

COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS DE TINTAS IMOBILIÁRIAS E CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO PARA SUBSOLOS

Volatile organic compounds of housing paints and environmental certifications: case study in basements

Henrique Oliveira Merten¹, Matheus Borges Silva², Lucas Rosse Caldas³, Rosa Maria Sposto⁴

Recebido em 04 de julho de 2016; recebido para revisão em 19 de julho de 2016; aceito em 20 de setembro de 2016; disponível on-line em 25 de novembro de 2016.



PALAVRAS CHAVE:

COVs;
Tintas imobiliárias;
Certificação ambiental;
Legislação;
Subsolos.

KEYWORDS:

VOCs;
Housing paints;
Environmental certification;
Legislation;
Basements.

RESUMO: Compostos orgânicos voláteis são poluentes atmosféricos capazes de provocar uma série de danos à saúde dos seres humanos, o que mostra a importância do seu estudo. Apesar disso, as legislações e certificações ambientais vigentes no mundo e no Brasil apresentam parâmetros muitas vezes ineficientes em relação a esses contaminantes. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação das legislações e certificações ambientais nacionais e internacionais em relação ao critério de concentração de compostos orgânicos voláteis (COVs) em ambientes internos. Para tanto, foi apresentada uma avaliação simplificada da concentração de COVs emitidos por tintas imobiliárias nos subsolos de um edifício em Brasília, a fim de embasar a análise realizada. A principal contribuição deste trabalho foi apresentar a quantificação de COVs para o estudo de caso analisado, as lacunas presentes nas certificações e legislações ambientais com relação aos COVs, ressaltando os pontos que precisam ser melhorados na legislação para a minimização dos impactos à saúde causados por esses compostos.

ABSTRACT: Volatile organic compounds are air pollutants that can cause a lot of damage to human health, which shows the importance of their study. Despite this, laws and environmental certifications in the world and Brazil have parameters often inefficient in relation to these contaminants. In this context, this study aimed to evaluate the legislation and national and international environmental certifications for the criterion of concentration of volatile organic compounds (VOCs) in indoor environments. Therefore, it was presented a simplified evaluation of VOC concentration emitted by housing paints in the basement of a building in Brasilia, in order to base this analysis. The main contribution of this paper was to present the quantification of VOCs for the analyzed case study, the gaps present in certifications and environmental laws relative to VOCs, highlighting the points that need to improve in legislation to minimize the health impacts caused by the VOCs.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: merten.henrique@gmail.com (H. O. Merten)

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília – UnB.

² e-mail: matheusborges05@gmail.com (M. B. Silva)

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília – UnB.

³ e-mail: lrc.ambiental@gmail.com (L. R. Caldas)

Engenheiro Civil, Ambiental e Sanitarista, Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília – UnB.

⁴ e-mail: rmsposto@unb.br (R. M. Sposto)

Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília - UnB.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é apontada como uma indústria impactante do ponto de vista ambiental, sendo um dos motivos a qualidade do ar no interior dos edifícios. Para Caldas et al. (2015), é notória a necessidade de avaliação destes impactos ambientais, sendo que a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas mais utilizadas para atingir este objetivo. A NBR 14040 (ABNT, 2009) define a ACV como uma forma de análise dos impactos ambientais de todas as etapas inter-relacionadas de um sistema de produtos.

Um dos aspectos ambientais que pode ser avaliado em um estudo de ACV, relacionados com a qualidade do ar no interior dos edifícios é a concentração de compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos por diversos materiais e são responsáveis por impactos ambientais, como poluição atmosférica, tendo efeito nocivo à saúde humana; a presença desses compostos em concentração maior que a admitida por legislação ou agências de saúde pode indicar o que é denominado por edifícios doentes.

No Brasil, a legislação não estabelece limites de concentração de COVs para os ambientes internos construídos, existindo apenas uma menção na NR15 (MTE, 1994): Atividades e Operações Insalubres, que trata de insalubridade no local de trabalho, porém, seus limites não são atualizados desde 1994.

Outro aspecto que trata sobre a saúde em edifícios são as certificações ambientais, que são processos voluntários no Brasil e em outros países. Uma certificação ambiental se torna útil na construção civil, uma vez que visa a minimização dos impactos ambientais gerados pelos edifícios. O objetivo da certificação é mensurar a sustentabilidade de um empreendimento, mas também influenciar positivamente as empresas construtoras a tentar atenuar esses impactos. No entanto, não são todas as certificações que possuem quesitos relacionados aos COVs e as que possuem não estabelecem limites de concentração.

Dentre os materiais que emitem quantidades consideráveis de COVs podem ser citadas as tintas, que devido ao seu processo de

fabricação e aos insumos consumidos, provocam uma série de impactos ambientais. São produzidos resíduos sólidos, provenientes principalmente da filtração das tintas e das embalagens. São eliminados efluentes líquidos, gerados na limpeza dos equipamentos e que podem conter metais pesados e produtos tóxicos em sua composição. Além disso, são geradas emissões atmosféricas, que englobam materiais particulados e COVs, que podem causar uma série de danos à saúde dos seres humanos tais como problemas respiratórios, efeitos neurotóxicos e carcinogenicidade (SALASAR, 2006).

