



ESCOLA SUPERIOR
DA CETESB

**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO “CONFORMIDADE AMBIENTAL
COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS”**



CETESB

Sarah Sasaki Jurkevicz

**CONTROLE DAS EMISSÕES DE COMPOSTOS ORGÂNICOS
VOLÁTEIS (COVs) NA ATIVIDADE DE PINTURA DE CARROCERIA
AUTOMOTIVA – VEÍCULOS LEVES**

**São Paulo
2020**



ESCOLA SUPERIOR
DA CETESB



CETESB

Sarah Sasaki Jurkevicz

CONTROLE DAS EMISSÕES DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs) NA ATIVIDADE DE PINTURA DE CARROCERIA AUTOMOTIVA – VEÍCULOS LEVES

Monografia apresentada ao Curso de pós-graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais”, da Escola Superior da CETESB, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Conformidade Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dra. Ligia Cristina Gonçalves de Siqueira

São Paulo
2020

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

J95c	Jurkevicz, Sarah Sasaki Controle das emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs) na atividade de pintura de carroceria automotiva : veículos leves / Sarah Sasaki Jurkevicz. – São Paulo, 2020. 104 p. : il. color. ; 30 cm. Orientadora: Profa. Dra. Ligia Cristina Gonçalves de Siqueira. Monografia (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2019. Disponível também em: < http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/ >. 1. Ar – poluição 2. Compostos orgânicos voláteis 3. Indústria automobilística 4. Pintura automotiva 4. São Paulo (est.) 5. Veículos leves I. Siqueira, Ligia Cristina Gonçalves de, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.
CDD (21. ed. Esp.)	629.202 868 161 363.739 202 868 161
CDU (2. ed. Port.)	614.72:629.33 (815.6)

Catalogação na fonte: Sônia Teresinha Barbosa – CRB 8. 3691
Margot Terada – CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização. Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS

AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO



Aluno(a):	Sarah Sasaki Jurkevicz	
Título do trabalho:	"Controle das emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs) na atividade de pintura de carroceria automotiva – veículos leves"	Turma: 2017

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Larissa Ciccotti Freire	9,0	
Avaliador 2 Nome: João Vicente de Assunção	9,0	
Orientadora Nome: Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira	9,0	
Nota final	9,0	
Aprovado em São Paulo, 28 de agosto de 2020		

Ciência do aluno(a) nome: 	Assinatura
-------------------------------	----------------

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de realizar a pós-graduação em Conformidade Ambiental na Escola Superior da CETESB, por ter sido um tempo precioso de capacitação profissional e aquisição de novos conhecimentos.

Agradeço aos meus pais por sempre me apoiarem, por não medir esforços para me ajudar e por sempre me incentivarem a buscar o conhecimento. Agradeço por sonharem comigo, por todas as madrugadas que me esperaram chegar nos fins de semana da pós-graduação, por nunca me deixar desistir.

Agradeço a todo corpo docente, que com muita dedicação compartilharam seus conhecimentos e experiências profissionais. Aos meus queridos professores que transmitiram mais do que informações, contribuíram para a formação de profissionais com consciência crítica, meu sincero agradecimento.

Agradeço em especial a minha orientadora Dra. Ligia Cristina Gonçalves de Siqueira, que me auxiliou em cada etapa do trabalho. Agradeço por todas as orientações, por compartilhar seu conhecimento com tanto amor. Profa. você é um exemplo de profissional e de pessoa que tive o privilégio de conhecer e ser orientanda.

Agradeço a todos os meus colegas de classe pela amizade e por todos os finais de semana compartilhados. São profissionais que admiro e tenho o privilégio de ter como amigos.

Agradeço a todos os colaboradores da Escola Superior da CETESB pelo cuidado e zelo com os alunos.

A todos que diretamente e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho meu sincero agradecimento!

RESUMO

A Região Metropolitana de São Paulo é uma das áreas mais críticas em termos de poluição do ar do Estado de São Paulo, apresentando um alto potencial de formação de ozônio, em função das emissões significativas de seus precursores, os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e Óxidos de Nitrogênio (NOx). O teor de COVs presentes na formulação de tintas, vernizes e produtos de retoque da pintura de veículos geram emissões atmosféricas significativas de COVs. Outro aspecto da pintura de veículos é a emissão de odores provenientes dos solventes orgânicos. **Objetivos.** Este trabalho tem como objetivo principal realizar o levantamento das cabines de pintura de carrocerias automobilísticas e as respectivas tecnologias de tratamento de emissão dos COVs de indústrias automobilísticas do Estado de São Paulo. **Método.** Para alcançar este objetivo foram pesquisadas as exigências legais pertinentes à atividade de pintura automotiva, as indústrias automobilísticas do Estado e as exigências técnicas presentes nas Licenças de Operação (LO) emitidas, e também foi realizado um estudo de caso na indústria automobilística. **Resultados.** Os resultados da pesquisa mostraram que o Estado de São Paulo possui oito indústrias automobilísticas que realizam pintura em veículos leves. Embora os COVs não sejam considerados como um dos poluentes constantes nos padrões de qualidade do ar e não exista legislação que limitem seu uso em tintas e revestimentos de pintura, o setor de pintura automotiva tem um guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) orientador. A indústria entrevistada cumpre as exigências legais, a pintura automotiva é realizada em cabines de pintura providas de captação de névoas e vapores e equipamento de controle de emissão baseado na absorção por via úmida. **Conclusão.** Concluindo-se que as indústrias automotivas estudadas atendem as exigências legais e o guia de MTPD orientador para esse segmento. A atividade de pintura automotiva tem elevado potencial de emissão de COVs, cerca de 75 a 90% dos COVs emitidos são oriundos das cabines de pintura e da área *flashof*, por isso, é importante aprimorar o processo de pintura, utilizar insumos com menores teores de COVs e equipamentos de controle de poluição atmosférica para minimizar as emissões de COVs do processo.

Palavras-chave: Cabine de pintura, compostos orgânicos voláteis, pintura automotiva.

ABSTRACT

The Metropolitan Region of São Paulo is one of the most critical areas in terms of pollution of the State of São Paulo, presenting a high potential for ozone formation, due to the emission of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Nitrogen Oxides (NO_x). The concentration of VOCs present in the formulation of paints, varnishes and vehicle refinishing products generate significant atmospheric emissions of VOCs. Another aspect of vehicle painting is the emission of odors from organic solvents. **Objectives.** The main objective of this work is to survey car's painting booths and the respective technologies for the treatment of VOCs from automotive industries in the State of São Paulo. **Method.** In order to achieve this objective, we have observed the legal requirements pertinent to the auto painting activity, the state's automotive industries and the technical requirements contained in the issued Operating Licenses (OL) were investigated, and a case study was also conducted. **Results.** The survey results showed that the State of São Paulo has eight automobile industries that paint on light vehicles. Although VOCs are not considered to be a constant pollutant in Brazil air quality standards and there is no legislation limiting their use in paint and coatings, the automotive paint painting activity has a norm, the Best Practice Technology Available (BPTA) guide. The industry interviewed complies with the legal requirements, automotive painting is performed in spray booths and wet-scrubbing emission control equipment. **Conclusion.** In conclusion, the studied automotive industries meet the legal requirements and the BPTA guide. The vehicle painting activity has a high potential for the emission of VOCs, about 75 to 90% of the VOCs emitted come from spray booth and the flashof, so it is important to improve the painting activity, use inputs with lower VOCs and atmospheric incorporated control equipment to be minimized as obtained from process VOCs.

Key-words: spray booth, volatile organic compounds, car painting.

LISTA DE FIGURAS

Figura - 1	Número de dias com ultrapassagem do padrão estadual de qualidade do ar para o ozônio(140 µg/m ³ - 8h), RMSP, 2018	19
Figura - 2	Concentrações médias anuais de benzeno na RMSP, 2018	20
Figura - 3	Concentrações máximas diárias de tolueno na RMSP, 2018	21
Figura - 4	Técnicas de controle de emissões de COVs	28
Figura - 5	Incinerador térmico com troca de calor	29
Figura - 6	Incinerador térmico regenerativo RTO	30
Figura - 7	Cortina d'água	31
Figura - 8	Absorção em via seca – cartucho de papel	32
Figura - 9	Adsorvedor de leito fixo de carvão ativado	33
Figura - 10	Esquema da tinta aplicada sobre aço-carbono	34
Figura - 11	Esquema do mecanismo de biodegradação	35
Figura - 12	Esquema da pintura por eletroforese catódica de carroceria automotiva	39
Figura - 13	Etapas da pintura por eletroforese catódica de carroceria automotiva	40
Figura - 14	Processo de deposição de tinta por eletrodeposição	41
Figura - 15	Pintura por eletrodeposição catódica de carroceria automotiva	42
Figura - 15a	Entrada de carroceria no tanque de eletrodeposição catódica	42
Figura - 15b	Saída de carroceria com a eletrodeposição catódica	42
Figura - 16	Carroceria automotiva após processo de cura da pintura eletrodeposição	42
Figura - 17	Aplicação da massa selante por robôs	43
Figura - 17a	Aplicação de massa selante por robôs	43
Figura - 17b	Detalhe da aplicação robotizada	43
Figura - 18	Remoção de eventuais partículas que podem prejudicar a camada de revestimento	43
Figura - 18a	Remoção manual das partículas com tecido (flanela)	43
Figura - 18b	Detalhe da carroceria limpa	43
Figura - 19	Aplicação do primer de superfície sobre a carroceria automotiva	44
Figura - 20	Aplicação do esmalte, pigmentação final da carroceria, por robôs	44
Figura - 20a	Detalhe do aplicador sobre a carroceria	44
Figura - 20b	Detalhe da aplicação robotizada do pigmento	44
Figura - 21	Aplicação do verniz transparente feita por robôs	45
Figura - 22	Cabine de pintura aberta	47
Figura - 23	Cabine crossflow	47
Figura - 24	Cabine semi-downdraft	48
Figura - 25	Cabine downdraft	48
Figura - 26	Fluxograma do delineamento da pesquisa	66
Figura - 27	Mapa locacional das indústrias automotivas SP - veículos leves	77

LISTA DE QUADROS

Quadro - 1	Teores máximos para os COVs (g) por litro de produto	50
Quadro - 2	Padrões de Qualidade do Ar para o ozônio	53
Quadro - 3	Critérios de classificação das sub-regiões_ Decreto Estadual nº59113/13	54
Quadro - 4	Total permitido de emissões adicionadas por novos empreendimentos e ampliação dos existentes	55
Quadro - 5	Concentrações do ozônio para os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência – Decreto Estadual nº 59113/13	56
Quadro 6	Concentrações do ozônio para os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência – CONAMA nº 481/2018	56
Quadro 7	Fatores de emissão de COVs do processo de pintura automotiva	59
Quadro - 8	Parâmetros para cálculo de emissão de COVs do processo de pintura	60
Quadro - 9	Frequência e tipo de monitoramento aplicável à fonte de emissão de COVs	63
Quadro 10	Valores de referência para MTPD para processos de pintura automotiva	64
Quadro - 11	Limite de emissão de COVs para indústria de revestimento automotivo - União Europeia	64
Quadro - 12	Limite de emissão de COVs para indústria de revestimento automotivo – Estados Unidos	65
Quadro - 13	Indústrias automotivas localizadas no Estado de São Paulo	71
Quadro - 14	Classificação qualidade do ar das sub-regiões	77
Quadro - 15	Exigências técnicas das licenças de operação	79
Quadro - 16	Checklist orientador elaborado para a visita técnica	84

LISTA DE TABELAS

Tabela - 1	Exemplos de revestimentos utilizados na pintura de carroceria automotiva	38
Tabela - 2	Licenças de Operação das indústrias automotivas do Estado de São Paulo consultadas	76

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPE	Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas
ANFAVEA	Associação Nacional de Veículos Automotores
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
E-coat	Pintura por Eletrodeposição
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
KTL	Pintura Eletroforética Catódica
MI	Metas Intermediárias
MTPD	Melhor Tecnologia Prática Disponível
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCPV	Plano de Controle de Poluição Veicular
PF	Padrões Finais
PMEA	Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas
PREFE	Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias
RCQAR	Regiões de Controle de Qualidade do Ar
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RTO	Oxidador Térmico Regenerativo

LISTA DE SIMBOLOS

CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos
HC	Hidrocarbonetos
HCNM	Hidrocarbonetos Totais não Metânicos
HFC	Hidrofluorcarbonetos
HPA	Hidrocarbonetos Aromáticos
MP	Materiais Particulados
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
PAN	Nitratos de Peroxiacetila
PCVC	Poluentes Climáticos de Vida Curta
PVC	Policloreto de Vinila
RCHO	Aldeídos
SLCP	Short Lived Climate Pollutants
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UV	Ultra-Violeta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 JUSTIFICATIVA	17
3 OBJETIVO	22
3.1 OBJETIVO GERAL	22
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	22
4 REFERENCIAL TEÓRICO	23
4.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE POLUIÇÃO DO AR	23
4.1.1 Definição de Poluição do Ar	23
4.1.2 Fontes de Poluição do Ar	23
4.1.3 Principais Poluentes Atmosféricos	24
4.1.4 Tecnologias de Controle de COVs	27
4.1.4.1 INCINERADOR	28
4.1.4.2 ABSORÇÃO EM VIA ÚMIDA	32
4.1.4.3 ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO	33
4.1.4.4 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE GASES (BIOFILTRO)	34
4.1.4.5 OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE	35
4.2 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA	36
4.2.1 Principais Características das Tintas	36
4.2.2 Descrição do Processo de Pintura de Carrocerias Automotivas	39
4.2.3 Características das Cabines de Pintura	46
4.2.3.1 TIPOS DE CABINES DE PINTURA	46
4.2.4 Algumas Técnicas de Controle de Poluição Utilizadas no Setor de Pintura Automotiva	49
4.2.4.1 TECNOLOGIAS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR	49
4.2.4.2 MINIMIZAÇÃO DO TEOR DE COVs EM TINTAS	49
4.3 ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	51

SUMÁRIO

	continuação
4.4 ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE COVs DURANTE O PROCESSO DE PINTURA	57
4.5 MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE COVs	61
4.6 PADRÕES DE EMISSÃO DE COVs	63
5 METODOLOGIA	66
- Levantamento da legislação pertinente de emissão de COVs provenientes de tintas automotivas	67
- Levantamento das indústrias automotivas e respectivas licenças do Estado de São Paulo que realizam pintura	67
- Elaboração do <i>checklist</i>	67
- Entrevista e/ou visita técnica as indústrias automobilísticas	68
- Preenchimento do <i>checklist</i>	68
- Avaliação de cada tecnologia de controle e monitoramento das emissões de COVs	69
- Propostas de melhorias no método de monitoramento e controle de emissão de COVs	69
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
6.1 LEVANTAMENTO DA LEGISLAÇÃO PERTINENTE DE EMISSÃO DE COVs PROVENIENTES DE TINTAS AUTOMOTIVAS	70
6.2 LEVANTAMENTO DAS INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS QUE REALIZAM PINTURA DE CARROCERIA, LOCALIZADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO	71
6.3 LEVANTAMENTO DAS EXIGÊNCIAS TÉCNICAS NAS RESPECTIVAS LICENÇAS DAS INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS QUE REALIZAM PINTURA DE CARROCERIA, LOCALIZADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO	78
6.4 ENTREVISTA À INDÚSTRIA AUTOMOTIVA SOBRE EMISSÃO DE COVs DO SETOR DE PINTURA DE CARROCERIA	83
6.4.1 Resultados da entrevista e/ou visita	86

SUMÁRIO

6.4.1 Resultados da entrevista realizada	continuação 87
6.4.1.1 EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE EMISSÃO DE COVs NAS CABINES DE PINTURA DA INDÚSTRIA ENTREVISTADA	88
6.4.1.2 MONITORAMENTO DE EMISSÃO DE COVs NAS CABINES DE PINTURA DA INDÚSTRIA ENTREVISTADA	89
6.4.1.3 AVALIAÇÃO DE CADA TECNOLOGIA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE COVs DA INDÚSTRIA ENTREVISTADA	90
7 PROPOSTAS DE MELHORIAS GERAIS NO MÉTODO DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE EMISSÃO DE COVs	92
8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	94
9 REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é uma das áreas mais críticas de poluição do ar do Estado. Em 2018, dentre os poluentes atmosféricos monitorados nas estações automáticas do Estado, o “Ozônio (O_3) excedeu o padrão estadual de 8 horas ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em 18 dias, sem atingir o Nível de Atenção Estadual ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$)”. Os episódios de ozônio ocorreram principalmente na RMSP, porque apresenta um grande potencial para a formação de ozônio devido as emissões significativas de seus precursores, os Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) (CETESB, 2019).

Os poluentes COVs e NO_x além de contribuírem para formação do O_3 troposférico por processos fotoquímicos, “contribuem para a geração de substâncias agressivas, denominadas de oxidantes fotoquímicos. Estas substâncias contribuem para a formação de aerossóis secundários, que em função de seu reduzido tamanho podem penetrar no sistema respiratório e afetar a saúde humana (USEPA, 2018)”.

Entre as principais fontes que emitem COVs e NO_x estão a queima e evaporação de combustíveis por veículos automotores e as indústrias que produzem ou utilizam insumos que contêm estes poluentes primários (CETESB, 2017), como por exemplo as indústrias automotivas que realizam a pintura de carrocerias de veículos leves. Definindo-se por veículos leves: automóvel, utilitário, ciclomotor, motocicleta, motoneta, triciclo, quadriciclo, camioneta, com peso bruto total menor ou igual a 3.500 kg (ANFAVEA, 2019).

O teor de COVs presentes na formulação de “tintas, vernizes e produtos de retoque de veículos geram emissões atmosféricas significativas desses poluentes contribuindo para a formação, em nível local e transfronteiriço, de oxidantes fotoquímicos na troposfera (UNIÃO EUROPEIA, 2004)”.

No meio ambiente, a presença de O_3 troposférico prejudica o crescimento da vegetação mais sensível, afetando assim o equilíbrio dos ecossistemas, incluindo florestas, parques e refúgios de vida selvagem (USEPA, 2018).

Com relação à saúde da população a presença de COVs na atmosfera está vinculada a uma série de malefícios, que vão desde sintomas de irritação nos olhos, nariz e garganta, até efeitos mais graves como danos ao fígado, rins, sistema nervoso central e o desenvolvimento de câncer (USEPA, 2018). Já a presença do O_3 troposférico pode

desencadear problemas de saúde como dor torácica, tosse, irritação da garganta, inflamação das vias aéreas, reduzir a função e prejudicar o tecido do pulmão, além de agravar quadros de problemas respiratórios (USEPA, 2018).

Nas cabines de pintura há emissão de material particulado na forma de névoas, constituídas de compostos orgânicos voláteis. Dessa forma, outro problema da cabine de pintura é a emissão de odores provenientes dos solventes orgânicos presentes nas tintas do processo de pintura de indústrias automobilísticas, que pode causar incômodo à comunidade vizinha.

Diante disso, para minimizar os efeitos adversos causados pela atividade de pintura automobilística sobre a qualidade do ar atmosférico e bem estar social se faz necessário reduzir o conteúdo de COVs presentes nas tintas e vernizes, e adotar medidas tecnológicas para o controle da poluição atmosférica das cabines de pintura, o que requer uma análise técnica do problema.

2 JUSTIFICATIVA

Como a presença dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na atmosfera gera efeitos negativos significativos à saúde e ao meio ambiente, por contribuir com a formação do ozônio troposférico por meio dos processos fotoquímicos e a atividade de pintura automobilística tem elevado potencial de emissão COVs, é necessário conhecer o processo de pintura, identificar as fontes de emissão, monitorar e controlar seus equipamentos de controle de poluição, visando à minimização de emissão de COVs para a atmosfera.

