. Avaliação da Influência das Condições Meteorológicas em Dias com Altas Concentrações de Material Particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 307-313, 2016.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

SOUZA, P.A.; MELLO, W.Z.; MARIANI, A.L.; SELLA, S.M. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Revista Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1247-1253, 2010.

SU, K.T.; CHABG, Y.M.; HU, W.H.; CHEN, S.H.; WU, C.H.; LIN, K.C. Comparison of reduction efficiency of woven straw for entrained emissions of particulate matter with diameters less than 10 μm (PM₁₀) and less than 2.5 μm (PM_{2.5}) from exposed areas at construction sites. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 37, n. 5, p. 787-795, 2010.

TOKMECHI, Z. Dust Pollution And Its Effects In Construction Sites. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, n. 9, p. 2652-2657, 2011.

ULSEN, C.; KAHN, H.; ANGULO, S.C.; JOHN, V.M. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 2, p. 339-346, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Air Quality Criteria for Particulate Matter**. Research Triangle Park, NC: US EPA, 2004. v. 1.

WEGGEBERG, H.; FØRELAND, S.; BUHAGEN, M.; HILT, B.; FLATEN, T.P. Multi-element analysis of airborne particulate matter from different work tasks during subsea tunnel rehabilitation work. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 13, n. 10, p. 725-740, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005: Summary of risk assessment**. Geneva: WHO, 2006.