Neste sentido, o foco deste trabalho são os COVs emitidos por tintas imobiliárias, que são tóxicos em certas concentrações, causando várias doenças e afetando a qualidade do ar interior.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar os critérios presentes em legislações e certificações ambientais, nacionais e internacionais, em relação à concentração de compostos orgânicos voláteis (COVs) em ambientes internos. Além disso, como estudo de caso objetivou-se a quantificação da concentração de COVs emitidos por tintas imobiliárias nos subsolos de um edifício em Brasília-DF, comparando os resultados obtidos com os padrões de aceitação encontrados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TINTAS

A indústria de tintas para revestimentos produz uma grande variedade de produtos para diversos usos e com diferentes propriedades. De acordo com a tecnologia e com o mercado atendido, as tintas podem ser divididas em: tintas imobiliárias, destinadas à construção civil; tintas industriais do tipo OEM (*original equipment manufacturer*), usadas como matéria-prima para fabricação de outras tintas e esmaltes; e tintas especiais que podem ser utilizadas para demarcação de tráfego, repintura automotiva, aplicação em madeira, entre outros (CETESB e FIESP, 2006).

Segundo CETESB e FIESP (2006), a produção de tintas imobiliárias envolve o consumo

de uma série de insumos. A energia elétrica é necessária para o funcionamento do maquinário utilizado nas etapas do processo. A água, principal insumo, é importante tanto na lavagem dos equipamentos quanto na própria composição dos produtos, no caso das tintas látex. Além disso, são empregados diversos produtos químicos, como pigmentos, resinas e aditivos, que muitas vezes são tóxicos e corrosivos, demandando um tratamento especial para seu descarte.

As tintas imobiliárias são constituídas basicamente por: resinas (ou polímero ou ainda veículo), pigmentos, solventes e aditivos químicos. De acordo com o solvente incorporado à mistura, elas se dividem em tintas látex, cujo responsável pelo aspecto líquido é a água, e tintas base solvente, que possuem solventes orgânicos em sua composição (CETESB e FIESP, 2006).

Os processos de fabricação das tintas látex e base solvente são semelhantes. Ambos envolvem as etapas de pré-mistura e dispersão, onde os constituintes são misturados e agitados; completagem, na qual são ajustados os teores finais de componentes; filtração e, por fim, a embalagem do produto final. As diferenças entre os procedimentos se limitam aos resíduos produzidos em cada etapa provenientes da limpeza dos equipamentos, que no caso das tintas base água são apenas os materiais remanescentes, enquanto na produção das tintas base solvente ocorre, além da produção desses resíduos, a eliminação de solventes orgânicos (CETESB e FIESP, 2006).

O ambiente interno das edificações, lugares onde os usuários passam a maior parte de seu tempo diário devem ser livres de compostos nocivos. Atualmente, o ser humano está exposto a vários contaminantes químicos, entre eles os COVs emitidos por materiais de construção. Os projetistas das edificações são os responsáveis por proporcionar um ambiente saudável aos usuários, o que significa entre outras coisas, livre de COVs (PATIÑO GUÍO, 2013).

Os materiais de construção, contendo solventes orgânicos como tintas e vernizes, liberam COVs cujas consequências negativas para a saúde humana são conhecidas há já algum tempo. A redução da ventilação no interior das habitações

para se minimizarem gastos energéticos contribui para aumentar o volume destes poluentes e para agravar os seus efeitos sobre a saúde (TORRALBA e JALALI 2012).

Os COVs são definidos pela D3960 – 05 (ASTM, 2013) como qualquer composto orgânico que participa de reações fotoquímicas na atmosfera. As tintas, principalmente as que possuem base solvente, como a tinta a óleo e o esmalte sintético, emitem compostos orgânicos que contribuem para a formação do ozônio troposférico, que possui efeitos prejudiciais à saúde, pelo fato de ter caráter altamente oxidante.

3.2 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Para Santos (2015), que estudou um método de controle do teor de COVs em tintas, o principal problema ambiental com a emissão de COVs é sua reação com o oxigênio, que leva à formação de ozônio troposférico, um poluente atmosférico. De acordo com US-EPA (2001), quando encontrado na estratosfera, o ozônio forma uma camada protetora contra a ação da radiação ultravioleta do sol (UV-b), prejudicial à pele e que leva a casos de câncer de pele, catarata e redução do sistema imunológico. Porém, quando presente ao nível do solo, é prejudicial ao ser humano, pois pode causar dificuldade de respiração, tosse, enxaqueca, náusea e irritação na garganta, principalmente em pessoas que já possuem problemas respiratórios.

Durante a crise energética nos países frios, na década de 70, os edifícios começaram a ser construídos com menor troca térmica entre os ambientes interno e externo, a fim de reduzir o consumo de energia. Essas mudanças começaram a gerar problemas de saúde relacionados com a qualidade do ar. Esse problema foi denominado Síndrome dos Edifícios Doentes (SED), reconhecido pela Organização Mundial da Saúde desde 1982 (WHO, 2010).