Além disso, a crescente preocupação com as questões ambientais e a criação de leis mais rigorosas para a manutenção e melhoria da qualidade do meio ambiente, têm direcionado e incentivado as indústrias automobilísticas a repensarem seu processo de pintura de veículos, buscando alternativas tecnológicas para minimizarem os impactos decorrentes da emissão de COVs para a atmosfera (MUCCIACITO, 2010). Para orientar o setor automobilístico na redução de suas emissões atmosféricas, foi também criado um guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) para a atividade de pintura automotiva (CETESB, 2017).

Embora não exista “padrão de qualidade do ar para os COVs, algumas estações de monitoramento da qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)” começaram a monitorar em 2015 os compostos orgânicos voláteis benzeno e tolueno, classificados como perigosos (USEPA, 1990).

De acordo com a Lei Estadual nº 997/76 e alterações “é proibido o lançamento de poluentes no ar, com intensidade, em quantidade de concentração ou energia em desacordo com as estabelecidas em lei”, porém não existe padrão para lançamento de COVs. Segundo o Decreto Estadual nº 8.468/76 e alterações, “as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, devem adotar sistemas de controle de poluição do ar baseados na Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD)”.

Já o controle das emissões de odores é previsto no “Estado de São Paulo no Artigo 33 do Decreto Estadual nº 8.468/76 e alterações, que proíbe a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis além dos limites do empreendimento”.

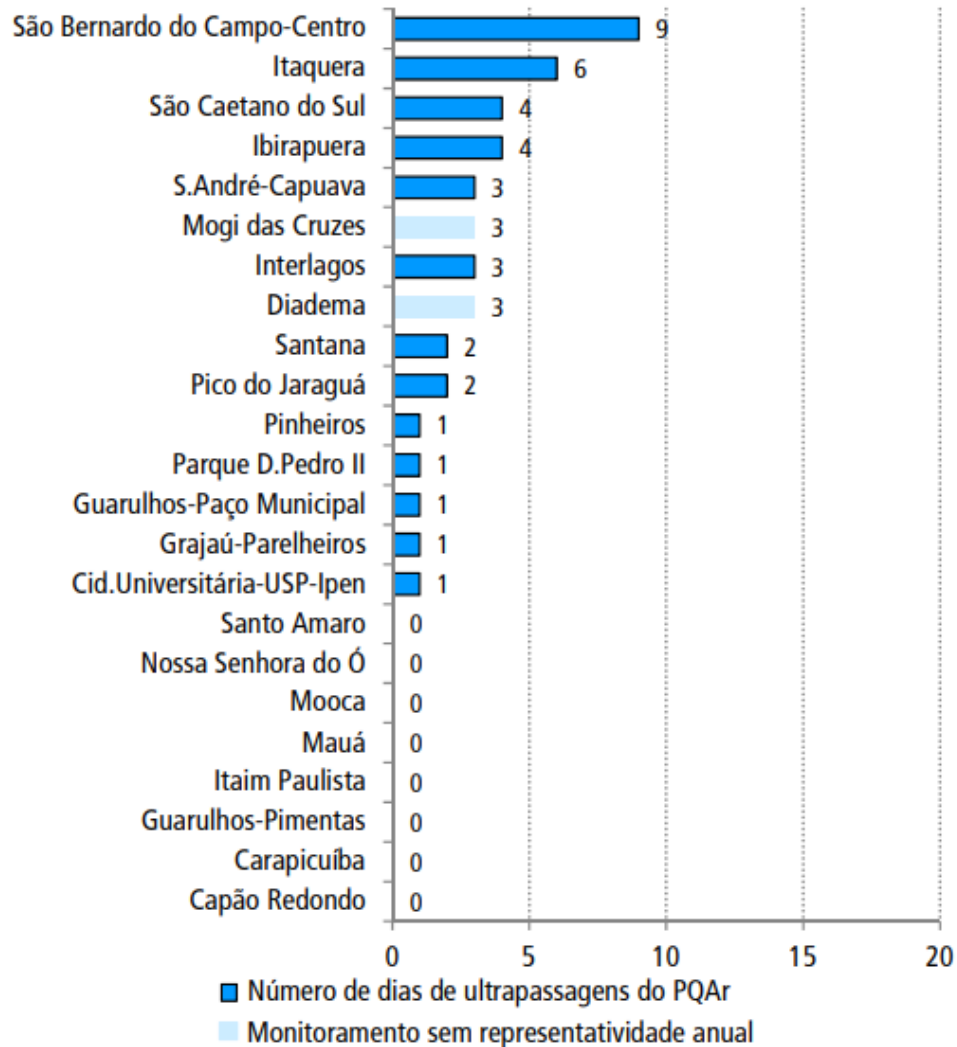
O Artigo 3 deste mesmo Decreto considera o odor um poluente atmosférico quando, independentemente da concentração, o mesmo torne ou possa “tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade”. Portanto, as emissões de substâncias odoríferas devem ser captadas e tratadas (SÃO PAULO, 1976b).

O “Decreto Estadual nº 59.113/13 estabelece os padrões de qualidade do ar”, com valores de referência para o O₃, e os COVs são mencionados como precursores de formação do O₃. O Decreto também estabelece que empreendimentos novos e ampliações, cuja emissão de COVs, exceto o metano, seja igual ou superior a 40 t/ano, devem atender essa linha de corte ou realizar a compensação de 110% dessas emissões (Artigos 11 e 12).

O “Relatório de Qualidade do Ar elaborado pela CETESB em 2019 apresenta o diagnóstico da qualidade do ar no estado de São Paulo, com base nos dados obtidos das redes de monitoramento em 2018”.

A Figura 1 apresenta o número de dias em que o padrão estadual de qualidade do ar (140 µg/m³ - 8h) para o ozônio foi ultrapassado nas estações de monitoramento localizadas na RMSP.

Figura 1 – Número de dias com ultrapassagem do padrão estadual de qualidade do ar para o ozônio ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 8\text{h}$), RMSP, 2018



Fonte: CETESB (2019)

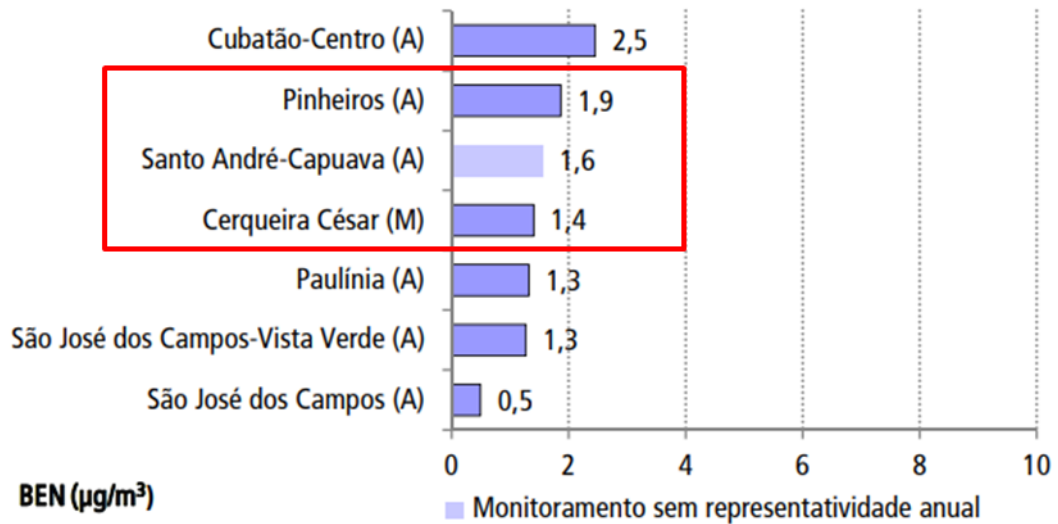
A formação do O_3 em maior ou menor quantidade é influenciada pelas mudanças das condições meteorológicas nas diferentes regiões. “As variações quantitativas nas emissões de seus precursores (COVs , NOx) são mínimas durante o ano”.

“Em 2018, foram poucos os dias com condições propícias para a formação de O_3 na RMSP”, os meses com maior número de ultrapassagem do padrão estadual foram os meses de dezembro e setembro devido às altas temperaturas e incidência de luz solar (CETESB, 2019).

Com relação aos compostos orgânicos voláteis, benzeno e tolueno, monitorados nas estações de qualidade do ar do estado de São Paulo em 2018, as concentrações

médias anuais de benzeno detectadas nas estações de monitoramento ficaram abaixo do “valor de referência para o benzeno adotado pela União Europeia de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ média anual (UNIÃO EUROPEIA, 2008)”, conforme mostra a Figura 2, onde as estações de monitoramento da RMSP estão delimitadas no quadrado vermelho (CETESB, 2019).

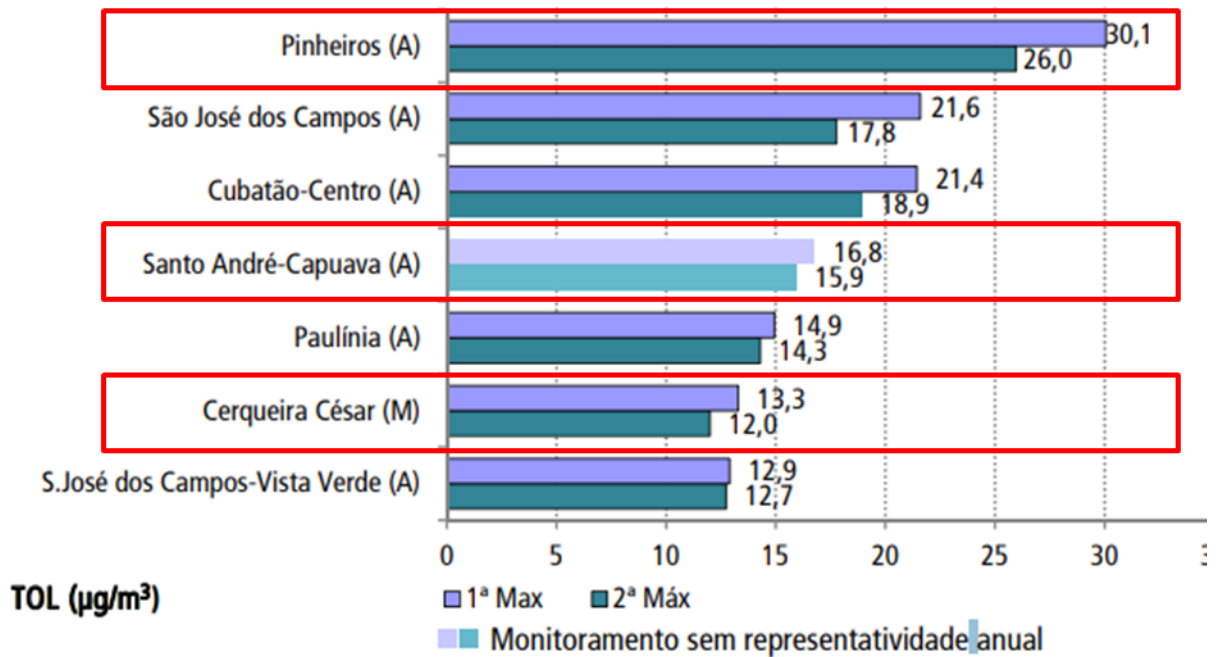
Figura 2 – Concentrações médias anuais de benzeno na RMSP em 2018.



Fonte: adaptado CETESB (2019)

A Figura 3 apresenta as concentrações máximas diárias de tolueno detectadas nas estações de monitoramento. Todas as concentrações máximas diárias de tolueno estão bem abaixo do valor médio semanal de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de tolueno indicado pela OMS, para proteção da saúde da população (WHO, 2000). Delimitadas no quadro vermelho da Figura 3 estão às estações localizadas na RMSP.

Figura 3 – Concentrações máximas diárias de tolueno na RMSP em 2018.



Fonte: adaptado CETESB (2019)

Devido à carência de informações sobre o controle de emissão de COVs provenientes de cabine de pintura adotada pelas indústrias automobilísticas essa pesquisa foi realizada a fim de levantar os diferentes tipos de equipamentos de controle de emissão empregados, bem como sua respectiva eficiência de remoção dos poluentes, além outras informações julgadas relevantes, para desta forma contribuir com a melhoria do processo de controle dessas emissões, de modo a prevenir ou minimizar as emissões de COVs para a atmosfera, uma vez que não foram encontrados trabalhos com escopo similar a esse.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o levantamento das características, modo de operação e equipamentos de controle de emissão dos compostos orgânicos voláteis utilizados nas cabines de pintura de carrocerias automotivas – veículos leves, das indústrias automotivas no Estado de São Paulo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Fazer uma pesquisa sobre o processo de pintura de carrocerias automotivas (veículos leves);
- Pesquisar as fontes de poluição do ar e respectivos poluentes;
- Pesquisar normas e legislações relacionadas ao controle da poluição gerada pela emissão de COVs provenientes da pintura automotiva;
- Pesquisar os equipamentos de controle de emissão atmosférica utilizados para a remoção de COVs das cabines de pintura automotiva – veículos leves;
- Realizar um estudo de caso em indústria automobilística (veículos leves).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CONCEITOS GERAIS SOBRE POLUIÇÃO DO AR

4.1.1 Definição de Poluição do Ar

Segundo o Artigo 2 da Lei Estadual nº 997/76 e alterações, entende-se por “poluição do ar a presença, o lançamento ou a liberação de qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com os valores estabelecidos em lei, ou que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à fauna e à flora; prejudicial às atividades da comunidade”.

4.1.2 Fontes de Poluição do Ar

O Artigo 5 Lei Estadual nº 997/76 e alterações define “fontes de poluição como qualquer atividade, sistema, processo, operação, maquinaria, equipamento ou dispositivo que cause ou possa causar a poluição ambiental através da emissão de poluentes”. Por isso, a “instalação, construção, ampliação e o funcionamento das fontes de poluição estão sujeitos à prévia autorização do pelo órgão ambiental estadual, mediante expedição de Licença Ambiental quando for o caso” (SÃO PAULO, 1976b).

As fontes de poluentes atmosféricos podem ser provenientes de eventos naturais como erupção vulcânica, ou antropogênicos, provenientes das atividades humanas como queima de combustível por veículos automotores e atividades industriais. “As fontes de emissões atmosféricas são classificadas em fontes fixas ou móveis” (VIEIRA, 2009).

As fontes fixas, também denominadas de estacionárias, são quaisquer instalações, equipamentos ou processos, situados em um “local fixo, que libere ou emita para a atmosfera emissão pontual ou fugitiva” como, por exemplo, as refinarias, centrais de energia elétrica e indústrias químicas.

A emissão pontual é o “lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, realizada por uma fonte provida de dispositivo para direcionar e controlar seu fluxo, como chaminés e dutos”.

Já a emissão fugitiva é o “lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, realizada por uma fonte desprovida de dispositivo para direcionar ou controlar seu fluxo” (BRASIL, 2006). Podem ser fontes abertas, originadas de áreas abertas para a atmosfera, por exemplo, bacias de decantação, lagoas de estabilização, redes de drenagem e separadores de água e óleo.

Existem ainda, as fontes evaporativas, que geram emissões para a atmosfera, como as provenientes de tanques de armazenamento de produtos químicos. Essas emissões são resultantes da volatilização do produto químico e são liberados para atmosfera através dos vents e válvulas de alívio. Outro exemplo de fontes evaporativas são os tanques de combustíveis nos postos de gasolina (CETESB, 2017).

As fontes móveis são fontes que produzem carga difusa. Estas fontes não se situam em lugar fixo, podendo locomover-se, como carros, aviões, e demais meios de transporte (VIEIRA, 2009).

4.1.3 Principais Poluentes Atmosféricos

Segundo o Artigo 3 da Lei Estadual nº997/76 o lançamento ou liberação de poluentes no meio ambiente é proibido. O Decreto regulamentador da referida Lei define poluente como toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada no ar:

“I — com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes;”

“II — com características e condições de lançamento ou liberação, em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecidos nas mesmas prescrições;”

“III — por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto;”

“IV — com intensidade, em quantidade e de concentração ou com características que direta ou indiretamente, tornem ou possam tornar ultrapassáveis os padrões de qualidade do meio ambiente estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes;”

“V — que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem estar público danosos aos materiais a fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade.” (Artigo 3 do Decreto Estadual nº8.468/76).

Os poluentes do ar são classificados em poluentes primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente da fonte para o ar, por exemplo: “Monóxido de Carbono (CO), o Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Metano (CH₄), Materiais Particulados (MP), Hidrocarbonetos Aromáticos (HPA) e Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)”. Os “poluentes secundários são aqueles formados na atmosfera por meio de reações químicas, como reações fotoquímicas, hidrólise, oxidação”. Entre os poluentes secundários formados na atmosfera destacam-se os Nitratos de Peroxiacil (PAN) e o Ozônio (O₃) (GUIMARÃES, 2016).

Os principais poluentes atmosféricos em função da frequência que ocorrem e de seus efeitos negativos para a saúde e ao meio ambiente possuem as seguintes características, conforme consta em Brasil (2019):

- **“Aldeídos (RCHO):** são compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos álcoois ou de reações fotoquímicas na atmosfera, envolvendo hidrocarbonetos. Estes poluentes podem ser emitidos na queima de combustível em veículos automotores que utilizam etanol, os aldeídos predominantes formados são o formaldeído e o acetaldeído”.
- **“Dióxido de Enxofre (SO₂):** é um gás incolor e tóxico, emitido por fontes naturais (atividade vulcânica) ou antrópica gerada pela queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição. O SO₂ pode reagir com outros compostos na atmosfera formando material particulado de pequeno diâmetro”.
- **“Dióxido de Nitrogênio (NO₂):** é um gás poluente altamente oxidante, precursor para a formação do ozônio troposférico. Apresenta efeitos negativos sobre a saúde humana e também sobre as mudanças climáticas. Pode ser emitido por fontes naturais (vulcanismos, descargas elétricas e ações bacterianas) ou antrópicas (processos de combustão)”.
- **“Hidrocarbonetos (HC):** são compostos formados de moléculas de carbono e hidrogênio, que podem estar na forma de gotas, gases e partículas finas. Podem ser classificadas em hidrocarbonetos totais (THC); hidrocarboneto simples como o metano (CH₄); hidrocarbonetos não metano (NMHC), que compreendem os THC menos a parcela de CH₄. Os NMHC são precursores para a formação do ozônio troposférico, e o CH₄ é um importante gás causador do efeito estufa”.

- **“Material Particulado (MP):** é uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido, compostos de materiais com características químicas e físicas diversas. O MP é classificado de acordo com o diâmetro das partículas, devido à relação existente entre diâmetro e possibilidade de penetração no trato respiratório humano. As principais fontes de emissão são a queima de biomassa vegetal e combustíveis fósseis, a emissões de amônia na agricultura e as emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias”.
- **“Monóxido de Carbono (CO):** é um gás incolor e inodoro, formado no processo de queima de combustíveis, na qual não existe oxigênio suficiente para realizar a queima completa do combustível. A maioria das emissões em áreas urbanas é proveniente de veículos automotores”.
- **“Ozônio (O₃):** é um poluente secundário formado a partir de outros poluentes atmosféricos. Altamente oxidante na troposfera. O ozônio é encontrado naturalmente na estratosfera onde tem a função positiva de absorver radiação solar, impedindo que grande parte dos raios ultravioleta cheguem a superfície terrestre. Porém, a formação do ozônio troposférico ocorre por meio de reações químicas complexas que acontecem entre o NO_x e COVs na presença de radiação solar, com efeito adverso no meio ambiente. Estes poluentes são emitidos principalmente pela queima de combustíveis fósseis, volatilização de combustíveis e agricultura”.
- **“Poluentes Climáticos de Vida Curta (PCVC ou em inglês SLCP):** são poluentes que tem tempo de vida curto na atmosfera (de alguns dias a algumas décadas), apresentam efeitos negativos para a saúde e meio ambiente, além de contribuir para o efeito estufa. Os principais PCVC são o negro de fumo (*carbon black*), CH₄, O₃ troposférico e os hidrofluorocarbonetos (HFCs)”.
- **“COVs:** podem ser emitidos por fontes naturais, como emissão por plantas, oceanos, atividades microbianas, e por fontes antropogênicas. Na produção de veículos, os COVs representam a fonte de emissão mais significativa e são oriundos do processo de pintura. Esta atividade emite Compostos Orgânicos Voláteis não Metanos (COVNM) (CETESB, 2017), por isso, o presente trabalho estudou a emissão e formas de controle dos COVNM emitidos pelas cabines de pintura automotivas”. Os COVs são definidos na literatura como um subgrupo dos compostos orgânicos caracterizados pela tendência de evaporar (volatilizar) á temperatura ambiente e pressão atmosférica normal (GUIMARÃES, 2016).

Segundo a Resolução CONAMA nº382/2006 os COVs são “poluentes que não possuem característica química definida, são definidos como compostos orgânicos que possuem ponto de ebulição de até 130°C na pressão atmosférica e podem contribuir na formação de oxidantes fotoquímicos”, conforme redação dessa legislação.

De acordo com a Diretiva 1999/13/EC (UNIÃO EUROPEIA, 1999) os COVs “são compostos orgânicos com pressão de vapor igual ou superior a 10 Pa a 20°C, ou com volatilidade equivalente nas condições de utilização específica”.

Segundo a USEPA (2019) os COVs “são compostos de carbono, exceto o CO, CO₂, carbonetos ou carbonatos metálicos, ácido carbônico e o carbonato de amônio, que participam de reações fotoquímicas atmosféricas”.

No Estado de São Paulo os COVs são classificados de acordo com seu ponto de ebulição. O Plano de Monitoramento e Emissões Atmosféricas classifica os compostos orgânicos que apresentam volatilidade em dois grupos, sendo eles: os compostos voláteis (quando o ponto de ebulição varia de 30 a 120°C) e os compostos semi-voláteis (quando o ponto de ebulição varia de 120 a 300°C). Portanto, para o Estado de São Paulo os COVs são os compostos orgânicos com ponto de ebulição de até 120°C (CETESB, 2010).

Os principais COVs em uma atmosfera poluída são classificados nos seguintes grupos: alcanos, alcenos, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, éteres, álcool, nitratos de peroxiacil, hidrocarbonetos aromáticos e hidrocarbonetos biogênicos (GUIMARÃES, 2016).

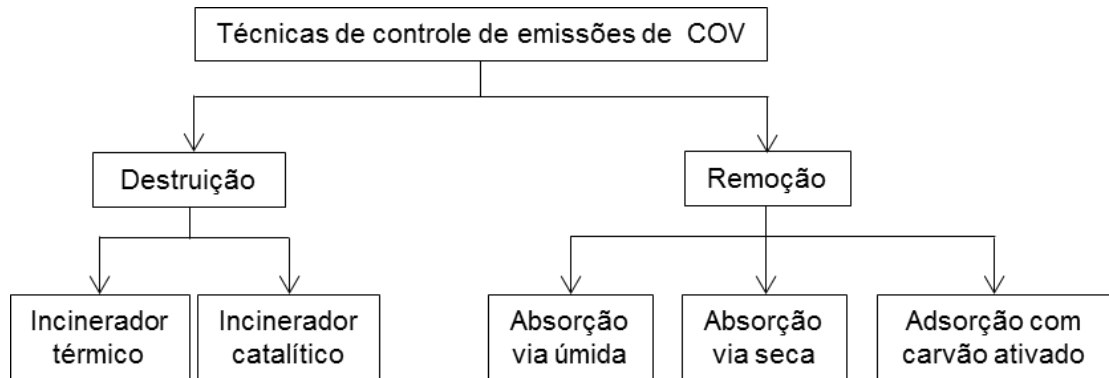
4.1.4 Tecnologias de Controle de COVs

Segundo a Resolução CONAMA nº382/2006 e 436/2011, considera-se “equipamento de poluição do ar o dispositivo que reduz as emissões atmosféricas”.

Existem diversas técnicas de controle disponíveis para reduzir a emissão de COVs do processo de pintura automotiva. Os dispositivos de controle reduzem as emissões recuperando ou destruindo os COVs antes de serem lançados na atmosfera. Os dispositivos de remoção englobam os processos de absorção em via úmida ou seca, ou adsorção em carvão ativado, e são geralmente utilizados em cabines de pintura. Os dispositivos de destruição, mediante a oxidação, incluem incineradores térmicos e

catalíticos que são geralmente utilizadas em estufas de secagem (USEPA, 1982). A Figura 4 esquematiza as técnicas de tratamento de controle de emissões de COVs.

Figura 4 - Técnicas de controle de emissões de COVs



Fonte: Adaptado Khan e Ghoshal (2000)

Cabe ressaltar que também existe a tecnologia de controle com a utilização de microrganismos, denominada tratamento biológico de gases. À seguir, serão apresentadas as principais tecnologias de controle de poluição do ar aplicáveis a COVs.

4.1.4.1 INCINERADOR

“A incineração é um método eficiente na eliminação de gases e vapores de origem orgânica”. O processo de combustão promove a oxidação dos compostos orgânicos voláteis (COVs) levando a sua eliminação ou redução a compostos com menor toxicidade. A combustão de gases residuais pode ser realizada em um incinerador térmico ou em um incinerador catalítico (USEPA, 2002).

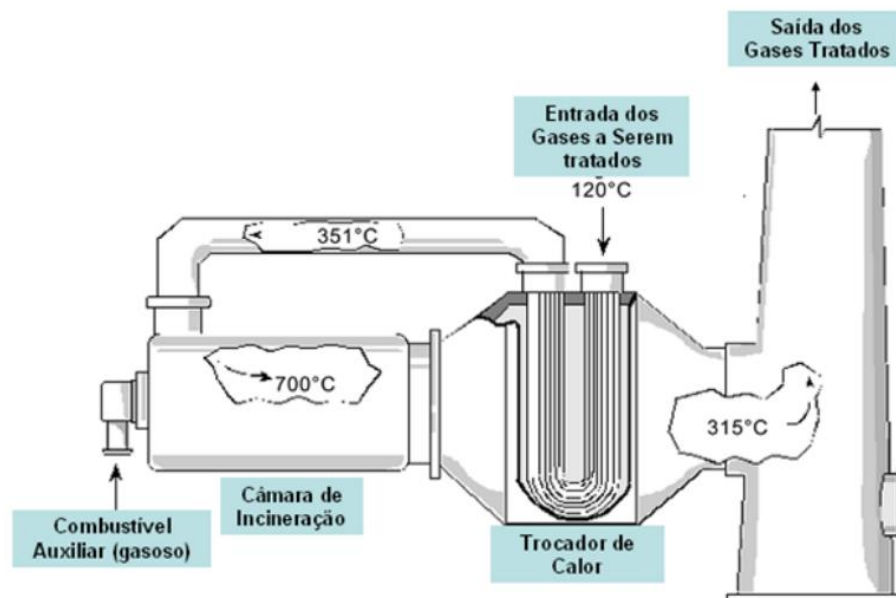
O incinerador térmico ou de chama direta, consiste em uma câmara de combustão onde os COVs presentes no ar de exaustão são oxidados por meio do contato direto com a chama, produzida pela queima de um combustível auxiliar, normalmente gasoso no Estado de São Paulo (Artigo 38, § 1º do Decreto Estadual nº8468/76 e alterações).

No incinerador térmico ocorre à combustão controlada, em altas temperaturas, e com tempo de residência que garanta a destruição térmica do poluente (USEPA, 2002).

O incinerador térmico pode ser projetado com ou sem a recuperação de energia. Os incineradores térmicos providos de recuperadores de energia térmica, podem ser do tipo regenerativo (ex.: cerâmicos) ou do tipo recuperativo (ex.: trocador de calor), sendo que ambos utilizam a temperatura dos gases de exaustão da combustão para pré-aquecimento dos gases que estão entrando no sistema (USEPA, 2002).

O incinerador térmico é projetado para realizar a destruição de 95 a 99% dos COVs. Este sistema tem capacidade para tratar de 28,32 a 12.158,42 m³/min uma concentração de COVs que varia entre 100 a 2.000 ppm, dependendo do projeto (KHAN; GHOSHAL, 2000). A Figura 5 ilustra um incinerador térmico com trocador de calor.

Figura 5 – Incinerador térmico com trocador de calor

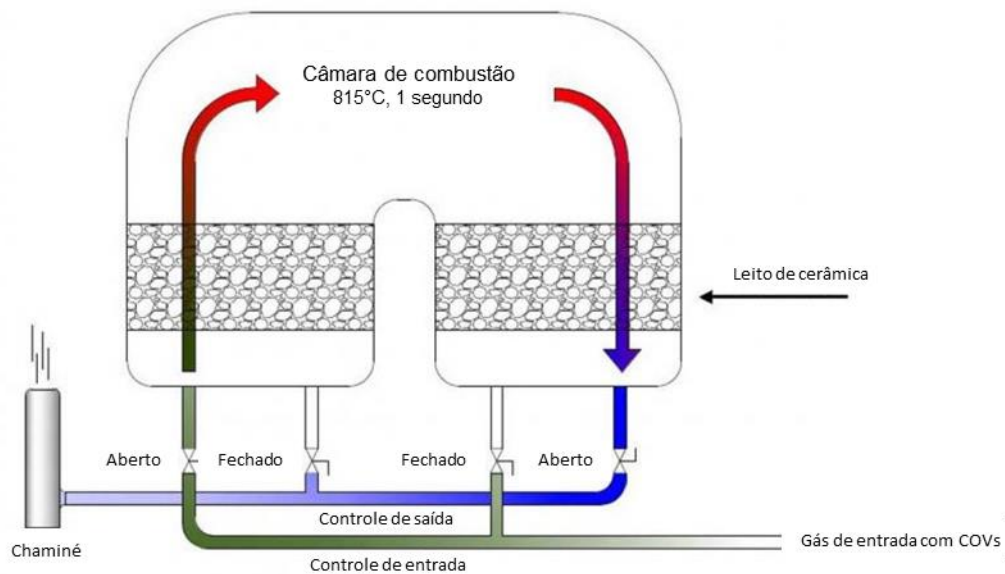


Fonte: CETESB (2017b)

Os incineradores térmicos que utilizam sistemas regenerativos são denominados de Incineradores Térmicos Regenerativos (RTO). Esses sistemas usam trocadores de calor de contato direto construído de material cerâmico que pode tolerar as altas temperaturas necessárias para a combustão dos gases tratados. O gás de entrada passa primeiro pelo leito quente de cerâmica, aquecendo o fluxo de gás (e esfriando o leito), à temperatura de combustão. Se a temperatura requerida não for atingida, uma pequena quantidade de combustível auxiliar é adicionada na câmara de combustão.

Os gases quentes reagem liberando energia na câmara de combustão, quando passam pelo outro leito de cerâmica, aquecendo-o até a temperatura de saída da câmara. O fluxo do processo é então alterado, e o fluxo de gás à ser tratado entra pelo leito quente. Este processo cíclico permite uma recuperação de energia muito alta de até 95% (USEPA, 2002). A Figura 6 ilustra o Incinerador Térmico Regenerativo (RTO).

Figura 6 – Incinerador Térmico Regenerativo RTO



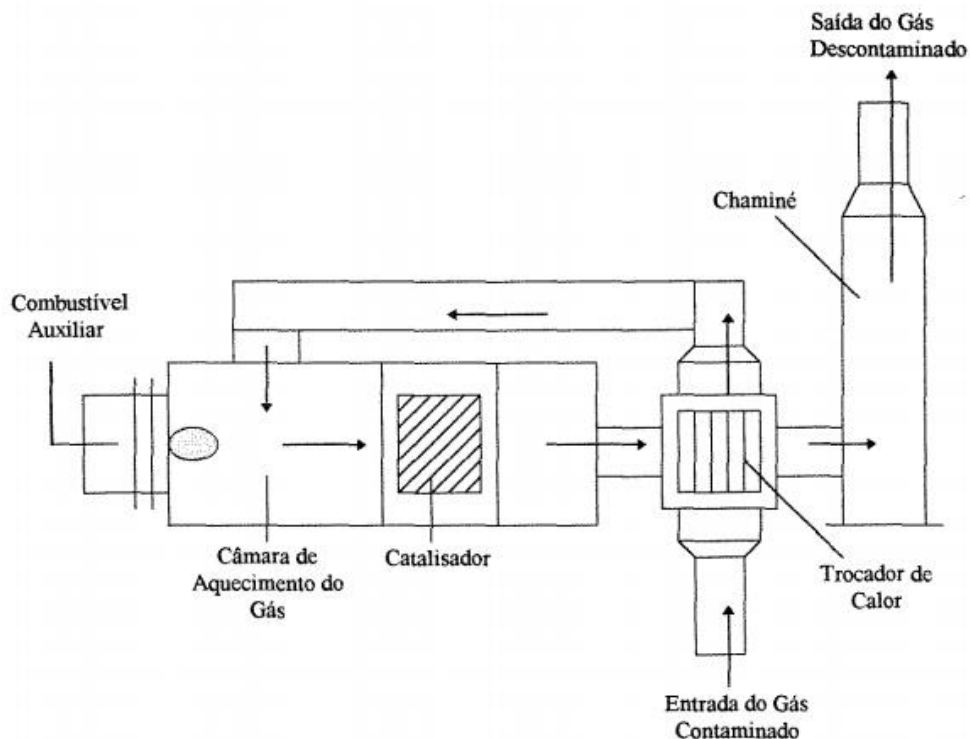
Fonte: adaptado Equipamentos Econebra (2020).

No incinerador catalítico a combustão ocorre na superfície do catalisador (reação exotérmica), a oxidação dos COVs ocorre na superfície de um catalisador. A principal diferença entre a combustão catalítica e a térmica, é que na combustão catalítica a temperatura de operação é menor, geralmente o sistema opera entre 200 a 500°C, devido ao uso do catalisador que reduz a necessidade da energia de combustão. Os incineradores catalíticos também podem ser providos de recuperadores de calor para utilizar a temperatura dos gases incinerados na câmara de combustão para pré-aquecimento dos gases que estão entrando no sistema. Os catalisadores são constituídos de metais nobres como paládio, platina, tungstênio (KHAN; GHOSHAL, 2000).

Os sistemas de catalisadores podem ser projetados para tratar de 28,32 a 2.831,68m³/min com uma concentração de COVs que varia entre 100 a 2.000 ppm, dependendo do projeto, sendo adequados para baixas concentrações ou operação cíclicas, e frequentemente utilizados para fontes de emissão de COVs com fluxo variável. A eficiência de remoção varia entre 90 e 95% (KHAN; GHOSHAL, 2000).

O incinerador catalítico consome menos combustível auxiliar e tem menor custo operacional se comparado com o incinerador de chama direta. No entanto, sua eficiência de remoção dos contaminantes é menor, alguns compostos não orgânicos como enxofre, cloretos e silício podem envenenar o catalisador, além da necessidade de dispor adequadamente o catalisador usado como resíduo perigoso (ENGLEMAN, 2010). A Figura 7 ilustra um incinerador catalítico com trocador de calor.

Figura 7 – Incinerador catalítico com trocador de calor



Fonte: Kaskantzis Neto (1995)

Segundo o Artigo 38 do Decreto Estadual nº 8.468/76, “as substâncias odoríferas resultantes de estufas de secagem ou cura de peças pintadas e envernizadas, devem ser incineradas em pós-queimadores, operando a uma temperatura mínima de 750°C, com tempo de residência mínima de 0,5 segundos, ou por outro sistema de controle de poluentes, de eficiência igual ou superior”.

4.1.4.2 ABSORÇÃO EM VIA ÚMIDA

A absorção em via úmida é o processo de transferência de compostos presentes na fase gasosa para um solvente (água ou solução alcalina) na fase líquida. Nesse processo há transferência simultânea dos poluentes na fase gasosa e sólida para a fase líquida por meio da absorção física, os poluentes ficam retidos na água. A absorção dos COVs na cortina d'água depende da solubilidade do poluente no líquido absorvente, área disponível para contato, concentração do poluente na fase gasosa e na fase líquida e da vazão do gás em relação a vazão do líquido (CETESB, 2019). Os equipamentos de controle de poluição por absorção em via úmida são as cortinas de água, torres de absorção, torres de pratos e lavador de aspersão "spray" (KHAN; GHOSHAL, 2000). A Figura 8 ilustra uma cortina de água.

Figura 8 – Cortina d'água



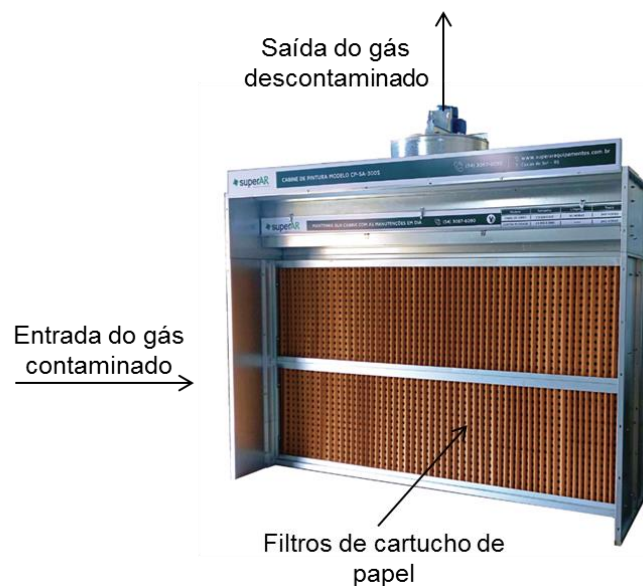
Fonte: adaptado Equipamentos SuperAr (2019)

As cortinas d'água são configuradas em um sistema fechado, desta forma o líquido de lavagem passa por um tratamento de águas residuais antes de retornar para cortina d'água, para não saturar e manter a eficiência de absorção. O tratamento das águas residuais é baseado no processo de coagulação. A água da cortina d'água é encaminhada para o tanque de borra, onde é adicionado coagulante para ocorrer a precipitação do pigmento dissolvido na água. Desta forma, o pigmento é separado da água, que retorna para a cortina d'água e o pigmento fica depositado por sedimentação no fundo do tanque.

O sistema de absorção pode ser projetado para tratar um fluxo de 56,63 a 2.831,68 m³/min, com concentração de 500 a 5000 ppm de COVs, dependendo do projeto. Um absorvedor pode alcançar eficiência de remoção de COVs de 95 a 98% (KHAN; GHOSHAL, 2000).