Em relação aos COVs presentes nas tintas, a emissão nas obras se inicia na fase de acabamento, durante os processos de pintura, bem como nas primeiras idades de ocupação. As substâncias emitidas durante a execução da pintura podem afetar a saúde dos trabalhadores, causando

problemas de saúde ocupacional. As emissões continuam durante o período de ocupação do edifício, pelo fato de receberem manutenção periódica na pintura. A emissão contínua de COVs em ambientes internos pode gerar problemas característicos da Síndrome dos Edifícios Doentes (UEMOTO e AGOPYAN, 2006).

Nas certificações ambientais, como a *Leadership in Energy and Environmental Design* (USGBC, 2009) e Alta Qualidade Ambiental - AQUA, (Fundação Vanzolini, 2013), já existem referências às tintas usadas nos edifícios e sua emissão de COVs. No desenvolvimento de novos produtos, atualmente, já estão sendo considerados os impactos causados pela emissão de COV, levando ao uso de produtos menos agressivos aos ocupantes e trabalhadores.

Existem diversas pesquisas sobre a quantificação de COVs com ensaios em ambientes internos e de tintas como produto. Existem também várias referências sobre certificações ambientais no Brasil. No entanto, existe uma lacuna no estudo da concentração de COVs em ambientes internos comparada com limites estabelecidos em legislações e certificações ambientais.

Na indústria da construção civil, diversos materiais tradicionalmente usados emitem COVs. O Quadro 1 apresenta algum destes valores.

QUADRO 1: Valores de emissão de COVs para diferentes materiais.	
Material	COV (g/m ²)
Cimento CP III	0,3
Aço CA50	3,8
Madeira serrada	6,6
Madeira compensada	2,7
Tubo de PVC	1,0
Argamassa colante	1,8
Tinta acrílica	0,5
Tinta PVA	0,2

FONTE: Adaptado de Silva e Silva (2015).

3.3 CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM AMBIENTES INTERNOS

Existe uma série de pesquisas realizadas por instituições internacionais em relação à concentração de determinados COVs em ambientes internos. A Organização Mundial da Saúde, em 2004 (WHO, 2010), apresenta os valores de exposição para alguns COVs não cancerígenos e cancerígenos (Quadro 2) presentes na composição das tintas imobiliárias.

QUADRO 2: Limites de exposição de COVs para substâncias cancerígenas e não cancerígenas.			
Substâncias não cancerígenas			
Composto	Concentração ambiental média (µg/m ³)	Valor guia (VG) ou concentração tolerável (CT) (µg/m ³)	Tempo de exposição médio
Tolueno	5 – 150	260 (VG) 1000 (VG)	1 semana 30 min
Estireno	1,0 – 20,0	260 (VG) 70 (VG)	1 semana 30 min
Xilenos	1 – 100	4800 (VG) 870 (VG)	24 horas 1 ano
Etilbenzeno	1 – 100	22.000 (VG)	1 ano
Formaldeído	(1 -20) . 10 – 3	100 (VG)	30 min
Acetona	0,5 – 125	n.p.	-
Substâncias cancerígenas			
Composto	Concentração ambiental média (µg/m ³)	Valor guia (VG) ou concentração tolerável (CT) (µg/m ³)	Classificação IARC (International Agency for Research on Cancer)
Benzeno	5,0 – 20,0	(4,4 – 7,5) x 10 ⁻⁶	1
Cloreto de vinilo	0,1 – 10,1	1 x 10 ⁻⁶	1

FONTE: Adaptado de WHO (2010).

No Brasil, são aplicadas algumas normas em relação a limites de exposição a determinados COVs presentes em tintas imobiliárias. A Norma Regulamentadora NR-15 (MTE, 1994): Atividades e Operações Insalubres, apresenta em seu anexo XI os limites de exposição dos trabalhadores (Quadro 3) para alguns compostos orgânicos voláteis. É importante destacar que esses valores não são atualizados desde 1994.

Outras leis vigentes no Brasil tentam estabelecer um controle das emissões de compostos orgânicos voláteis pelas tintas, porém sem indicar limites de exposição. A Resolução 307 do CONAMA (2002) classifica como resíduos perigosos os materiais oriundos do processo de construção, tais como tintas, óleos, solventes, entre outros. Já a Lei Quadro da Qualidade do Ar (decreto-lei. No. 276 de 23 de julho de 1999) menciona alguns contaminantes atmosféricos que devem ser considerados na avaliação da qualidade do ar ambiental: dióxido de enxofre, dióxido de azoto, partículas finas (tais como fumos negros), chumbo, ozônio, partículas em suspensão, benzeno,

monóxido de carbono, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, cádmio, arsênio, mercúrio e níquel.

Entretanto, existem poucas referências quanto à concentração recomendada de COVs totais, a partir de agora tratados como COVT, em ambientes internos. Molhave (2001) realizou estudos a respeito dos efeitos que a exposição aos compostos orgânicos voláteis pode causar nas pessoas. No Quadro 4 está apresentado o resumo de seus resultados.