Na absorção em via seca os COVs presentes no gás “são absorvidos em material poroso como, por exemplo, cartuchos de papel ou mangas filtrantes de diversos materiais” (CETESB, 2017), conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Absorção em via seca – cartucho de papel



Fonte: adaptado Equipamentos SuperAr (2019)

4.1.4.3 ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

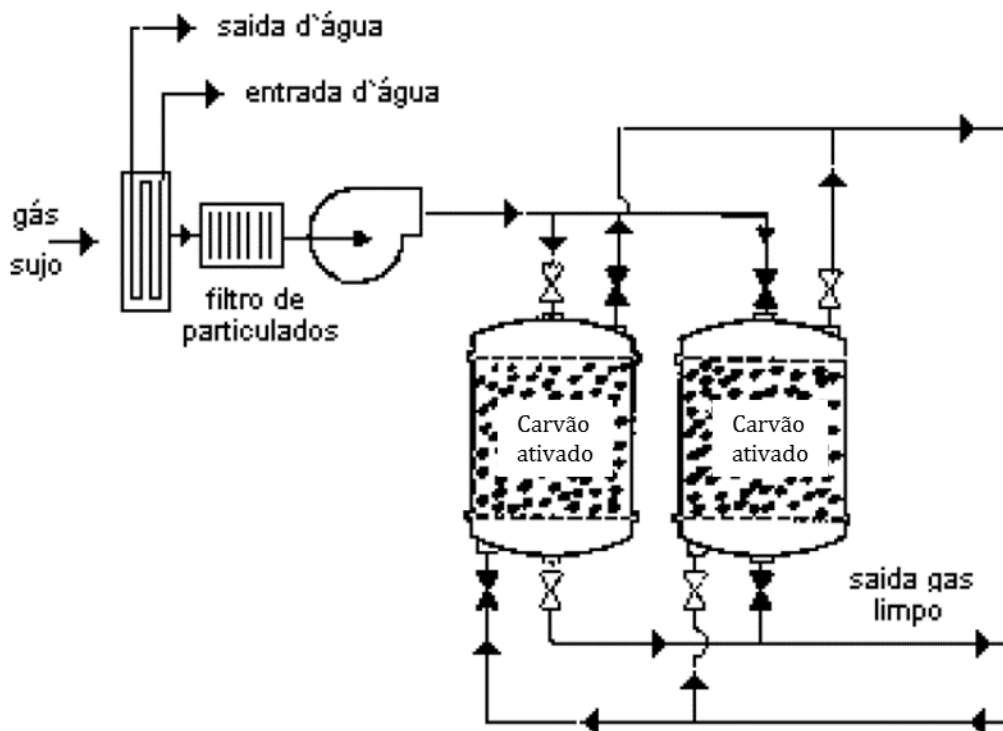
A adsorção é um processo seletivo e indicado para a remoção de poluentes presentes em gases e vapores em baixas e altas concentrações, sobretudo para substâncias que geram odor. A adsorção consiste na transferência dos COVs presentes no meio gasoso para o material adsorvente sólido, por meio da aderência na superfície do adsorvente (LISBOA; SCHIRMER, 2007).

A adsorção dos COVs em carvão ativado é um método de controle de emissão muito comum. O sistema é dimensionado de acordo com o fluxo e a concentração dos COVs. A capacidade de adsorção do carvão para um determinado tipo de COV é determinada através da isoterma de adsorção. O carvão ativado é um ótimo

adsorvente, por ser um material sólido altamente poroso e com grande área de superfície específica (KHAN; GHOSHAL, 2000). Os adsorvedores podem ser de leito único ou múltiplo, fixo ou móvel. A eficiência de remoção dos contaminantes gasosos na prática é de até 95, dependendo do projeto (LISBOA; SCHIRMER, 2007).

Uma das vantagens é a possibilidade de recuperar os solventes utilizando o processo regenerativo, porém após a regeneração deve ser implementado um equipamento de controle de emissão para evitar que os compostos retidos no adsorvente retornem para a atmosfera como, por exemplo, um lavador ou incinerador (ENGLEMAN, 2010). A Figura 10 ilustra um sistema duplo de adsorvedor de leito fixo de carvão ativado.

Figura 10 – Adsorvedor de leito fixo de carvão ativado



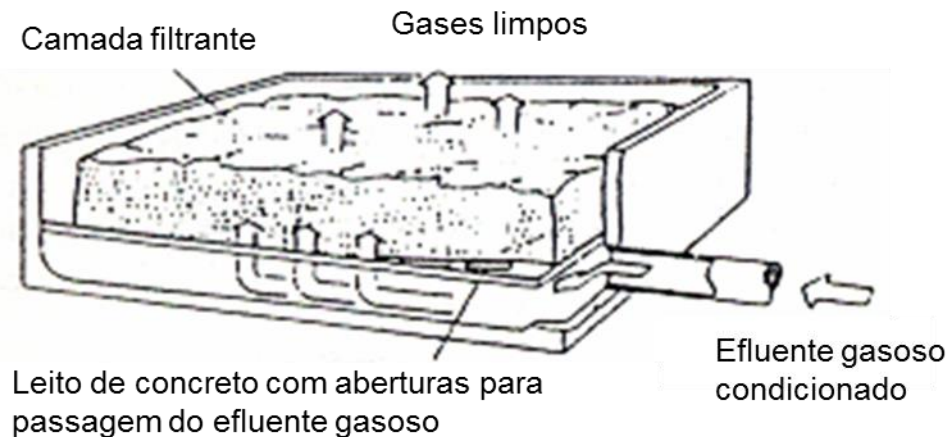
Fonte: LISBOA; SCHIRMER (2007)

4.1.4.4 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE GASES(BIOFILTRO)

O tratamento biológico de gases é utilizado para tratamento de substâncias odoríferas orgânicas e inorgânicas. O processo de biodegradação ocorre em fase aquosa, em presença de oxigênio. O ar com poluentes fica adsorvido no suporte que contem na sua superfície microrganismos ativos, na forma de biofilme. É no suporte onde ocorre o processo de biodegradação dos poluentes. Os produtos da reação biológica são

essencialmente gás carbônico, água e material celular, conforme mostra a Figura 11 (SIQUEIRA, 2011).

Figura 11 – Esquema do mecanismo de biodegradação



Fonte: SIQUEIRA, 2011 - adaptado

Os componentes gasosos podem ter uma biodegradabilidade variável, dessa forma, a eficiência do tratamento do ar contaminado depende da capacidade dos microrganismos em metabolizar os poluentes. Os COVs são utilizados como fontes de energia e de carbono para os microrganismos, e os produtos dessas reações biológicas a partir do material orgânico são gás carbônico e água. No entanto, pode gerar subprodutos metabólicos relativos aos heteroátomos existentes na cadeia dos COVs, como o cloro e o enxofre (SIQUEIRA, 2011).

4.1.4.5. OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE

Ressaltamos que além das tecnologias de controle apresentadas, existem medidas de controle aplicáveis a emissões fugitivas do processo, como a manutenção periódica de “dispositivos e acessórios de tubulações, como válvulas, bombas e suas conexões, como as flanges”, utilizadas para reduzir essas emissões.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA

4.2.1 Principais Características das Tintas

As tintas de revestimento podem ser compostas por diferentes matérias-primas em função dos tipos de superfície a serem aplicadas, da especificidade de desempenho requerida e da forma de aplicação. De forma geral, a “tinta é uma mistura estável de uma parte sólida (película aderente à superfície) em um componente volátil (água ou solventes orgânicos)”. “As tintas são constituídas pelas resinas, pigmentos, solventes e aditivos” (SILVA et al., 2000).

As resinas são responsáveis pela formação da película da tinta, conferem as características químicas e físicas da mesma, determinam a resistência, o brilho, a secagem e aderência. Os pigmentos são responsáveis por conferir cor ou cobertura à tinta. São substâncias insolúveis, “dispersos no meio (tinta) formando uma dispersão relativamente estável e se fixando na superfície”. Já os solventes podem ser a “base de compostos orgânicos ou água, são responsáveis pelo estado líquido da tinta com uma determinada viscosidade”. Depois da aplicação da tinta, o solvente evapora ficando apenas uma camada de filme seco sobre a superfície que recebeu a tinta (FAZENDA, 2005).

Os solventes orgânicos são geralmente classificados em hidrocarbonetos e os oxigenados. “Os hidrocarbonetos podem ser subdivididos em alifáticos e aromáticos, e os solventes oxigenados abrangem as cetonas, éteres, álcoois, acetatos, entre outros”. A escolha do solvente de uma tinta depende da solubilidade das resinas escolhidas, da viscosidade requerida e da forma de aplicação da tinta (VILLAS, 2006). “As tintas de base aquosa utilizam como fase volátil água adicionada de uma pequena quantidade de solventes”, como por exemplo, a tinta látex constituída por 98% de água e 2% de solvente. As tintas de base aquosa utilizam a água como diluente e o solvente como coalescente – insumo que colabora com a formação adequada do filme sobre a superfície (FAIRBANKS, 2017). “Entre os sistemas aquosos utilizados na indústria, o exemplo mais relevante é o primer eletroforético utilizado na pintura original automotiva” (CETESB, 2008).

Os aditivos são produtos químicos empregados em baixas concentrações nas tintas e possuem funções específicas como, por exemplo, aumentam a proteção anticorrosiva, bloqueiam os raios UV, podem ser catalisadores de reações, dispersantes de pigmentos e cargas, melhoram o nivelamento, entre outras funções (WEG, 2018).

Além das tintas líquidas existem as “tintas em pó, que são isentas de componentes líquidos em sua formulação”, e em temperatura ambiente apresentam-se na forma de pó. A aplicação geralmente é realizada por processos eletrostáticos (CETESB, 2008). A Tabela 1 mostra alguns exemplos de revestimentos utilizados no processo de pintura de carrocerias automotivas. A Tabela relaciona o tipo de revestimento, com os constituintes presentes na “Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ)” e a forma de aplicação do respectivo revestimento. Foi observado que o revestimento com maior teor de solventes é base de poliéster.

Tabela 1 – Exemplos de revestimentos utilizados na pintura de carroceria automotiva

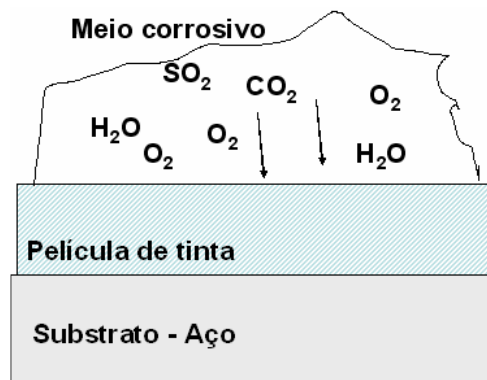
Tipo	Composição (FISPQ)			Aplicação
	Substância	Número CAS	Concentração (%)	
Base poliéster (tinta pronta)	AB-9	64742-95-6	1 – 10	Pistola em cabine fechada
	Acetato de Etilglicol	111-15-9	1 – 10	
	Álcool n-Butílico	71-36-3	1 – 10	
	Xileno	1330-20-7	20 – 40	
	Acetato de Butila	123-86-4	40 – 60	
Verniz alto sólidos 13000	Substância	Número CAS	Concentração (%)	Pistola em cabine fechada
	AB-9	64742-95-6	5 – 15	
	Acetato de Etilglicol	111-15-9	1 – 10	
	Xileno	1330-20-7	30 – 50	
	Acetato de Butila	123-86-4	10 – 20	
Verniz alto sólidos 15000	Substância	Número CAS	Concentração (%)	Pistola em cabine fechada
	AB-9	64742-95-6	5 – 15	
	Acetato de Etilglicol	111-15-9	5 – 15	
	Xileno	1330-20-7	5 – 15	
	Acetato de Butila	123-86-4	15 – 25	
	Acetato de butilglicol	112-07-2	1 – 5	
Primer poliuretano	Substância	Número CAS	Concentração (%)	Pistola em cabine fechada
	AB-9	64742-95-6	5 – 15	
	Xileno	1330-20-7	10 – 15	
	Acetato de Butila	123-86-4	1 – 10	
	Butilglicol	111-76-2	1 – 5	

Fonte: adaptado Skylack (2015)

4.2.2 Descrição do Processo de Pintura de Carrocerias Automotivas

A pintura automotiva têm dois objetivos principais, a proteção anticorrosiva e um efeito estético de acabamento final. A tinta forma um filme de proteção, uma barreira físico-química, que evita e/ou retarda a permeação de água, de íons e dos gases presentes na atmosfera até a superfície metálica revestida, conforme ilustra a Figura 12. O revestimento por pintura garante a conservação da carroceria automotiva, aumentando sua “resistência aos agentes atmosféricos (luz solar, calor, umidade, frio), aos agentes químicos (soluções ácidas e básicas) e a efeitos mecânicos (riscos e desgaste)” (BEM, 2008).

Figura 12- Esquema da tinta aplicada sobre aço-carbono

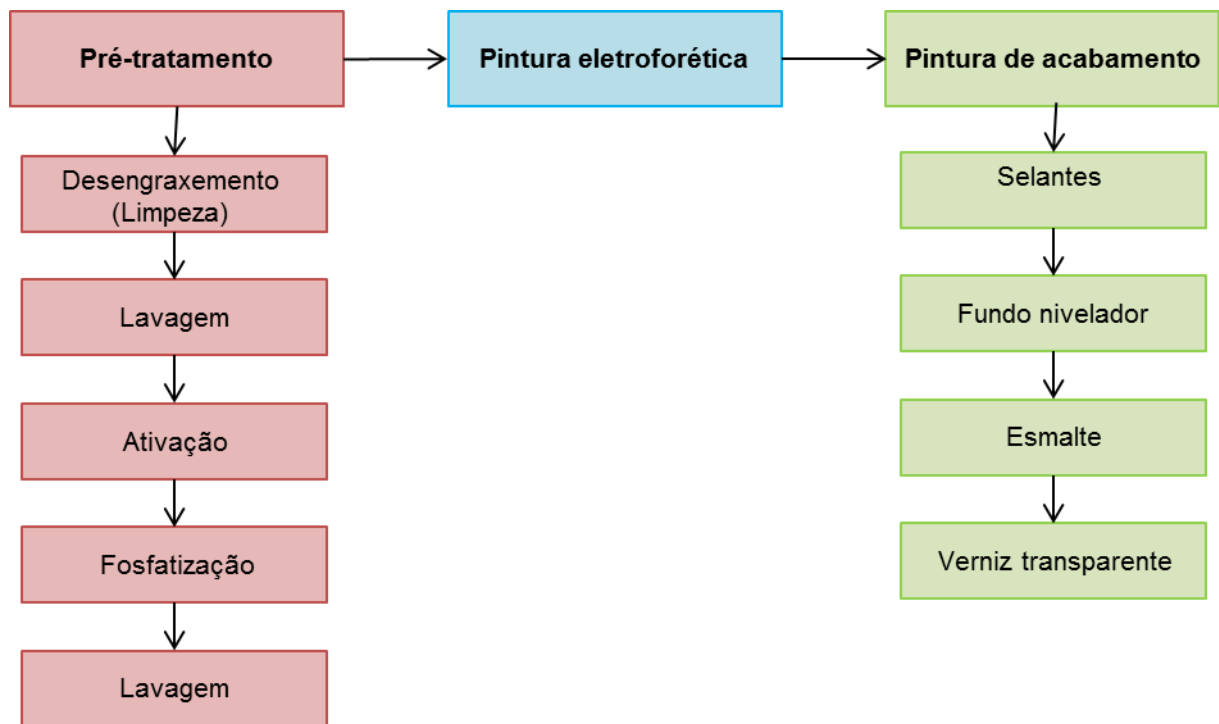


Fonte: VILLAS, 2006

Desde 1960, a pintura por eletroforese tem sido adotada nas indústrias automobilísticas no mundo todo, pois oferece alto desempenho de proteção anticorrosiva e cobertura. Entre as principais vantagens do processo de eletrodeposição estão: a cobertura de frestas e locais de difícil alcance, eficiência de transferência de material entre 95 a 99%, sistema de circuito fechado com excelente produtividade e baixos custos, baixos níveis de emissão atmosférica e menor geração de efluente (RANJBAR; MORASIAN, 2005).

Atualmente no Brasil, Europa, Japão e Estados Unidos, quase todos os automóveis produzidos são pintados por eletroforese catódica (VILLAS, 2006). O processo de pintura automotiva pode ser dividido em três etapas, sendo elas: pré-tratamento, pintura eletroforética e pintura de acabamento, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13 - Etapas da pintura por eletroforese catódica de carroceria automotiva



Fonte: elaboração própria (2019)

O pré-tratamento consiste nas fases de desengraxamento, lavagem, ativação, fosfatização e lavagem.

O desengraxe é a etapa de limpeza para remoção de impurezas como óleos, graxas, partículas de sujeira, resíduos de lixamento, que podem estar sobre a carroceria e influenciar negativamente na aderência do revestimento que será formado sobre a peça. A pré-limpeza “ocorre normalmente a uma temperatura de 50 a 60°C, utilizando agentes de limpeza alcalinos que podem conter fosfatos e agentes tensoativos” (CETESB, 2017).

Entre cada etapa do processo de pré-tratamento normalmente a carroceria é lavada com água desmineralizada para evitar que os banhos sejam contaminados e que alguma impureza permaneça na superfície, comprometendo o resultado final da pintura (CAMILO, 2011).

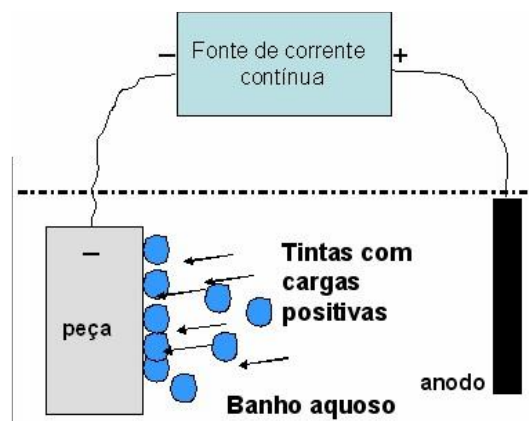
A ativação ocorre através de uma solução coloidal alcalina de fosfato de titânio e tem como objetivo refinar e controlar o crescimento dos cristais de fosfato que serão formados no processo de fosfatização. No processo de ativação são formados núcleos na superfície metálica propícios à deposição do fosfato a ser formado.

Quanto maior o número de núcleos por unidade de superfície, menor serão os cristais formados e portanto mais compacto será o filme, resultando em uma melhor cobertura da superfície e proteção anticorrosiva (VILLAS, 2006).

Na fosfatização uma camada fina de fosfato de zinco é depositada sobre a superfície metálica “por pulverização ou por imersão com uma solução à base de água”, a fim de realizar uma interação físico-química entre o substrato (carroceria automotiva) e a camada de tinta. A fosfatização melhora a aderência da tinta devido à modificação do perfil de rugosidade, além de proteger a superfície metálica contra a corrosão. O fosfato sozinho não tem grande eficácia anticorrosiva, mas quando associado a um tratamento posterior de pintura, aumenta a proteção anticorrosiva devido à afinidade química entre as camadas fosfato/metál e fosfato/tinta serem maiores do que a afinidade química entre metal/tinta. Na sequência é realizada uma lavagem com água desmineralizada e a carroceria metálica é imediatamente transferida para a área de pintura eletroforética (BILIASI, 2015).

A eletrodeposição da tinta é um processo de pintura baseado no mesmo princípio de imersão simples, porém utiliza tintas cuja formulação permite sua polarização. As indústrias mais modernas trabalham com pigmento cinza. Na pintura por eletroforese catódica, a carroceria automotiva é carregada negativamente, e a tinta positivamente. O conceito de eletroforese é a aplicação da tinta a partir de sua migração para a carroceria devido à diferença de potencial entre o tanque de tinta e a peça, criando assim um campo elétrico. Através do campo elétrico formado, a tinta é atraída e depositada sobre a peça, conforme ilustra a Figura 14 (VILLAS, 2016).

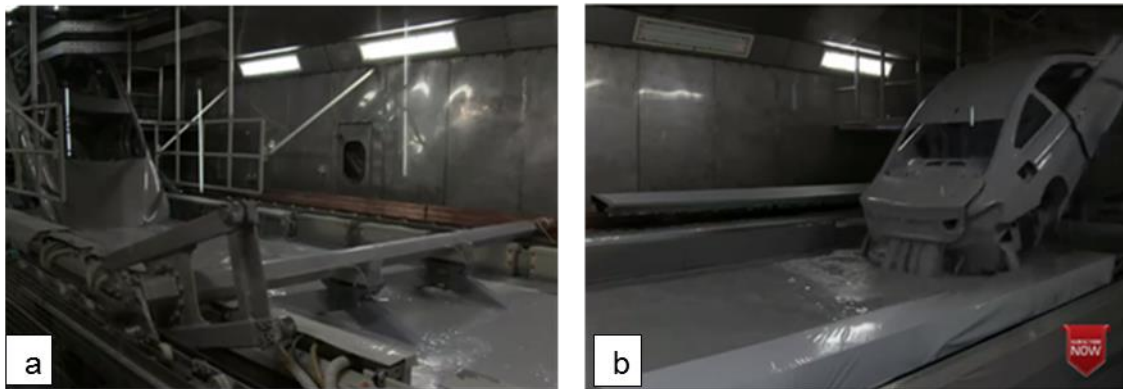
Figura 14 - Processo de deposição de tinta por eletrodeposição



Fonte: VILLAS, 2006

A pintura por eletrodeposição é conhecida como E-coat (*Eletrocoating*) ou KTL (Pintura Eletroforética Catódica), é o processo de pintura que possibilitou dar uma maior qualidade aos carros, pois garante a proteção das carrocerias por 3 anos no Brasil. Após essa etapa, a carroceria revestida pela camada de tinta é retirada do tanque de imersão e segue para a estufa onde ocorrerá o processo de cura, conforme a ilustram a Figura 15 e a Figura 16, respectivamente (CAMILO, 2011).

Figura 15 - Pintura por eletrodeposição catódica de carroceria automotiva



- a) Entrada de carroceria no tanque de eletrodeposição catódica b) Saída de carroceria com a eletrodeposição catódica

Fonte: Adaptado New (2019)

Figura 16 - Carroceria automotiva após processo de cura da pintura eletrodeposição

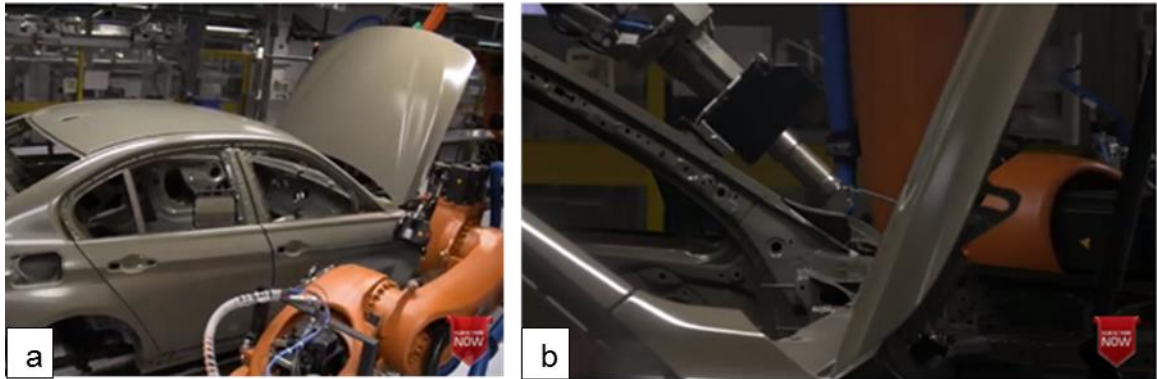


Fonte: Adaptado New (2019)

A pintura de acabamento consiste nas fases de aplicação de selantes, fundo nivelador, esmalte e verniz transparente. Estas etapas ocorrem dentro de cabines de pintura. “A aplicação de massa selante à base de celulose pode ser realizada por

robôs ou manualmente, utilizando materiais constituídos de policloreto de vinila” (PVC), conforme mostra a Figura 17 (CAMILO, 2011).

Figura 17 - Aplicação de massa selante por robôs

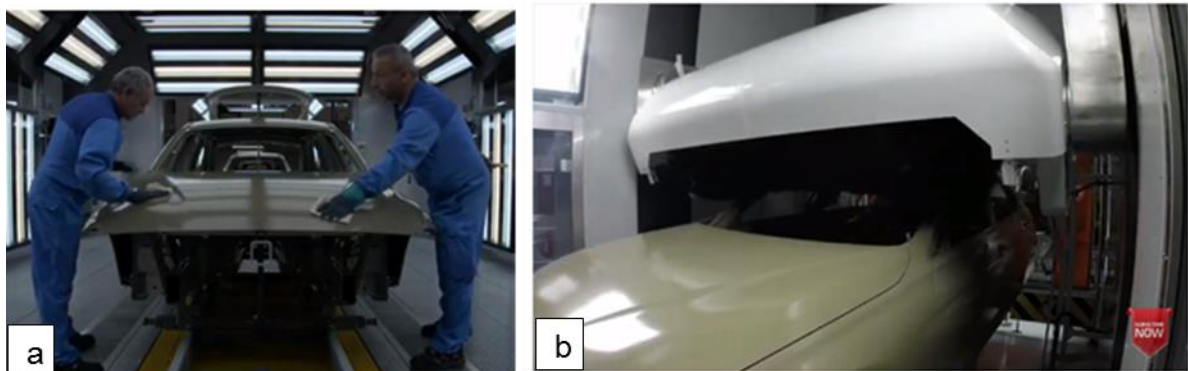


a) Aplicação da massa na carroceria b) Detalhe da aplicação robotizada

Fonte: Adaptado New (2019)

“Os materiais de proteção, de vedação e a parte inferior da carroçaria” podem ser secos, antes de continuar o processo de pintura. A carroceria é limpa antes da aplicação do primer, para remoção de eventuais partículas que podem prejudicar a camada de revestimento, conforme a Figura 18 (CETESB, 2017).

Figura 18 - Remoção de eventuais partículas que podem prejudicar a camada de revestimento



a) Remoção manual das partículas com tecido (flanela) b) Detalhe da carroceria limpa

Fonte: Adaptado New (2019)

A aplicação do “fundo nivelador, utilizando primer de superfície, é uma pintura protetiva entre o processo de eletroforese e a aplicação de esmalte (cor final)”. O primer de superfície tem a função de preencher pequenos desníveis da superfície,

garantir a estabilidade e a adesão do esmalte, proteger contra diversos tipos de agressão física (pedras, pedriscos) e “proteção UV, para as camadas e eletro-imersão subjacentes”. O primer pode ser a base de solventes ou água, e geralmente, é aplicado sobre a carroceria eletrostaticamente, ou manualmente em alguns pontos da carroceria, conforme ilustra a Figura 19 (CETESB, 2017).

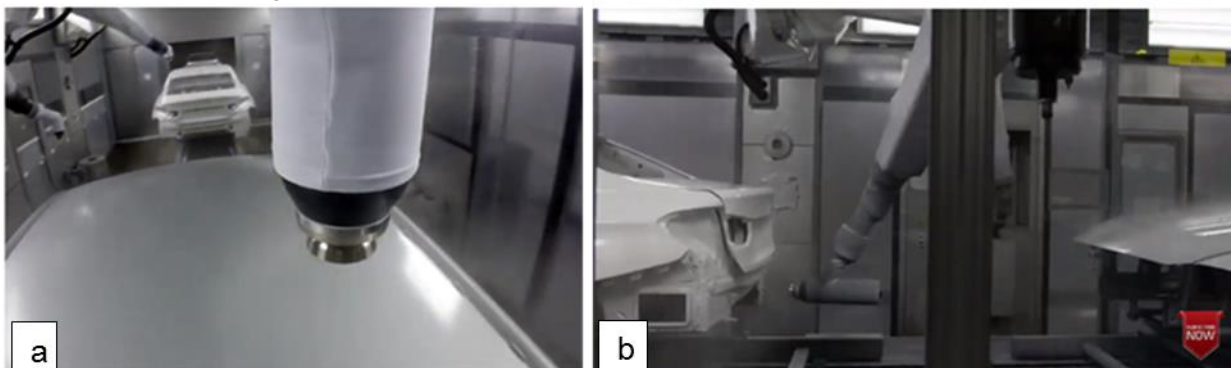
Figura 19 - Aplicação do primer de superfície sobre a carroceria automotiva



Fonte: Adaptado New (2019)

A aplicação do esmalte é responsável pela cor final do automóvel, e é constituído por uma resina pigmentada durável, podendo ser aplicado por robôs ou manualmente, seguido do processo de cura, conforme ilustra a Figura 20. O processo de cura “acelera a vaporização dos solventes da camada de tinta aplicada”, e pode ocorrer em estufa de secagem por convecção, radiação ou uma combinação de ambos (CETESB, 2017).

Figura 20 - Aplicação do esmalte e pigmentação final da carroceria, por robôs



a) Detalhe do aplicador sobre a carroceria

b) Detalhe da aplicação robotizada do pigmento

Fonte: Adaptado New (2019)

A última etapa do processo de pintura de carrocerias automotivas é a aplicação do verniz transparente, uma resina clara que confere durabilidade à superfície e alto brilho, conforme ilustra a Figura 21. Após o processo de pintura é realizada a limpeza do sistema de aplicação de pintura, onde os “resíduos de pintura são expelidos, permitindo assim a troca de cor no sistema” (CETESB, 2017).

Figura 21 - Aplicação do verniz transparente feita por robôs



Fonte: Adaptado New (2019)

Na indústria de “produção de veículos os COVs representam a fonte de emissão mais significativa”. Como já mencionado, essa a atividade emite os “COVs não metanos (COVNM), oriundos das cabines de pintura, estufas de secagem e do sistema de limpeza dos equipamentos de aplicação de tinta” (CETESB, 2017).

Aproximadamente de 75 a 90% dos COVs emitidos durante o processo de pintura são oriundos da cabine de pintura e da área de *flashoff* (área intermediária entre a cabine de pintura e a estufa de secagem), os demais COVs são emitidos pela estufa de secagem (USEPA, 1982).

“As emissões de COVs resultantes do processo de pintura podem variar significativamente de uma indústria para outra, dependendo dos tipos de solventes utilizados, dos sistemas de pintura e do fator de eficiência da técnica de aplicação”. Além desses fatores, a quantidade de COVs emitidos por veículo no processo de pintura é influenciada pelo teor de COVs presente nos revestimentos, teor de sólidos dos revestimentos, área revestida por veículo e espessura do filme (USEPA, 1982; CETESB, 2017).

4.2.3 Características das Cabines de Pintura

As operações de pintura de automóveis por pulverização produzem aerossóis contendo gotículas e vapores de solventes, na qual os trabalhadores ficam expostos. As cabines de pintura têm como objetivo captar as emissões fugitivas de partículas de tinta emitidas durante o processo de pintura por meio de um fluxo de ar projetado para que o *over spray*, tinta residual não depositada sobre a superfície da carroceria automotiva, seja conduzido para sua retenção e ou lavagem antes do ar ser exaurido para a atmosfera. As cabines de pintura garantem um bom acabamento, além de reduzir a exposição dos funcionários à inalação de vapores de solventes e sólidos da tinta (USEPA, 1997).

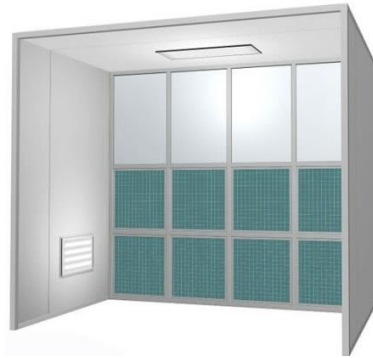
A cabine de pintura é constituída de um corpo (metálico ou alvenaria) na qual é realizado o processo de pintura da peça, um sistema de exaustão e controle para retenção ou tratamento do *over spray* da tinta. O tipo de cabine é próprio para cada tipo de pintura, que pode ser líquida ou a pó. As cabines podem ser do tipo aberto ou fechado, com fluxo de ar *crossdraft* ou *down-draft*, conforme descrito a seguir (CABINE, 2018).

4.2.3.1 TIPOS DE CABINES DE PINTURA

As cabines de pintura podem ser classificadas entre cabine do tipo aberta ou fechada. A cabine de tipo aberta é composta por duas paredes laterais, o teto e uma câmara traseira de filtro de exaustão, conforme mostra a Figura 22. O ar flui da abertura na cabine em direção à câmara de exaustão, os filtros interceptam e retém o *over spray* e o ar é expelido da estrutura pelo ventilador do exaustor (MANNELLI, 2016).

As cabines de tipo fechado podem ser divididas em dois grupos: as não pressurizadas (pressão negativa) e as pressurizadas (pressão positiva). Nas cabines fechadas não pressurizadas o ar entra através de uma estrutura, podendo ser um conjunto de filtros montados nas portas da cabine ou em uma câmara, e sai pela estrutura do ventilador exaustor. Nas cabines fechadas pressurizadas, o volume de ar que entra na cabine é similar ao volume de ar que sai para a área externa através do ventilador exaustor, por isso, a cabine pressurizada pode controlar a temperatura e a limpeza do ar que circula internamente de forma mais eficaz (MANNELLI, 2016).

Figura 22 - Cabine de pintura aberta

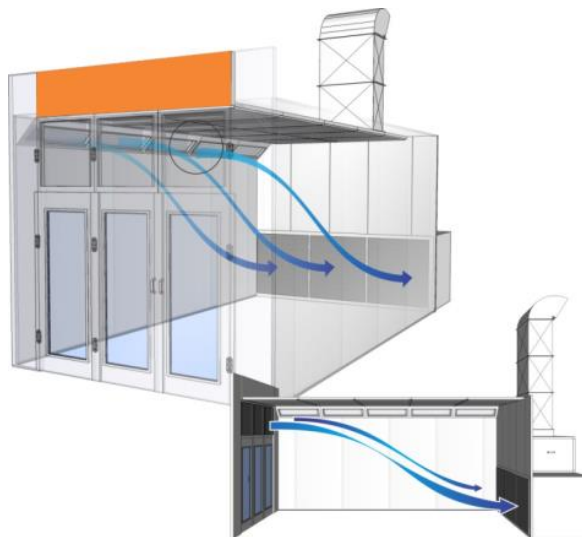


Fonte: Mannelli (2016)

As cabines de tipo fechado não pressurizadas e pressurizadas podem ser encontradas em diferentes configurações, que variam conforme o caminho do seu fluxo de ar interno. Podem ser denominadas cabines fechadas *crossflow*, *semi-downdraft*, *side-downdraft* e *downdraft* (MANNELLI, 2016).

Na cabine *crossflow* (fluxo de ar horizontal), o ar entra através de filtros na frente da cabine e é exaurido através de filtros na parte de trás da cabine, percorrendo de uma extremidade a outra da cabine, conforme a Figura 23.

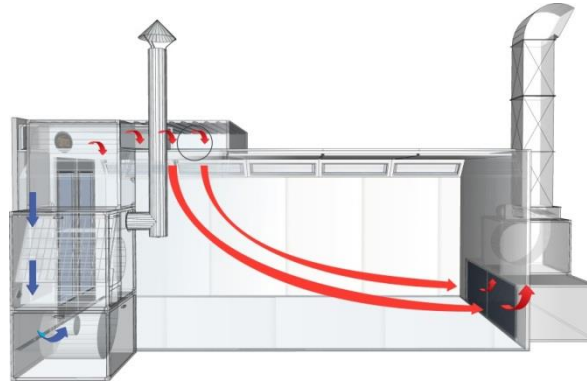
Figura 23 - Cabine crossflow



Fonte: Mannelli (2016)

Na cabine *semi-downdraft*, o ar entra através dos filtros localizados no teto da cabine e é exaurido através de filtros na parte de trás da cabine, movimentando-se de uma extremidade a outra da cabine, conforme a Figura 24.

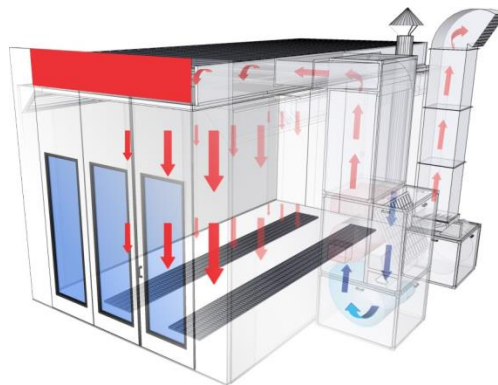
Figura 24 - Cabine semi-downdraft



Fonte: Mannelli (2016)

Na cabine *downdraft* (fluxo de ar vertical), o ar entra através dos filtros localizados no teto da cabine e sai através do piso, com o excesso de tinta pulverizada e os vapores dos solventes. A cabine pode ser de alvenaria, com um sistema de túnel ou poço escavado para extrair o ar da parte central do piso da cabine, conforme a Figura 25.

Figura 25 - Cabine downdraft



Fonte: Mannelli (2016)

4.2.4. Algumas medidas de controle das emissões de COVs Utilizadas no Setor de Pintura Automotiva

4.2.4.1. TECNOLOGIAS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

Na literatura foram encontradas algumas tecnologias de controle de poluição do ar utilizadas para reduzir as emissões de COVs presentes em tintas automotivas, onde cada estudo abordou um método de remoção específica.

De acordo com o estudo de Chen et al. (2017), realizado em uma cabine de pintura de reparação automotiva, a tecnologia de controle de poluição do ar por torre de *spray* integrada a fotocatalise de dióxido de tiosulfato foi capaz de remover até 309,9 g/m³h de COVs oxigenados e 124,5 g/m³h de COVs monocromáticos.

Em outro estudo, realizado em uma indústria de tintas automotivas, utilizando a tecnologia de adsorção em carvão ativado associado à fotocatalise para remoção de COVs, o carvão ativado foi capaz de reter mais de 96% dos COVs oxigenados, e os COVs remanescentes submetidos à degradação por fotocatalise obtiveram uma eficiência de remoção entre 10,2 a 79,4% dependendo do composto (ZHANG et al., 2018). Entretanto, no Brasil não foram encontrados trabalhos sobre técnicas de tratamento específicas desenvolvidas para remoção das emissões de COVs em cabines de pintura automotiva.

4.2.4.2. MINIMIZAÇÃO DO TEOR DE COVS EM TINTAS

Além dos equipamentos de controle de emissões, existem outros meios para minimizar as emissões atmosféricas de COVs do processo de pintura automotiva e assim reduzir a formação do ozônio troposférico como, por exemplo, “limitar o teor de COVs das tintas, vernizes e produtos de retoque de veículos”. Atualmente existe um esforço mundial para reduzir “o uso de solventes orgânicos em tintas” e minimizar a emissão dos COVs. Entre as iniciativas estão a substituição do solvente orgânico “por água, aumento do teor de sólidos”, desenvolvimento do sistema de cura por ultravioleta e o desenvolvimento de tintas em pó (CETESB, 2008).

Nesse sentido a Agência de Proteção Ambiental da Comunidade Europeia e do Reino Unido, por meio da Directiva 2004/42/CE e 2012/1715/UK, respectivamente,

delimitaram os teores máximos para os COVs (em grama por litro de produto utilizado no processo de pintura) para veículos novos, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Teores máximos de COVs (g) por litro de produto

“Subcategoria de produtos”	Tipo	VOC (g/L)
“Tintas mate para paredes e tetos interiores (brilho)”	BA	30
	BS	30
“Tintas brilhantes para paredes e tetos interiores (brilho >25 a 60°C)”	BA	100
	BS	100
“Tintas para paredes exteriores de substrato mineral”	BA	40
	BS	430
“Tintas para remates e painéis interiores/exteriores de madeira ou metal”	BA	130
	BS	300
“Vernizes e primer para remates interiores/exteriores, incluindo primer opacos”	BA	130
	BS	400
“Primer com poder de enchimento mínimo para interiores e exteriores”	BA	130
	BS	700
“Primários”	BA	30
	BS	350
“Primários fixadores”	BA	30
	BS	750
“Produtos de revestimento de alto desempenho monocomponente”	BA	140
	BS	500
“Produtos de revestimento reativos de alto desempenho bicomponente para utilizações finais específicas, nomeadamente em pisos”	BA	140
	BS	500
“Produtos de revestimento multicolor”	BA	100
	BS	100
“Produtos de revestimento de efeito decorativo B”	BA	200
	BS	200

BA: a base de água; BS: a base de solvente.