Embora ainda não existam padrões canadenses em relação aos COVT, a Healthy Canada apresentou os valores encontrados no mundo para níveis de concentração recomendados para edifícios comerciais (Quadro 5).

Desta forma, nota-se que ainda não existe um consenso no mundo a respeito da concentração recomendada de compostos orgânicos voláteis totais para ambientes internos. Os valores encontrados variaram de 0,2 a 5 mg/m³, sendo que os mais conservadores estão na pesquisa de Molhave (2001), que mostra que concentrações menores que 0,2 mg/m³ de COVT não provocam nenhum efeito na saúde das pessoas.

QUADRO 3: Limites de exposição para contaminantes do ar segundo a NR-15 (1994).

Compostos (COVs)	Até 48 horas/semana	
	ppm	mg/m ³
Acetona	780	1870
Benzeno	1	3,19
n-Butil-acetato	-	-
Etilbenzeno	78	340
Formaldeído	1,6	2,3
Hexano	-	-
o-diclorobenzeno	39	235
Tolueno	78	290
Trimetilbenzeno	-	-
Xileno	78	340

FONTE: Adaptado de NR-15 (MTE, 1994).

QUADRO 4: Relação “concentração de COV x efeito” segundo Molhave.

Concentração de COVT (mg/m ³)	Efeito	Faixa de exposição
< 0.20	Sem efeitos	Faixa de conforto
0.20 – 3.0	Irritação; possível desconforto	Faixa de exposição multifatorial
3.0 – 25.0	Irritação e desconforto; possíveis dores de cabeça	Faixa de desconforto
> 25.0	Efeitos neurotóxicos	Faixa tóxica

FONTE: Adaptado de Alberta *Healthy Services*, 2012.

QUADRO 5: Concentrações de COVT recomendadas para edifícios comerciais.

Esfera	Critério	Concentração
Critérios experimentais norte-americanos	Valor desejável para COVT	1 mg/m ³
	Valor prejudicial para COVT	5 mg/m ³
Comunidade Europeia	Valor desejável para COVT	0.3 mg/m ³ , sendo que nenhum COV pode exceder 10% da concentração de COVT

FONTE: Adaptado de Alberta *Healthy Services*, 2012.

3.4 CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS E COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Ao longo do tempo, constituiu-se um consenso entre pesquisadores e agências governamentais de que a classificação de desempenho, atrelada aos métodos de certificação, é capaz de elevar o nível de desempenho dos edifícios. Embora as exigências normativas levem ao atendimento de níveis mínimos, o incentivo para procurar atender a patamares superiores é mais bem respondido pelos processos voluntários de avaliação e certificação dos edifícios (FINEP, 2006).

Empresas brasileiras interessadas em certificar seus empreendimentos com selos ambientais, até pouco tempo, tinham como opção o norte-americano LEED, que adota critérios e parâmetros relacionados à legislação e clima que diferem radicalmente da realidade brasileira. No ano de 2008 foi lançado o Processo AQUA, desenvolvido a partir da certificação francesa *Haute Qualité Environmentale (HQE)*. Seus referenciais técnicos foram desenvolvidos considerando a cultura, o clima, as normas e a regulamentação presentes no Brasil.

Neste trabalho, para efeito de comparação, foram escolhidas estas certificações, que são as principais utilizadas no Brasil, o AQUA,

com 85 empreendimentos certificados e o LEED, com 67 empreendimentos certificados (INOVATECH ENGENHARIA, 2016).

No referencial AQUA (Fundação Vanzolini, 2013), para atendimento ao nível excelente, é exigido apenas o conhecimento bruto das emissões de COVs para 100% das superfícies em contato com o ar interior nos locais ocupados, sendo garantido o conhecimento dos teores de COV dos adesivos, pinturas, vernizes, isolantes térmicos e materiais acústicos aplicados nos interiores. É exigido também que os fabricantes estejam no Programa Setorial da Qualidade PSQ e no Programa *Coatings Care*. Estas exigências estão na categoria 2 – Escolha integrada de produtos, sistemas e processos produtivos e na categoria 13 – Qualidade Sanitária do Ar.

No referencial LEED NC (USGBC, 2009), no item 4 – Materiais de baixa emissão, deve-se atender a 4 de 6 subitens, ou seja, pode-se atender ou não ao subitem 4.2, que trata de tintas e revestimentos. Segundo Patiño Guío (2013), as tintas no Brasil não possuem o selo ambiental exigido pelo LEED, o *Green Seal*, então se optou por mudar as normas do LEED internacional para o Brasil, passando a aceitar as tintas cujos fabricantes cumprem os requisitos da norma ISO 14001 (ABNT, 2015), que não especifica limites de emissão de

COVs.

Observa-se que os selos ambientais com o maior número de empreendimentos certificados no Brasil, o AQUA e o LEED, apenas exigem o conhecimento da quantidade de COV emitidos durante a obra. Não é limitada uma concentração máxima que não cause danos às pessoas, sejam aos operários durante a execução dos edifícios ou aos seus usuários. Desta forma, pode-se concluir que as certificações analisadas são limitadas no que se refere a alguns aspectos ambientais importantes, como é o caso dos COVs.