Fonte: adaptado União Europeia (2004); Reino Unido (2012)

4.3 ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

A Lei Estadual nº 997 de 1976 prevê como objeto de regulamentação os “Padrões de Emissão” (Artigo 15, inciso VI) referente “à intensidade, concentração e as quantidades máximas de toda e qualquer forma de matéria ou energia, cujo lançamento ou liberação no ar seja permitido”, além dos “Padrões de Qualidade do Meio Ambiente” (Artigo 15, inciso V) entendido como a concentração, as “quantidades e as características de toda e qualquer forma de matéria ou energia, cuja presença no ar possa ser considerada normal”. Outro objeto de regulamentação são os “Padrões de Condicionamento e Projeto” (Artigo 15, inciso VII) que correlaciona “as características e condições de lançamento de toda e qualquer forma de matéria ou energia no meio ambiente, com as características e condições do local de utilização das fontes de poluição”.

O “Decreto Estadual nº 59.113 de 2013 que estabelece novos padrões de qualidade do ar considera como poluentes primários aqueles poluentes emitidos diretamente pelas fontes de poluição, por exemplo, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio (Artigo 1, inciso I). E poluentes secundários aqueles formados a partir de reações entre outros poluentes, por exemplo, o ozônio” (Artigo 1, inciso II).

O “Decreto Estadual nº 8.468 de 1976 regulamenta a Lei Estadual nº 997 de 1976”, os artigos do Decreto que se referem ao controle de fontes de poluição do ar, que se aplicam ao trabalho apresentado são:

- “Artigo 31: proíbe a emissão de fumaça, por parte de fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior ao padrão 1 da Escala de Ringelmann. Utilizado caso alguma empresa tenha fonte de combustão, como caldeiras, fornos, estufas, pós-queimador, etc”.
- “Artigo 33: proíbe a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidade que possam ser perceptíveis fora dos limites da área da fonte emissora”.
- “Artigo 34: define que o lançamento de efluentes provenientes da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos deverá ser realizado através de chaminé. A chaminé é necessária para os casos de equipamentos de controle para avaliação da eficiência”.

- “Artigo 35: toda fonte de poluição do ar deve ser provida de sistema de ventilação local exaustora e o lançamento de efluentes na atmosfera deve ser realizado obrigatoriamente através de chaminé, salvo outra especificação”.
- “Artigo 38: as substâncias odoríferas resultantes de estufas de secagem ou cura para peças pintadas devem ser incineradas em pós-queimadores, operados a uma temperatura mínima de 750°C, em tempo de residência mínima de 0,5 segundos, ou tratado por outro sistema de controle de poluição de eficiência igual ou superior”.
- “Artigo 40: a atividade de cobertura de superfícies por aspensão, como pintura ou aplicação de verniz a revolver, deve ser realizada em compartimento próprio provido de sistema de ventilação local exaustora e de equipamento eficiente para retenção do material particulado”.
- “Artigo 41: as fontes de poluição para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, como os COVs, devem adotar sistema de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível”.
- “Artigo 42: dispõe sobre as novas fontes de poluição do ar que pretendam instalar-se quanto sua localização. Este artigo foi alterado pelo Artigo 11 do Decreto Estadual nº 591113 de 2013”.

O “Decreto nº 59.113 de 2013 estabeleceu novos Padrões de Qualidade do Ar, para os poluentes: dióxido de enxofre, monóxido de carbono, material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm, material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm, partículas totais em suspensão, material particulado em suspensão na forma de fumaça, chumbo no material particulado, dióxido de nitrogênio e ozônio. Os Padrões de Qualidade do Ar são divididos em Metas Intermediárias (MI), estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar e, os Padrões Finais (PF), valores determinados para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica. O Quadro 2 mostra os Padrões de Qualidade do Ar para o ozônio, estabelecido como concentração da média de 8 horas consecutivas”.

Quadro 2 - Padrões de Qualidade do Ar para o ozônio

Padrões de Qualidade do Ar	Decreto Estadual nº59.113/2013	Resolução CONAMA nº491/2018
MI1	140 µg/m ³	140 µg/m ³
MI2	130 µg/m ³	130 µg/m ³
MI3	120 µg/m ³	120 µg/m ³
PF	100 µg/m ³	100 µg/m ³

Fonte: adaptado São Paulo (2013)

Os “padrões de qualidade do ar para o ozônio apresentados no Quadro 2 mostram que os padrões de qualidade do ar Nacional estabelecidos pela Resolução CONAMA nº419/2018” são similares aos padrões Estadual definido no Decreto Estadual nº59.113/2013. Os “padrões nacionais de qualidade do ar” também são “divididos em padrões de qualidade do ar intermediários e o padrão da qualidade do ar final”.

“Para o gerenciamento da qualidade do ar, o Estado de São Paulo foi dividido em 22 regiões denominadas Regiões de Controle de Qualidade do Ar – RCQA, que coincidirão com as 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo” (Artigo 3). As RCQA podem ainda ser divididas ou agrupadas em sub-regiões.

A “classificação da qualidade do ar de uma sub-região é determinada por estação de medição da qualidade do ar conforme sua representatividade espacial, e são observados os seguintes poluentes: ozônio, partículas inaláveis 10 µm, partículas inaláveis finas 2,5 µm, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre”. A qualidade do ar de uma sub-região quanto a um poluente específico, pode ser classificada como “Maior que M1, M1, M2, M3 e MF, onde cada classe é determinada comparando as concentrações do poluente com os Padrões de Qualidade do Ar (Decreto nº 59.113/2013)”. O Quadro 3 mostra os critérios de classificação das sub-regiões.

Quadro 3 - Critérios de classificação das sub-regiões_ Decreto Estadual nº59113/13

Maior que M1	“Média aritmética das médias anuais dos últimos 3 (três) anos representativos maior que o MI1.”
M1	“Média aritmética das médias anuais dos últimos 3 (três) anos representativos menor ou igual ao MI1 e maior que o MI2.”
M2	“Média aritmética das médias anuais dos últimos 3 (três) anos representativos menor ou igual ao MI2 e maior que o MI3.”
M3	“Média aritmética das médias anuais dos últimos 3 (três) anos representativos menor ou igual ao MI3 e maior que o PF.”
MF	“Média aritmética das médias anuais dos últimos 3 (três) anos representativos menor ou igual ao PF.”

Fonte: Adaptado São Paulo (2013)

Para as fontes de poluição “localizadas nas sub-regiões classificadas em M3, M2, M1 e Maior que M1, devem seguir o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas estabelecido pela CETESB”. Este plano é composto pelo “Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE) e pelo Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV)” (CETESB, 2017).

O PREFE contém metas gradativas para atender “os Padrões de Qualidade do Ar”. Com base nos inventários de emissão de cada fonte de poluição é calculada a redução das emissões das fontes fixas e móveis. “Os empreendimentos industriais que integram o inventário de fontes fixas” devem reportar as emissões atmosféricas anualmente, conforme o Termo de Referência estabelecido pela CETESB (Decreto nº 59.113, 2013).

Os empreendimentos integrantes do PREFE também devem utilizar a “Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) no controle de poluentes”. Em 2017 a CETESB elaborou o guia PREFE de MTPD para a atividade de pintura da indústria automobilística, o “guia é uma referência técnica” que auxiliar as indústrias no diagnóstico de suas fontes de emissões atmosféricas e contém também técnicas de controle e prevenção das emissões.

As “novas fontes de poluição ou ampliação das existentes em relação à localização são proibidas de se instalarem ou operarem quando, houver risco potencial a que alude o inciso V do artigo 3º do Regulamento da Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976 (Decreto nº 8.468 de 1976), mesmo que as emissões provenientes de seu processo atendam os incisos I, II, III e IV” do mesmo artigo.

Os novos empreendimentos e ampliações de existentes localizados em “regiões classificadas como Maior que M1, cujo total de emissões adicionadas seja igual ou superior” aos contidos no Quadro 4, devem “compensar em 110% das emissões atmosféricas a serem adicionadas dos poluentes que causaram essa classificação e devem implantar a MTPD”. Para o ozônio, a compensação das emissões serão realizadas pela redução dos poluentes precursores de sua formação, “os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (Decreto nº 59.113, 2013)”.

Quadro 4 - Total permitido de emissões adicionadas por novos empreendimentos e ampliação dos existentes

“Material particulado”	100 t/ano
“Óxidos de nitrogênio”	40 t/ano
“Compostos orgânicos voláteis, exceto metano”	40 t/ano
“Óxidos de enxofre”	250 t/ano

Fonte: Adaptado Decreto

Para fontes novas, é necessária a elaboração de um estudo de emissões para comparação com essas linhas de corte. Caso sejam ultrapassadas, deverá haver compensação de 110% das emissões adicionadas do poluente que confere a região ou sub-região a classificação como >M1.

Na indústria automotiva os “COVs representam a fonte mais significativa de emissão, esta atividade emite os compostos orgânicos voláteis não metanos (COVNM), oriundos das cabines de pintura, estufa de secagem e do sistema de limpeza dos equipamentos de aplicação de tinta”.

Segundo o Decreto nº 59.113 de 2013, “os COVNM são definidos como todo composto orgânico, exceto o metano (CH₄), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB” (CETESB, 2017).

As “novas fontes de poluição ou ampliação das existentes localizadas nas demais classificações das sub-regiões ou em sub-regiões sem classificação devem utilizar sistemas de controle de poluição do ar baseados na MTPD” (Decreto nº 59.113, 2013). Por fim o “Decreto nº 59.113 de 2013 institui o Plano de Emergência para episódios críticos de poluição do ar”, com medidas que visam evitar graves e iminentes riscos à saúde humana. Para execução do Plano de Emergência foram determinados “os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência”. Para definir cada nível é considerado a concentração dos poluentes: “ozônio, dióxido de enxofre, material particulado, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono”; as previsões meteorológicas; e fatores intervenientes. O Quadro 5 mostra as concentrações do ozônio para “os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência”.

Quadro 5- Concentrações do ozônio para os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência – Decreto Estadual nº 59113/13

Níveis	“Concentração de ozônio, média de 8 horas”
Atenção	> 200 µg/m ³
Alerta	> 400 µg/m ³
Emergência	> 600 µg/m ³

Fonte: Adaptado Decreto

O “Plano de Emergência para episódios críticos de poluição do ar” também são previstas no âmbito nacional na Resolução CONAMA nº 419/2018 (Quadro 6). Observa-se que os valores dos “níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência” para o ozônio são equivalentes aos valores estabelecido no âmbito do Estado pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 2013 (Quadro 5).

Quadro 6- Concentrações do ozônio para os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência – CONAMA nº 481/2018

Níveis	“Concentração de ozônio, média de 8 horas”
Atenção	> 200 µg/m ³
Alerta	> 400 µg/m ³
Emergência	> 600 µg/m ³

Fonte: Adaptado CONAMA

Durante a pesquisa não foram encontradas normativas ou regulamentos no âmbito Federal ou Municipal (do Estado de São Paulo) relacionadas à emissão de COVs pela atividade de pintura automotiva.

A União Europeia para reduzir os efeitos diretos e indiretos das emissões de COVs para o ambiente e os riscos potenciais a saúde humana, elaborou a Diretiva 1999/13/EC (UNIÃO EUROPEIA, 1999), que contém medidas e procedimentos aplicáveis às atividades que operam acima dos limiares de consumo de solventes indicado na referida norma. Para a atividade de revestimento de veículos novos o limiar de consumo de solvente é de 15 t/ano, os empreendimentos novos e existentes que extrapolem esse limite de consumo devem atender os requisitos da Diretiva. Entre esses requisitos, os empreendimentos devem reportar anualmente à autoridade competente os dados que lhe permitam verificar o cumprimento da Diretiva 1999/13/EC. Os empreendimentos cuja emissão de COVs após o equipamento de controle de poluição é superior a 10 kg/h de COVs, o monitoramento deve ser contínuo, nos demais casos o monitoramento pode ser contínuo ou periódico (UNIÃO EUROPEIA, 1999).

Nos Estados Unidos, a USEPA também determinou valores limites para emissão de COVs resultantes dos processos de pintura nas indústrias automotivas (USEPA, 1998). Os valores limites de emissão dos COVs foram determinados para cada tipo de revestimento aplicado e estão apresentados no Quadro 12 (pág. 65).

4.4 ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE COVs DURANTE O PROCESSO DE PINTURA

A estimativa de emissões tem por objetivo determinar a quantidade de poluentes gerados em atividades industriais. Para isso, são avaliados “parâmetros físicos e/ou químicos, associados direta ou indiretamente às substâncias gasosas, líquidas ou sólidas que são lançadas na atmosfera por uma atividade (CETESB, 2017b)”.

A estimativa das emissões atmosféricas pode ser realizada utilizando abordagens de medidas diretas, fatores de emissão, balanços de massa, cálculos estimativos/estequiométricos e parâmetros indiretos/substitutos. O “uso de medidas diretas é mais objetivo”, no entanto, quando este método é complexo, custoso ou impraticável, pode ser avaliado outro método para estimar as emissões atmosféricas (CETESB, 2010).

No Guia MTPD existe uma orientação para elaboração do balanço de massa para estimar a emissão de COVs por metro quadrado pintado, a fórmula para estimar a emissão é apresentada na Equação 1.

$$VE = 1000 \times \frac{(VC1 \times COV1) + (VC2 \times COV2) + Solv1 + Solv2 \dots - (RSA + RSB \dots)}{(B1 \times S1) + (B2 \times S2) + \dots} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

“VE= emissão média de COV (g/m² por mês)”

“VC1= volume de Tinta 1 usada por mês (L)”

“COV1= conteúdo de COV da Tinta 1 (kg/L)”

“VC2= volume de Tinta 2 usada por mês (L)”

“COV2= conteúdo de COV da Tinta 2 (kg/L)”

“Solv1= peso do Solvente 1 usado por mês (kg); Exemplo: solvente para primer-colorido”

“Solv2= peso do Solvente 2 usado por mês (kg)”

“RSA= somatória de solventes capturados na fase de vapor, reciclados ou destruídos por equipamento de controle de COV (kg); Exemplo: emissão de solventes durante a aplicação de tinta”

“RSB= somatória de solventes capturados na fase líquida (kg)”

“B1= número de carrocerias do tipo B1 pintadas em um mês”

“S1= área de Superfície da carroceria B1 que passa pela eletroforese (m²)”

“B2= número de carrocerias do tipo B2 pintadas em um mês”

“S2= área de Superfície da carroceria B2 que passa pela eletroforese (m²)”

Conforme determina o Guia de MTPD os teor de COV presentes nos insumos devem ser fornecidas pelos fabricantes das matérias-primas, e a quantidade de COVs de cada insumo deve “constar na Ficha de Informações sobre Produtos Químicos”. E para determinar a quantidade de COVs captado e destruído no equipamento de controle de poluição deve ser utilizado o Anexo II.3 do Guia de MTPD (CETESB, 2017).

Dessa forma, é possível com o conhecimento prévio da quantificação de emissões geradas, a elaboração de projetos e “medidas de controle de poluição do ar” mais assertivas, do cumprimento de exigências técnicas para dar continuidade ao licenciamento pretendido em relação ao controle das missões atmosféricas, como a comparação das linhas de corte do Decreto Estadual nº 59113/13 para as emissões de fontes novas.

A USEPA (1982) elaborou dois métodos para estimar a emissão de “COVs provenientes do processo de pintura em montadoras automotivas”. O primeiro método estima as emissões de acordo com o tipo de revestimento utilizado em cada etapa da pintura, com base no fator de emissão. O fator de emissão foi determinado com base na média aritmética dos valores de COVs emitidos por cada tipo de revestimento

durante o processo de pintura automotiva realizado em montadoras Norte Americanas de 1980, conforme mostra o Quadro 7.

Quadro 7 - Fatores de emissão de COVs do processo de pintura automotiva

Revestimento	Automóvel (kg de COV)	
	Por veículo	Por hora
Primer de cobertura		
Pulverização da tinta a base de solvente	6,61 (14,54)	363 (799)
Eletrodeposição catódica	0,21 (0,45)	12 (25)
Revestimento primário		
Pulverização da tinta a base de solvente	1,89 (4,16)	104 (229)
Pulverização da tinta a base de água	0,68 (1,50)	38 (83)
Pintura de acabamento		
Laca	21,96 (48,31)	1208 (2657)
Dispersante da laca	14,50 (31,90)	798 (1755)
Esmalte	7,08 (15,58)	390 (857)
Tinta base solvente	6,05 (13,32)	333 (732)
Tinta base água	2,25 (4,95)	124 (273)

Fonte: adaptado USEPA, 1982

O segundo método elaborado pela USEPA (1982) para estimar “as emissões dos COVs provenientes do processo de pintura automotiva”, utiliza dados medidos no local de pintura, por isso, resulta em valores mais próximos da realidade. A emissão dos COVs pode ser calculada a partir da Equação 2, utilizando os parâmetros do Quadro 8 e valores medidos *in loco*.

$$E_V = \frac{A_V c_1 T_f V_c c_2}{S_c e_T} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

E_V = fator de emissão de COV, massa do veículo (lb/veículo)

A_V = área revestida por veículo (ft²/veículo)

c_1 = fator de conversão: 1 ft/12,000 mil

T_f = espessura do filme de revestimento seco (mil)

V_c = COV contido nos revestimentos, menos água (lb COV/gal coating, menos água)

c_2 = fator de conversão: 7,48 gal/ft³

S_c = sólidos contidos nos revestimentos, fração volumétrica (gal sólidos/gal revestimentos)

e_T = eficiência de transferência (total de sólidos de revestimentos usados que permaneceram na peça)

Quadro 8 - Parâmetros para cálculo de emissão de COVs do processo de pintura

Aplicação	Área revestida por veículo (ft²)	Espessura do filme de revestimento seco (mil)*	COV revestimentos (libra/galão base seca)	Fração volumétrica de sólidos (galão/galão base seca)	Eficiência de transferência (%)
Primer de cobertura					
Pulverização da tinta a base de solvente	450 (220-570)	0,8 (0,3-2,5)	5,7 (4,2-6,0)	0,22 (0,20-0,35)	40 (35-50)
Eletrodeposição catódica	850 (660-1060)	0,6 (0,5-0,8)	1,2 (1,2-1,5)	0,84 (0,84-0,87)	100 (85-100)
Revestimento primário					
Pulverização da tinta a base de solvente	200 (170-280)	0,8 (0,5-1,5)	5,0 (3,0-5,6)	0,30 (0,25-0,55)	40 (35-65)
Pulverização da tinta a base de água	200 (170-280)	0,8 (0,5-2,0)	2,8 (2,6-3,0)	0,62 (0,60-0,65)	30 (25-40)
Pintura de acabamento					
Laca	240 (170-280)	2,5 (1,0-3,0)	6,2 (5,8-6,6)	0,12 (0,10-0,13)	40 (30-65)
Dispersante da laca	240 (170-280)	2,5 (1,0-3,0)	5,8 (4,9-5,8)	0,17 (0,17-0,27)	40 (30-65)
Esmalte	240 (170-280)	2,5 (1,0-3,0)	5,0 (3,0-5,6)	0,30 (0,25-0,55)	40 (30-65)
Composto de tinta e verniz	240	2,5	4,7	0,33	40
Tinta de cobertura	240 (170-280)	1,0 (0,8-1,0)	5,6 (3,4-6,4)	0,20 (0,13-0,48)	40 (30-50)
Verniz de cobertura	240 (170-280)	1,5 (1,2-1,5)	4,0 (3,0-5,1)	0,42 (0,30-0,54)	40 (30-65)
Pulverização de tinta base água	240 (170-280)	2,2 (1,0-2,5)	2,8 (2,6-3,0)	0,62 (0,60-0,65)	30 (25-40)

*mil é mínima unidade de medida no sistema inglês de medidas. Equivale a 0,0254 milímetros.

Fonte: adaptado USEPA, 1982

4.5. MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE COVs

O monitoramento das emissões de poluentes atmosféricos de fontes fixas é um requisito legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº382 de 2006, para fontes novas e Resolução CONAMA nº436 de 2011, para fontes existentes, e tem por “objetivo o controle e recuperação da qualidade do ar e a prevenção de sua deterioração”.

O monitoramento de “emissões atmosféricas é uma avaliação sistemática dos parâmetros físico-químicos associados diretamente ou indiretamente às emissões de determinada atividade”. As Resoluções “CONAMA nº 382/2006 e CONAMA nº436/2011 estabelecem limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”.

O monitoramento e o automonitoramento de fontes fixas de emissão atmosférica de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras estão previstas na Lei Estadual nº997 de 1976 e seu regulamento (Decreto Estadual nº8.468/76 e alterações). O monitoramento destas “fontes de emissão é normatizado pela CETESB por meio do Termo de Referência para Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA) (CETESB, 2010)”.

Além de normas de amostragem em chaminé, aceitas pelo órgão ambiental para monitoramento de COVs em fontes estacionários (como CETESB, ABNT e/ou USEPA), para a execução das coletas dos efluentes gasosos, em chaminés e dutos de fontes estacionárias as normas mais utilizadas são listadas à seguir:

- “L9.221 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação dos Pontos de Amostragem - Procedimento (julho/90)”.
- “L9.222 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação da Velocidade e Vazão dos Gases - Método de Ensaio (maio/92)”.
- “E16.030 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Calibração dos Equipamentos Utilizados na Amostragem de Efluentes - Método de Ensaio (junho/2009)”.
- “USEPA 18 – *Measurements of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography*”.
- “USEPA 25A – *Determination of Total Gaseous Organic Concentration using a Flame Ionization Analyser*”.

O monitoramento de emissões pode ser contínuo ou descontínuo. O monitoramento contínuo é exigido para fontes que necessitem de amostragem com frequência inferior a um ano. O monitoramento contínuo poder ser *in-situ* ou *on-situ*. O monitoramento “*in-situ*, ou em linha, são instrumentos de leituras contínuas, em que a medição do parâmetro é realizada na própria tubulação ou fluxo”, geralmente são instrumentos com propriedades óticas. O monitoramento “*on-situ*, ou extrativo, são instrumentos de leituras contínuas, que extraem ao longo da linha de amostragem uma amostra de emissão para análise em uma estação de medição”. A frequência de monitoramento é determinada conforme o tipo de atividade, e considera o tipo de poluente emitido, observando sua periculosidade e toxicidade, e a localização da fonte emissora (CETESB, 2010).

Além do monitoramento contínuo ou descontínuo das fontes de emissão atmosférica, na ocasião da obtenção ou renovação da Licença de Operação, e para aferição de resultados é exigido “à amostragem em chaminé para a validação dos dados”. A amostragem em chaminé é realizada conforme o PMEA. “As coletas deverão ocorrer simultaneamente antes e após o equipamento de controle de poluição do ar para atestar sua eficiência” (CETESB, 2010).

Os resultados das amostragens realizadas no monitoramento de emissões devem ser compilados em um relatório elaborado pelo empreendedor e entregue à CETESB (CETESB, 2010).

Na atividade de pintura automobilística as “emissões de COVs provenientes das cabines de pinturas devem ser expressas como Hidrocarbonetos Totais não Metanos (HCNM)”, o método de referência para coleta e análise é o USEPA 25^a. As técnicas de monitoramento e frequência mínima estabelecidas no guia PREFE de MTPD para atividade de pintura automotiva estão presentes no Quadro 9 (CETESB, 2017).

Quadro 9 - Frequência e tipo de monitoramento aplicável à fonte de emissão de COVs

Fonte	“Monitoramento Direto (amostragem em chaminé)”				Monitoramento Contínuo			
	MP	SO _x	NO _x	COVs (HCNM)	MP	SO _x	NO _x	COVs (HCNM)
Cabines de Pintura	NA	NA	NA	LOR	NA	NA	NA	A

A – Aplicável NA – Não aplicável.

LOR- Renovação da Licença de Operação.

Fonte: Adaptado CETESB (2017)

O monitoramento direto utilizando a amostragem de chaminé dos COVs (HCNM), provenientes das cabines de pintura, deve ser realizado na renovação da Licença de Operação, ou conforme expresso na Licença de Operação. As cabines de pintura devem monitorar continuamente os COVs (HCNM), conforme mostra o Quadro 9. O monitoramento contínuo deve ser realizado conforme determina o Anexo da “Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014”.

As amostragens em chaminé devem seguir o “Termo de Referência para a Elaboração do PMEA, aprovado na Resolução de Diretoria CETESB no N° 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, que dispõem sobre o monitoramento de emissões de fontes fixas de poluição do ar no Estado de São Paulo”.

4.6 PADRÕES DE EMISSÃO DE COVs

As Resoluções CONAMA nº 382/2006 e CONAMA nº436/2011 “estabelecem limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”, no entanto, essas resoluções federais não estabelecem padrões de emissão para os COVs e também não estabelecem padrões de emissão específicas para atividade de pintura automotiva.

No Estado de São Paulo, o guia PREFE de MTPD da atividade de pintura automotiva estabelece valores de referência para emissão de COVs “provenientes de todas as fases do processo executadas na mesma instalação, por eletroforese ou demais processos de revestimento, incluindo os solventes utilizados na limpeza dos equipamentos, câmaras de pulverização, entre outros equipamentos”. O valor de referência de MTPD não inclui a pintura de para-choques e outras peças plásticas (CETESB, 2017).

O valor de referência de emissão de COVs do processo de pintura de automóveis é expresso em gramas de COVs por metro quadrado pintado, conforme mostrado no Quadro 10.

Quadro 10 - Valores de referência para MTPD para processos de pintura automotiva

Atividade	“Valor de referência de MTPD”	
	“Instalações licenciadas antes de 2007”	“Instalações licenciadas a partir de 2007”
“Automóveis”	< 60 g/m ²	45 a 15 g/m ²

Fonte: adaptado (CETESB, 2017)

A União Europeia a partir da Diretiva 1999/13/EC (UNIÃO EUROPEIA, 1999), também estabeleceu valores de referência para emissão de COVs da atividade de pintura automotiva de indústrias novas ou existentes que consomem mais de 15 t/ano de solvente.

O Quadro 11 apresenta valores limites de emissão de COVs para atividade de revestimento automotivo, referente a todas as fases do processo de pintura realizadas na indústria, incluindo as etapas de polimento final e os “solventes utilizados na limpeza dos equipamentos e cabines de pintura”. O valor máximo de emissão dos COVs é “expresso como a soma das massas dos compostos orgânicos por metro quadrado da área total da superfície automotiva revestida”.

Quadro 11 – Limite de emissão de COVs para indústria de revestimento automotivo - União Europeia

Atividade – “Limiar de consumo de solventes (t/ano)”	“Limiar de produção (Relativo à produção anual do produto revestido)”	“Valor-limite de emissão total”	
		“Novos”	“Existentes”
“Revestimento de automóveis novos (>15)”	> 5000	45 g/m ²	60 g/m ²
	≤ 5000 quadros + carrocerias	90 g/m ²	90 g/m ²

Fonte: Adaptado (UNIÃO EUROPEIA, 1999)

Os valores máximos de emissão de COVs para atividade de pintura automotiva brasileira são similares aos valores-limite determinados na Diretiva 1999/13/EC da União Europeia. Sendo que a União Europeia possui uma linha de corte, que determina valores mais flexíveis de emissão de COVs para indústrias de menor porte que produzem até 5000 quadros e carrocerias por ano, conforme Quadro 11.

Nos Estados Unidos, a USEPA também determina valores limites para emissão de COVs resultantes dos processos de pintura nas indústrias automotivas. O Quadro 12 apresenta valores limites de emissão de COVs para cada tipo de revestimento aplicado. O valor máximo de emissão dos COVs é expresso em massa de COVs por litro do revestimento utilizado menos a água presente na formulação do revestimento (USEPA, 1998).

Quadro 12 - Limite de emissão de COVs para indústria de revestimento automotivo – Estados Unidos

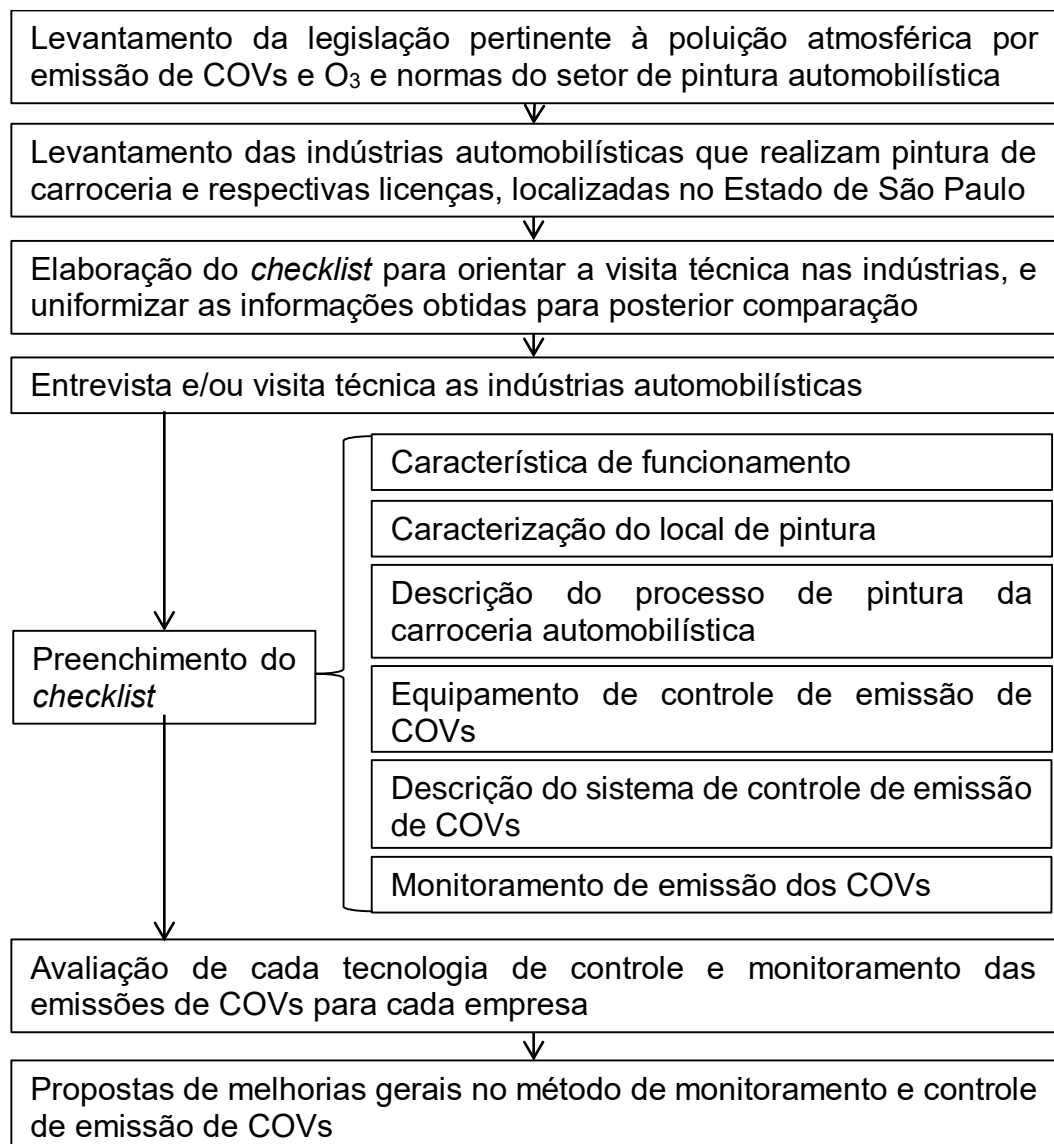
Valor limite de emissão de COVs	Tipo de revestimento	Etapas consideradas no valor limite de emissão de COVs
0,23 kg/L de revestimento base seca	Primer	Cabine de pintura, flash-off, estufa de secagem
0,34 kg/L de revestimento base seca	Pintura de acabamento	Cabine de pintura, flash-off, estufa de secagem
0,58 kg/L de revestimento base seca	Reparação	Cabine de pintura, flash-off, estufa de secagem

Fonte: Adaptado USEPA (1998)

5 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido conforme esquematizado no fluxograma apresentado na Figura 26. As etapas do trabalho serão detalhadas nos itens subsequentes.

Figura 26 - Fluxograma do delineamento da pesquisa



Fonte: elaboração própria (2019)

- Levantamento da legislação pertinente a emissão de COVs pela atividade de pintura automotiva

O levantamento da legislação pertinente à poluição atmosférica por emissão de COVs e O₃ resultantes da atividade de pintura automotiva será realizado com base em leis do âmbito nacional (como CONAMA 382/2006, 436/2011, entre outros), do âmbito Estadual (como a Lei nº 977/76, Decreto nº 8468/76 e alterações e o Decreto 59113/2013) e normativas orientadoras como o guia MTPD (CETESB, 2017). Além disso, serão pesquisadas normativas do setor de pintura automobilística no Comitê Brasileiro de Tintas (ABNT/CB164) e na Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAPE), além de normas CETESB, ABNT e USEPA e UNIÃO EUROPEIA. Como o Comitê Brasileiro de Tintas atua no âmbito de normatização de tintas, abrangendo também vernizes e produtos correlatos, no que concerne a requisitos de desempenho, ensaios e especificações físico-químicas, também será pesquisada a existência de normativas que limitem o teor de COVs em tintas e demais revestimentos utilizados na atividade de pintura automotiva.

- Levantamento das indústrias automotivas e respectivas licenças do Estado de São Paulo que realizam pintura

Primeiramente, será realizada uma busca das indústrias do setor automobilístico instaladas no Estado de São Paulo por meio do *site* de buscas Google, e uma consulta ao *site* da CETESB para obtenção das respectivas Licenças de Operação que estiverem em vigor.

- Elaboração do *checklist*

Para conhecer o processo de pintura das carrocerias automotivas, as características de funcionamento da cabine de pintura, sistemas de exaustão, equipamentos de controle para remoção/ retenção dos COVs e verificar possíveis emissões de COVs remanescente da atividade de pintura, será elaborado um *checklist* para padronizar e orientar a entrevista e a visita técnica nas indústrias automotivas.

Para elaboração do *checklist* foram consideradas a experiência de campo da orientadora, pesquisa na internet sobre características e dimensionamento de cabines de pintura, pesquisa sobre o processo de pintura e as informações técnicas do Guia de MTPD. Dessa forma, o *checklist* irá abranger os seguintes pontos:

- **Característica de funcionamento:** estimar a quantidade de veículos pintados por tempo e descrever as etapas de pintura da carroceria automotiva a fim de conhecer as etapas e insumos utilizados que podem emitir os COVs.

- **Caracterização do local de pintura:** descrever as características da cabine de pintura e estado de conservação, como tipo de teto e piso, número de portas e janelas. Observar pontos onde pode ocorrer a emissão difusa de COVs.

- **Descrição do processo de pintura da carroceria automobilística:** descrever as condições operacionais durante o processo de pintura, por exemplo, portas fechadas, existência de sistema de captação de vapores. Além de descrever as características de aplicação da tinta, como quantidade de tinta utilizada por m², tipo de tinta utilizada, outros insumos contendo COVs, equipamento de aplicação da tinta e local de secagem da carroceria.

- **Equipamento de controle de emissão de COVs:** descrever os equipamentos de controle de poluição utilizados nas cabines de pintura e verificar a existência de equipamento para controle de odor.

- **Descrição do “sistema de controle de emissão” de COVs:** descrever as condições operacionais dos equipamentos de controle de emissão, como tempo de permanência do ar, temperatura e pressão; sua respectiva eficiência de remoção de COVs e o controle da saturação dos filtros existentes na cabine de pintura.

- **Monitoramento de emissão dos COVs:** verificar a metodologia utilizada para monitorar a emissão de COVs após “o equipamento de controle de poluição do ar”, o equipamento de medição e a frequência do monitoramento de emissão de COVs, realizada por meio de amostragens de chaminés.

- Entrevista e/ou visita técnica as indústrias automobilísticas

Após a elaboração do *checklist* serão enviadas cartas via e-mail para as indústrias automotivas previamente selecionadas para solicitar a entrevista e/ou visita técnica no setor de pintura automotiva.

- Preenchimento do *checklist*

O *checklist* será utilizado como orientador para obtenção das informações referentes às fontes de emissão de COVs, monitoramento de emissões e respectivos

equipamentos de controle de emissão atmosférica implantados nas cabines de pintura instaladas no setor de pintura das indústrias automobilísticas estudadas.

O preenchimento do *checklist* será realizado pela própria autora durante as entrevistas e/ou visitas técnicas, com o objetivo de conseguir a maior quantidade e uniformidade das informações, e assim, conseguir caracterizar o funcionamento do setor de pintura, as características do local de pintura, a descrição do processo de pintura da carroceria, e os respectivos equipamentos de controle de emissão de COVs utilizados.

- Avaliação de cada tecnologia de controle e monitoramento das emissões de COVs

A pesquisa sobre a avaliação das tecnologias de controle e monitoramento das emissões de COVs será realizada com base nas diretrizes estabelecidas no guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017), que define os padrões máximos de emissões de COVs para atividade de pintura automotiva, os equipamentos de controle de emissão, e os parâmetros para o “monitoramento das emissões atmosféricas e no PME (Plano de Monitoramento e Emissões Atmosféricas)” para os critérios de monitoramento de fontes por meio de amostragem em chaminé e dutos de fontes estacionárias.

- Propostas de melhorias no método de monitoramento e controle de emissão de COVs

Para propor melhorias no método de monitoramento e controle de emissões de COVs, serão observados os requisitos de melhorias presentes no guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017) que podem ser implementados no setor de pintura das indústrias automobilísticas. Também serão pontuadas as melhorias tecnológicas do setor de pintura, além de alternativa de tintas e revestimentos que contêm menores teores de COVs em suas formulações, que foram encontradas durante a pesquisa bibliográfica.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa teve como área de estudo as indústrias automobilísticas que realizam pintura em carrocerias de veículos leves, localizadas no Estado de São Paulo.

6.1 LEVANTAMENTO DA LEGISLAÇÃO PERTINENTE DE EMISSÃO DE COVs PROVENIENTES DE TINTAS AUTOMOTIVAS

Durante a pesquisa bibliográfica não foram encontradas normativas no âmbito Federal, Estadual ou Municipal sobre o teor de solventes em tintas e demais insumos utilizados no processo de pintura automotiva.

Não foram encontrados “padrões de qualidade do ar específicos para os compostos orgânicos voláteis” (COVs), nem na legislação federal e nem estadual.

A única referência encontrada sobre a emissão de COVs provenientes da atividade de pintura automotiva foi no guia PREFE de MTPD, que estabelece limites máximos de emissão de COVs por área da carroceria automotiva pintada. Para as indústrias licenciadas antes de 2007 o limite máximo de emissão é de 60 g de COV/m² pintado, já para as indústrias licenciadas a partir de 2007 o limite de emissão é de até 45gCOV/m² pintado (CETESB, 2017).