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O empreendimento do estudo de caso está localizado na Asa Norte, Brasília - DF. Trata-se de um edifício comercial com três pavimentos de garagem, seis pavimentos de lojas e salas e um

pavimento de cobertura, contando com uma área construída total de 56.000 m². O objeto de estudo deste trabalho é o subsolo, considerando a pintura de paredes, pilares e tubos de instalações hidráulico-sanitárias e de combate a incêndio.

Existem basicamente dois tipos de tinta usados na obra, as com base água e as com base solvente. As tintas com base água são usadas na pintura de paredes, estrutura e forros. As tintas com base solvente são usadas nas instalações aparentes metálicas e em PVC.

Nas Figuras 1 e 2 está representado o subsolo. Na Figura 1 está representado também o mecanismo de renovação de ar pelo poço de ventilação.

No detalhe 1 pode ser visto o equipamento que faz a ventilação mecânica, ligado aos elementos vazados que compõem o poço de ventilação.

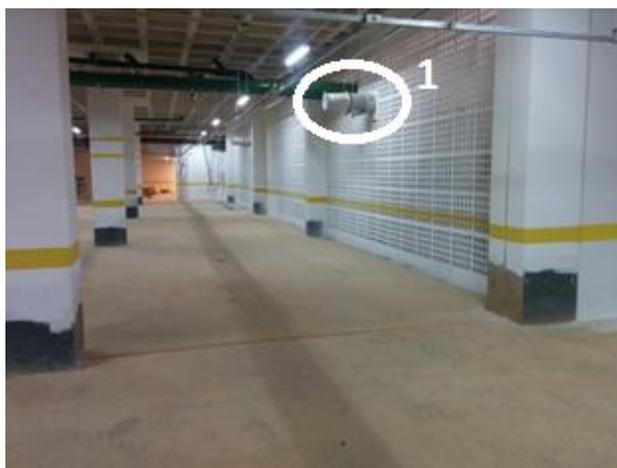


FIGURA 1: Subsolo e equipamento de ventilação mecânica
FONTE: Autoria própria.

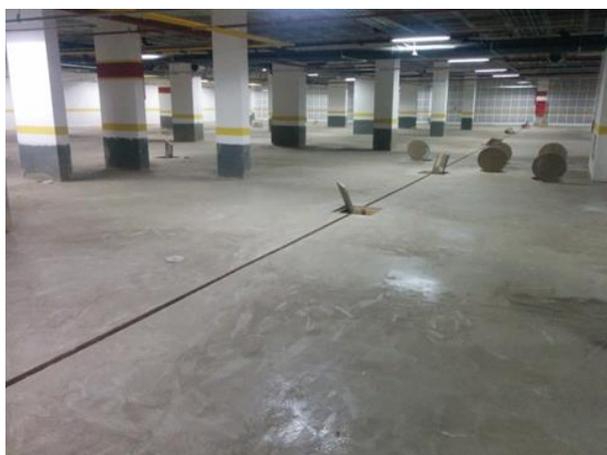


FIGURA 2: Subsolo e pintura fosca a base de água nos pilares e paredes.
FONTE: Autoria própria.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS NO SUBSOLO

A quantificação do volume de tinta utilizado foi feita em planilha eletrônica; foram contabilizados como material de entrada todas as latas de tintas que entraram na obra. A informação do índice de COVT, em gramas por litro, foi obtida através de boletins técnicos fornecidos pelo fabricante de cada tinta. Para a realização do estudo, foram coletados os dados sobre tintas que foram aplicadas na obra no período de 1 ano. Visto que aproximadamente 90% em volume das tintas utilizadas são a base de água, não foram considerados os solventes utilizados para a diluição das tintas que têm base solvente.

O empreendimento estudado possui três subsolos com a mesma arquitetura, cada um com uma área total de 8480 m² e volume de 25440 m³. A ventilação desses pavimentos é artificial, realizada por exaustores com capacidade de renovar o ar do ambiente em uma taxa de 18359 m³/h.

A planilha do quantitativo de tintas foi dividida em tintas usadas em paredes e em tubulações nos subsolos do empreendimento. Para estimar a emissão total de COVT em cada subsolo, foi calculado o total de COVT emitidos pelas tintas aplicadas nas paredes e nas tubulações e dividiu-se o valor encontrado por três. Esse valor foi dividido posteriormente pela quantidade de horas de um ano para se obter a emissão por hora.

Para fazer uma estimativa da concentração de COVT nos subsolos ao longo desse período, foi considerado que a emissão de COVT foi constante ao longo do período considerado. Isso não acontece realmente, uma vez que a emissão é maior nas primeiras horas após a aplicação e as tintas não foram utilizadas de maneira constante ao longo do ano. Levando em consideração essa premissa foi proposto um método simplificado de cálculo, com o objetivo de fazer uma comparação do resultado com os padrões adotados atualmente. A concentração de compostos orgânicos voláteis totais em cada hora foi calculada a partir das Equações 1 e 2:

$$Q_h = \left(1 - \frac{t}{V}\right) \times (Q_{h-1} + Q_e) \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

Q_h = massa de COVT presente no subsolo na hora “h” (mg);

t = volume de ar que é renovado no subsolo em 1 hora (m³);

V = volume total de ar do subsolo (m³);

Q_{h-1} = massa de COVT presente no subsolo na hora anterior (mg);

Q_e = massa de COVT emitida ao longo da hora considerada (mg).

$$C_h = \frac{Q_h}{V} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

C_h = concentração de COVT no subsolo na hora “h” (mg/m³);

Q_h = massa de COVT presente no subsolo na hora “h” (mg);

V = volume total de ar do subsolo (m³).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EMISSÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

No Quadro 6 são apresentados os resultados separados por local de aplicação nos subsolos, considerando-se: a) paredes dos subsolos, que se refere à pintura da circulação dos pavimentos de estacionamento e b) tubulação, referente à pintura das tubulações que são aparentes no teto dos pavimentos de estacionamento.

Na tabela 1 são apresentados os dados empregados no cálculo da concentração de COVT nos subsolos do empreendimento.

Na Figura 3 é apresentada a concentração de COVT nos subsolos calculada a partir do modelo proposto nas primeiras 24 horas. Foi considerado apenas esse período, pois após isso o valor de concentração permanece constante.

QUADRO 6: Emissão de COV por tipo de tinta e por pavimento.

Local de Aplicação	Marca	Modelo (Nome e cor)	Base	Quantidade de latas	Volume da lata (l)	Emissão de COV (g/l)	Quantitativo Total (l)	Emissão de COV total (kg)
Paredes dos Subsolos	Tinta Tipo 1	Construção - Branco fosco	Água	140	18	7,2	2520	18,144
	Tinta Tipo 2	Acrílica para piso – Amarelo	Água	6	18	8,51	108	0,919
	Tinta Tipo 2	Acrílica para piso – Cinza	Água	12	18	8,51	216	1,838
	Tinta Tipo 3	Esmalte sintético – Vermelho	Solvente	3	3,6	374,22	10,8	4,041
Tubulações pintadas expostas nos Subsolos	Tinta Tipo 4	Esmalte sintético - Alumínio	Solvente	1	3,6	330	3,6	1,188
	Tinta Tipo 4	Esmalte sintético - Marrom	Solvente	10	3,6	330	36	11,880
	Tinta Tipo 4	Esmalte sintético - Preto	Solvente	14	3,6	330	50,4	16,632
	Tinta Tipo 4	Esmalte sintético - Verde Nilo	Solvente	10	3,6	330	36	11,880
	Tinta Tipo 4	Esmalte sintético - Vermelho	Solvente	30	3,6	330	108	35,640
	Tinta Tipo 4	Esmalte sintético - Branco	Solvente	50	3,6	330	180	59,400
	Tinta Tipo 4	Esmalte Premium - Branco fosco	Solvente	1	3,6	395	3,6	1,422
	Tinta Tipo 1	Coralit - Branco fosco	Solvente	18	3,6	391	64,8	25,336
	Tinta Tipo 5	Esmalte bril std - Amarelo	Solvente	10	3,6	330	36	11,880
	Tinta Tipo 5	Esmalte bril std - Vd folha	Solvente	20	3,6	332	72	23,904

FONTE: Autoria própria.

TABELA 1: Valores para cálculo da concentração de COVT.

Massa de COVT emitida nos subsolos em 1 ano (kg)	224,11
Massa de COVT emitida a cada hora - Qe (g)	8,528
Volume total do subsolo - V (m ³)	25440
Taxa de renovação do ar (m ³ /h)	18359

FORTE: Autoria própria.

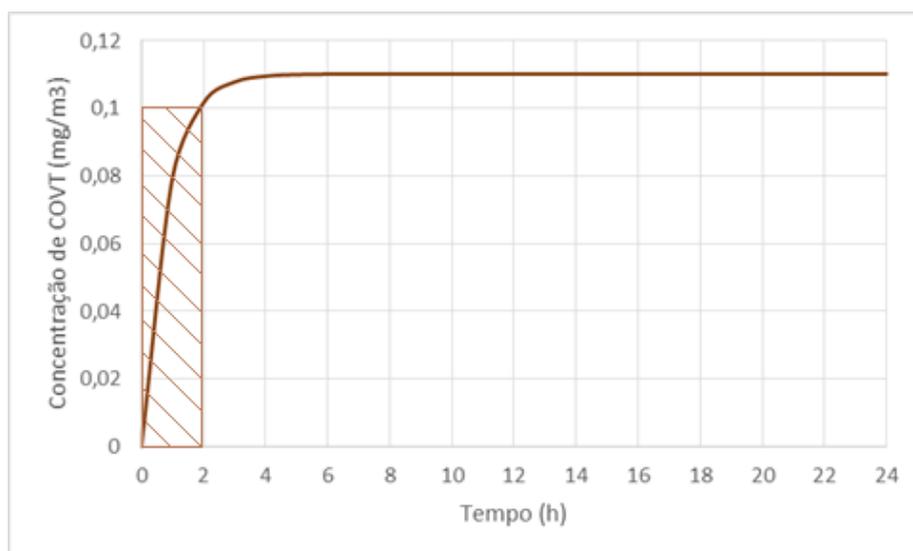


FIGURA 3: Evolução da concentração de COVT ao longo do tempo pelo método proposto.

FORTE: Autoria própria.

Como a emissão de COVT nas primeiras horas após a aplicação da tinta é maior, o alto índice de crescimento de sua concentração nas duas primeiras horas não equivale à situação real de emissão. Neste caso o que realmente importa é o limite superior atingido.

5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Figura 4 é apresentado um comparativo entre o valor estimado de concentração de COVT nos subsolos na pesquisa e os valores máximos recomendados no mundo de concentração de COVT em ambientes internos.

A estimativa da concentração de COVT nos subsolos do edifício estudado apresentou um pico de aproximadamente 0,11 mg/m³. Esse valor é menor que o limite de concentração de 0,2 mg/m³ a partir do qual começa a haver efeitos na saúde dos seres humanos, defendido por Molhave (2001), que consiste no valor mais conservador encontrado na literatura. Porém, o valor encontrado pode ser considerado alto, visto que:

- O valor de concentração real no subsolo tende a ser maior que o encontrado na pesquisa, uma vez que a emissão de compostos orgânicos voláteis é maior nas primeiras horas após a aplicação das tintas e o estudo considerou que a emissão foi constante ao longo do ano;
- A concentração de COVT no subsolo foi estimada considerando apenas a emissão pelas tintas imobiliárias utilizadas nas pinturas de paredes e pilares e tubulações expostas nos tetos dos subsolos, desconsiderando as emissões dos outros materiais presentes no subsolo.

O resultado do estudo de caso evidencia a necessidade de se avaliar a concentração de compostos orgânicos em ambientes internos, sobretudo em ambientes críticos, como subsolos, que são pouco ventilados. É fato que os COVT, quando em concentrações elevadas, podem causar uma série de problemas de saúde nos seres humanos, sendo que alguns podem provocar até mesmo câncer devido à exposição prolongada (SALASAR, 2006).

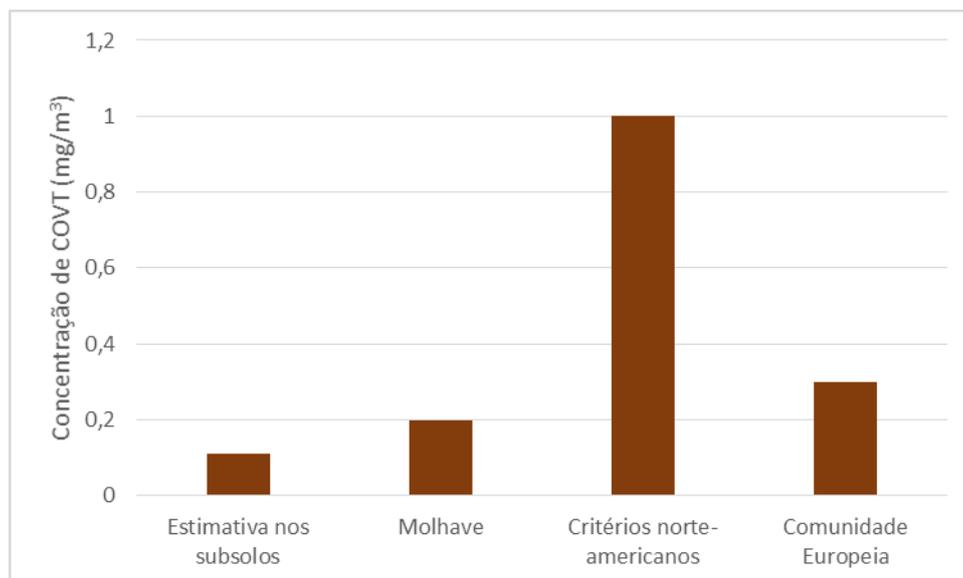


FIGURA 4: Comparativo da concentração estimada de COVT nos subsolos com valores recomendados no mundo.
FONTE: Autoria própria.

As certificações mais empregadas no Brasil exigem apenas que seja conhecida a emissão de COVT pelos materiais empregados na obra, não estabelecendo limites de concentração desses poluentes em ambientes internos. Esse critério de avaliação, como foi mostrado neste trabalho, é ineficaz, uma vez que não garante um ambiente saudável.

As legislações nacionais e internacionais apresentam critérios mais eficientes de análise da concentração de compostos orgânicos voláteis, porém ainda precisam se atualizar. A OMS (2004) apresenta certos limites de concentração individual de determinados COVs em ambientes internos, mas não fixa parâmetros quanto aos COVT. No Brasil, a NR-15 (TEM, 1994) possui critérios semelhantes aos da OMS (2004), determinando valores máximos de concentração para alguns COVs, mas não para os COVT, enquanto as demais legislações brasileiras sequer apresentam limites.

Os mais afetados pela exposição aos COVT são operários, uma vez que passam grande parte do dia nas obras em contato direto com esses contaminantes e é na fase de construção que a emissão desses compostos é mais elevada. Nesse contexto, é fundamental que a NR-15 (TEM, 1994) seja revisada e que se estabeleçam padrões de qualidade mais rígidos, além de uma fiscalização eficiente e constante.

6. CONCLUSÕES

Foi realizada uma análise dos critérios existentes em normas, legislações e certificações ambientais, brasileiras e internacionais, a respeito da concentração de compostos orgânicos voláteis em ambientes internos. A fim de embasar a avaliação feita, foi apresentada uma avaliação simplificada da concentração de COVs emitidos por tintas imobiliárias nos subsolos de um edifício localizado em Brasília.

A principal contribuição deste trabalho foi apresentar a quantificação de COVs para o estudo de caso analisado e as lacunas presentes nas normas, legislações e certificações ambientais com relação aos COVs, ressaltando os pontos que precisam ser revistos ou implementados na legislação para a minimização dos impactos à saúde causados pelos COVs.

A partir da avaliação das legislações e certificações ambientais nacionais e internacionais em relação ao critério de concentração de COVs em ambientes internos, constata-se que os limites estabelecidos na legislação nacional estão defasados e devem ser revistos. As principais certificações disponíveis não impõem limites, apenas exigem o conhecimento da emissão de COVs.

O resultado da estimativa de concentração de COVT no estudo de caso da pesquisa ressalta a

importância de se fiscalizar a concentração de COVT nos ambientes internos para garantir a saúde das pessoas que os utilizam.

Para trabalhos futuros, sugere-se uma análise da concentração de COVT em diferentes tipos de ambientes internos em diferentes edifícios, como também para diferentes idades, a fim de definir limites de concentrações para que não exista risco à saúde humana.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO – 14001**: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO – 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- ASTM D3960 – 05. **Standard Practice for Determining Volatile Organic Compound (VOC) Content of Paints and Related Coatings**. 2013.
- BRASIL, Governo Federal. **Decreto-lei. No. 276**. 23 de julho de 1999.
- CALDAS, L.R.; SPOSTO, R.M.; PAULSEN, J.S.; SANTOS FILHO, V.M. **Emissões de CO₂ no ciclo de vida de habitações de interesse social: estudo de caso para o DF – Brasil**. SIBRAGEC ELAGEC, São Carlos, 2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, **Resolução CONAMA nº 307**. 5 de julho de 2002.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia técnico ambiental tintas e vernizes – Série P+L**. São Paulo: CETESB, FIESP, 2006.
- FINEP. **Relatório técnico N.1 – meta-física 1: levantamento do estado da arte**. Projeto FINEP – projeto tecnologias para construção habitacional mais sustentável. 2006.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação**. São Paulo. 2013.
- GOVERNMENT OF ALBERTA. *Alberta Healthy Services. Environment public health indoor air quality manual*. 2012.
- INOVATECH ENGENHARIA. 2016. Disponível em: <http://www.inovatech engenharia.com.br/>. Acesso em 31 de maio de 2016.
- USGBC. **Green building design and construction with alternative compliance paths for South America**. 2009.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **NR – 15 NORMA REGULAMENTADORA – “ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES”** - Anexo XI – Agentes Químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Brasil. 1994.
- MOLHAVE, L, 2001. **Sensory irritation in humans caused by volatile organic compounds (VOCs) as indoor air pollutants: a summary of 12 exposure experiments**. Indoor Air Quality Handbook (Spengler J, Samet J M, McCarthy J F, eds.). New York: McGraw-Hill, 25.1–25.28. 2001.
- PATIÑO GUÍO, L.M. **Compostos Orgânicos Voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos**. Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, 2013.
- SALASAR, C. J. **Estudo sobre emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) em Tintas Imobiliárias a Base de Solvente e Água**. dissertação de mestrado. Centro de Ciências Exatas – Departamento de Química. Universidade Estadual de Londrina. Londrina – Brasil. 2006.
- SANTOS, A.C. **Implementação e validação de um método de controlo do teor de COV em tintas líquidas**. Dissertação de Mestrado – Universidade do Porto, Portugal, 2015.
- SILVA, V.G.; SILVA, M.G. **Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental**. Edifício Ambiental. Ed. Oficina de textos, São Paulo, 2015.
- TORGAL, F. JALALI, S. **Toxicidade de materiais de construção. Até que ponto são seguros os limites definidos na legislação?** Construlink, Portal da Construção. Nº 29 – Fevereiro, 2012 VOLUME 10.
- UEMOTO, K. L.; AGOPYAN, V. **Compostos orgânicos voláteis de tintas imobiliárias**. Edição. In: XI ENTAC – Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, Local e data do Simpósio 2006.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Smog – Who does it hurt?**. 2001. Disponível em <https://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=smog.index>. Acesso em 15/04/2016.
- World Health Report 2010. Acessado em: http://www.who.int/healthsystems/topics/financing/healthreport/whr_background/en/. Disponível em 08 de novembro de 2016. 2010.