No âmbito do Comitê Brasileiro de Tintas também não foi encontrada nenhuma norma ABNT referente ao teor de COVs em tintas automotivas ou medidas de controle de emissão de COVs no processo de pintura. As únicas normas ABNT que fazem menção aos componentes da tinta automotiva são a norma ABNT NBR 16547:2016 referente a tintas para repintura automotiva, para a determinação de baixas concentrações de mercúrio em tinta, e a norma ABNT NBR 16559:2016 referente à determinação do teor de chumbo, cádmio e cobalto na pintura para tintas, vernizes e complementos para repintura automotiva.

No *site* da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAPE) não foi encontrada nenhuma publicação referente ao teor de COVs em tintas automotivas. Segundo Fairbanks (2017), “o Brasil ainda não dispõe de uma regulamentação consolidada sobre o uso de solventes na fabricação de produtos”, e também não possui regulamentação do setor de tintas e vernizes. A existência de uma regulamentação nacional para solventes na fabricação de tintas e vernizes seria fundamental para fomentar o desenvolvimento de novos produtos com menores

teores de solventes, e minimizar a emissão de COVs do processo de pintura automotiva.

6.2 LEVANTAMENTO DAS INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS QUE REALIZAM PINTURA DE CARROCERIA, LOCALIZADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

O levantamento das indústrias automotivas de veículos leves instaladas no Estado de São Paulo foi realizado a partir do *site* de busca Google. Foram pesquisadas diversas fontes até serem encontradas as indústrias automotivas de veículos leves que realizam pintura automotiva no Estado.

Segundo o Anuário da Indústria Automobilística Brasileira de 2019 elaborado “pela Associação Nacional de Veículos Automotores (ANFAVEA)”, que considera indústrias automobilísticas aquelas produtoras de “automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus”, existem 26 indústrias automobilísticas brasileiras associadas à ANFAVEA, destas 14 possuem unidade industrial no Estado de São Paulo conforme apresentado no Quadro 13.

Quadro 13 – Indústrias automotivas localizadas no Estado de São Paulo

Empresa	Unidade industrial	Produtos e serviços
AGCO	Jundiaí – SP (Massey Ferguson, Valtra)	Central de peças
	Mogi das Cruzes – SP (Valtra)	Tratores de rodas, motores, componentes
	Ribeirão Preto – SP (Massey Ferguson, Valtra)	Colheitadeiras, pulverizadores, carregadoras
Caterpillar	Piracicaba - SP	Tratores de esteiras, carregadeiras de rodas, motoniveladores, compactadores de solo, escavadeiras hidráulicas
CNH Industrial	Piracicaba – SP (Case IH, Iveco, New Holland Agriculture)	Colheitadeira de grãos, colhedoras de cana, plantadeiras, pulverizadoras

Quadro 13 – Indústrias automotivas localizadas no Estado de São Paulo

continuação

Empresa	Unidade industrial	Produtos e serviços
CNH Industrial	Sorocaba – SP (Case IH, Iveco, New Holland Agriculture)	Colheitadeira de grãos, componentes e centro de distribuição de peças
Ford	São Bernardo do Campo - SP	Automóveis e caminhões
	Taubaté - SP	Motores, transmissões
	Tatuí - SP	Campo de prova
General Motors	São Caetano do Sul - SP	Automóveis, comerciais leves, estamparia, injeção e pintura de peças plásticas
	São José dos Campos - SP	Automóveis, comerciais leves, motores, estamparia, injeção e pintura de peças plásticas
	Mogi das Cruzes - SP	Componentes de provas da cruz alto
	Sorocaba - SP	Centro de logística
Honda	Sumaré - SP	Automóveis
	Itirapina - SP	Automóveis
	São Paulo - SP	Serviços financeiros
Hyundai	Piracicaba - SP	Automóveis
John Deere	Campinas - SP	Centro de distribuição de peças, centro de treinamento e centro de agricultura de precisão e inovação

Quadro 13 – Indústrias automotivas localizadas no Estado de São Paulo

continuação

Empresa	Unidade industrial	Produtos e serviços
John Deere	Indaiatuba - SP	Retroescavadeira, pás-carregadeiras, tratores de esteiras
	Indaiatuba - SP	Escavadeiras
	Indaiatuba - SP	Sede administrativa
Komatsu	Suzano - SP	Tratores de esteiras, escavadeiras hidráulica, pás-carregadeiras, motoniveladores
	Arujá - SP	Cabines, tanques, caçambas, outros
	São Paulo - SP	Escritório de serviços de vendas
Mercedes-Benz	São Bernardo do Campo-SP	Caminhões, chassis de ônibus, motores, eixo e cambio
	Campinas - SP	Peças e serviços ao cliente, central de logística de peças e centro de treinamento
	Iracemápolis - SP	Automóveis
Scania	São Bernardo do Campo-SP	Caminhões, chassis de ônibus, motores
Toyota	São Bernardo do Campo-SP	Autopeças, sede administrativa, centro de pesquisa aplicada e visitação
	Indaiatuba - SP	Automóveis

Quadro 13 – Indústrias automotivas localizadas no Estado de São Paulo

continuação

Empresa	Unidade industrial	Produtos e serviços
Toyota	Sorocaba - SP	Automóveis
	Votorantim - SP	Centro de distribuição de peças
	Porto Feliz - SP	Motores
Volkswagen	São Bernardo do Campo - SP	Automóveis, comerciais leves
	Taubaté - SP	Automóveis
	São Carlos - SP	Motores
Volvo	Pederneiras - SP	Pás carregadeiras, caminhões articulados, escavadeiras, compressores de solo

Fonte: adaptado ANFAVEA (2019)

Entre as 14 indústrias automobilísticas brasileiras associadas à ANFAVEA que possuem unidade industrial no Estado de São Paulo, 7 indústrias produzem automóveis, sendo elas a “Ford (São Bernardo do Campo), General Motors (São Caetano do Sul, São José dos Campos), Honda (Sumaré, Itirapina), Hyundai (Piracicaba), Mercedes-Benz (Iracemópolis), Toyota (Indaiatuba, Sorocaba), Volkswagen (São Bernardo do Campo, Taubaté)”.

Segundo o site Notícias Automotivas as indústrias automotivas que possuem planta instalada no Estado de São Paulo em 2018 são: “AGCO, Caterpillar, CNH New Holland, Chery, Ford, Chevrolet, Honda, Hyundai, Komatsu, Mercedes-Benz, Scania, Toyota, Valtra, Volkswagen e John Deere (OLIVEIRA, 2018)”. Comparando com a lista de indústrias automotivas associadas à ANFAVEA (2019) temos mais uma indústria de automóvel para analisar, a Chery.

Segundo a reportagem do site Investe São Paulo (INVESTE, 2013) mais de 40% das indústrias automotivas do Brasil estão em “São Paulo, considerado o berço da indústria automobilística nacional”.

Entre as “principais empresas estão a Ford, General Motors (GM), Honda, Mercedes-Benz, Scania, Toyota e Volkswagen, concentradas principalmente na Região Metropolitana de São Paulo, no Vale do Paraíba e na região de Campinas”.

Após o levantamento das indústrias automotivas fabricantes de veículos leves (automóveis) instaladas no Estado de São Paulo foi realizada uma busca no *site* da CETESB e consultadas as respectivas Licenças de Operação para avaliar quais delas realizavam a atividade de pintura em carroceria metálica para compor o grupo das empresas estudadas. A Tabela 2 apresenta as Licenças de Operação consultadas.

Em cada Licença de Operação consultada foram observados os seguintes dados: o município em que a unidade industrial estava localizada, a descrição da atividade principal, as exigências técnicas relacionadas à poluição do ar, diretrizes relacionadas aos “equipamentos de controle de emissão atmosférica”, e a lista de equipamentos.

Foram consultadas no total, 47 Licenças de Operação. Destas, as licenças que não eram específicas de cabine de pintura de veículos leves ou não estavam em vigor foram excluídas. As indústrias automotivas que possuíam na Licença de Operação a descrição da atividade principal fabricação ou montagem de automóvel, e que constava entre seus equipamentos a cabine de pintura, foram selecionadas para compor o grupo de empresas estudadas no presente trabalho. Dessa forma, foram selecionadas 8 Licenças de Operação, conforme apresentado na Tabela 2.

As indústrias automobilísticas que realizam pintura em carroceria de veículos leves estudadas no presente trabalho foram: Hyundai, Toyota, Volkswagen, Ford, Mercedes-Benz, General Motors, Honda e a Chery. A Figura 27 mostra a localização das indústrias automobilísticas no Estado de São Paulo obtidas a partir da ferramenta *Google Earth Pro*.

Tabela 2 – Licenças de Operação das indústrias automotivas do Estado de São Paulo Consultadas

Licenças pesquisadas		Licenças utilizadas		
Empresa	Quantidade	Unidade industrial	Quantidade	Critério
Ford	6	São Bernardo do Campo	1	Fabricação de automóveis; cabine de pintura
General Motors	17	São Caetano do Sul	1	Montagem de automóveis; cabine de pintura
Honda	3	Itirapina	1	Fabricação de automóveis; cabine de pintura
Hyundai	4	Piracicaba	2	Transformação de automóveis; cabines de pintura
Mercedes-Benz	3	Iracemápolis	1	Montagem de automóveis; cabine de pintura
Toyota	6	Sorocaba	1	Montagem de automóveis; cabine de pintura
Volkswagen	7	São Bernardo do Campo	1	Fabricação de automóveis; cabine de pintura
Chery	1	Jacareí	1	Fabricação de automóveis; emissão máxima: 15 g de COV/m ²
Total	47	Total	9	

Fonte: elaboração própria (2019)

Figura 27 - Mapa locacional das indústrias automotivas SP - veículos leves



Fonte: elaboração própria (2019)

Segundo a Deliberação CONSEMA nº20/2019 estas empresas estão localizadas em áreas cuja concentração de poluentes tem degradado a qualidade do ar. As regiões foram classificadas entre M2 e >M1, sendo que o ozônio foi o poluente responsável pela classificação das sub-regiões. O Quadro 14 mostra a classificação das sub-regiões pelo poluente indicado na Deliberação CONSEMA nº20/2019.

Quadro 14 - Classificação qualidade do ar das sub-regiões

Empresa	Município	Classificação da sub-região	Poluente
Hyundai	Piracicaba	M1	O ₃
Toyota	Sorocaba	M2	O ₃
Volkswagen, Ford	São Bernardo do Campo	>M1	O ₃
Mercedes-Benz	Iracemápolis	M1	O ₃
General Motors	São Caetano do Sul	>M1	O ₃
Honda	Itirapina	não monitorado	
Chery	Jacareí	M3	O ₃

Fonte: adaptado CONSEMA (2019)

As cidades cujo ozônio foi o poluente responsável pela classificação da qualidade do ar foram Piracicaba, Sorocaba, “São Bernardo do Campo, Itacemópolis São Caetano do Sul e Jacareí”, conforme mostra o Quadro 14.

“Para sub-regiões classificadas como maior que M1, as novas fontes de poluição ou ampliação das fontes existentes terão que compensar em 110%” das emissões a serem adicionadas do poluente responsável pela classificação, para o ozônio, a compensação de emissões deve ser realizada pelos seus poluentes precursores, “os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, conforme o Artigo 11 e o Artigo 15 do Decreto Estadual nº 59.113/2013”.

Segundo o Artigo 6 do Decreto Estadual nº 59.113 de 2013, a CETESB deve estabelecer um “Plano de Controle de Emissão Atmosféricas para as sub-regiões classificadas em M3, M2, M1 e Maior que M1. O Plano é composto de um Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE) e um Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV)” (CETESB, 2017). Portanto, todas as indústrias automotivas estudadas devem seguir as diretrizes do PREFE para atingir “os padrões de qualidade do ar previstos no Artigo 9 do Decreto Estadual nº 59.113 de 2013”, dependendo do Município onde está localizada.

6.3 LEVANTAMENTO DAS EXIGÊNCIAS TÉCNICAS NAS RESPECTIVAS LICENÇAS DAS INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS QUE REALIZAM PINTURA DE CARROCERIA, LOCALIZADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Após a pesquisa das indústrias automobilísticas que realizam pintura de carroceria em veículos leves localizadas no Estado de São Paulo, foi realizada uma análise das exigências técnicas relacionadas à poluição do ar contidas nas Licenças de Operação das mesmas. As informações levantadas encontram-se no Quadro 15.

Quadro 15 - Exigências técnicas das Licenças de Operação

Empresa	Exigências técnicas da Licença de Operação
HYUNDAI MOTOR BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pintura realizada em compartimento próprio com sistema de exaustão e equipamento de controle; 2- Proibida a emissão de odores fora do empreendimento; 3- Monitoramento bianual (MP, COVs; NO_x, CO), sendo que no caso do Oxidador Térmico Regenerativo (RTO) amostrar a saída e entrada para calcular a eficiência; 4- Realizar semestralmente, e apresentar anualmente à CETESB, consumo de matéria prima por m², teor de solvente no material, tipo de carro pintado, eficiência de remoção e destruição dos COVs pelo RTO; 5- Área de pintura deve possuir manutenção e impermeabilização.
TOYOTA DO BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- “Operar e manter permanentemente os sistemas de ventilação exaustora e os equipamentos de controle de poluição do ar (RTO)” existentes para as operações realizadas na área de pintura de carrocerias; 2- Amostragem de chaminé anual dos equipamentos de controle da poluição do ar; 3- Apresentar anualmente “o Plano de Monitoramento das Emissões Atmosféricas (PMEA)”.
VOLKSWAGEN DO BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- Operar e manter adequadamente o sistema de ventilação exaustora dos e os os equipamentos de oxidação térmica instalados para controle dos COVs, de modo a garantir na câmara de combustão do pós-queimador a temperatura min 750°C e tempo min 0,5 s; 2- Operar e manter adequadamente “o sistema de ventilação exaustora e os equipamentos de controle de poluição do ar (filtros, lavadores, ciclones)”; 3- Operar e manter adequadamente os equipamentos que queimam combustíveis; 4- Realizar amostragem dos sistemas de controle de poluição instalados para determinação do material particulado e óxidos de nitrogênio; 5- Apresentar os Relatórios de Monitoramento dos efluentes gasosos de “acordo com o Termo de Referência para o PME A”; 6- Proibido a “emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis fora do empreendimento”.

Quadro 15 - Exigências técnicas das Licenças de Operação

continuação

Empresa	Exigências técnicas da Licença de Operação
MERCEDES-BENZ DO BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- Proibido “a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis fora do empreendimento”; 2- “Operação de pintura por aspersão e eletrodeposição devem ser realizadas em compartimento próprio com sistema de ventilação exaustora e equipamento de controle de poluentes”; 3- As substâncias odoríferas, resultantes das estufas de secagem ou cura para peças pintadas, deverão ser incineradas em pós-queimadores operados a temperatura min 750°C e tempo min 0,5 s; 4- Manter o atendimento ao nível máximo de emissão de 25 g de COV/m² na área de pintura; 5- Operar e manter adequadamente os equipamentos que queimam combustíveis; 6- “Operar e manter adequadamente os equipamentos de controle de poluição do ar e os instrumentos de avaliação das condições operacionais”. 7- Realizar semestralmente e apresentar a CETESB anualmente o balanço de massa para avaliação da geração de COVs; 8- Apresentar o Relatório de Monitoramento dos efluentes gasosos de “acordo com o Termo de Referência para o PME A, acompanhado dos técnicos da CETESB”.
GENERAL MOTORS DO BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- “Operar e manter permanentemente o sistema de controle de poluição do Ar (RTO) instalado para controle das emissões provenientes das estufas de secagem”; 2- Operar e manter adequadamente “o sistema de ventilação exaustora e os equipamentos de controle de poluição do ar nas cabines de pintura”; 3- Operar e manter adequadamente “os equipamentos que queimam combustíveis”; 4- Amostragem de chaminé anual dos equipamentos de controle da poluição das cabines de pintura e RTO, em conformidade com o PME A; 5- Proibido “a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis fora do empreendimento”.

Quadro 15 - Exigências técnicas das Licenças de Operação

continuação

Empresa	Exigências técnicas da Licença de Operação
CHERY BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- Proibido “a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis fora do empreendimento”; 2- Apresentar o PMEA; 3- Comprovar os limites de emissões máximas de 15 g de COV/m² de área de pintura, 450 g/m² para a pintura de para-choques, e 50 mg/Nm³ base seca 3% de oxigênio de óxidos de nitrogênio da caldeira; 4- Operar e manter adequadamente os equipamentos que queimam combustíveis; 5- Operar e manter adequadamente o RTO instalado para controle dos COVs proveniente das estufas de secagem, de modo a garantir na câmara de combustão do pós-queimador a temperatura min 800°C e tempo min 1,0 s; 6- Apresentar a cada 2 anos os relatórios contendo amostragem de chaminé de todas as fontes de emissão e o Inventário Anual das Emissões Atmosféricas.
FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA	<ol style="list-style-type: none"> 1- Operar e manter adequadamente “o sistema de ventilação exaustora e os equipamentos de controle de poluição do ar (RTO) instalados nas estufas de secagem ou cura das peças pintadas, operando a uma temperatura min 750°C e tempo min 0,5 s”; 2- Operar e manter adequadamente “o sistema de ventilação exaustora e os equipamentos de controle de poluição do ar nas cabines de pintura”; 3- Proibido a “emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis fora do empreendimento”; 4- Amostragem de chaminé no prazo de validade da licença, dos Equipamentos de “Controle da Poluição do Ar, em conformidade com o PMEA”.
HONDA AUTOMÓVEIS DO BRASIL	<ol style="list-style-type: none"> 1- Proibido a “emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades perceptíveis fora do empreendimento”; 2- “Operação de pintura por aspensão deve ser realizada em compartimento próprio com sistema de ventilação exaustora e equipamento de controle de poluentes”; 3- As fontes de poluição atmosféricas devem “ser controladas de forma a tender aos padrões ambientais estabelecidos no Regulamento da Lei Estadual n° 997/76 aprovada pelo Decreto Estadual n° 8.468/76 e suas alterações”.

Fonte: elaboração própria (2019)

A partir do Quadro 15 observa-se que a atividade de pintura, conforme prevê o Artigo 40 do Decreto Estadual nº 8.468/1976 e o guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017), deve “ser realizada em um compartimento fechado provido de sistema local de exaustão e equipamento de controle de poluição do ar”.

O equipamento de controle das emissões de COVs utilizado em todas as indústrias estudadas para destruição dos COVs provenientes das estufas de secagem tem sido o Oxidador Térmico Regenerativo (RTO), com exceção da indústria Honda que não teve o equipamento de controle especificado na licença. Os solventes captados são destruídos termicamente por oxidação. Os RTO “são operados a uma temperatura mínima de 750°C, com tempo de residência mínima de 0,5 segundos conforme o Artigo 38 do Decreto Estadual nº 8.468/1976”, com exceção da Chery que tem condições de operação diferenciadas determinada na Licença de Operação (“temperatura mínima de 800°C e tempo de residência mínima de 1,0 s”).

Conforme salientado no referencial teórico a amostragem de chaminé deve ser realizada na Renovação da Licença de Operação, ou conforme a frequência estabelecida na Licença de Operação (CETESB, 2017). As indústrias que tiveram a amostragem de chaminé estabelecida na Licença de Operação foram a Toyota e General Motors com frequência anual e a Chery com frequência bianual.

As únicas Licenças de Operação que fixam o limite de emissão de COV por m² pintado na área de pintura é a licença da Mercedes-Benz (25 g/m²) e a licença da Chery (15 g/m²). Essas indústrias devem monitorar e registrar semestralmente “as emissões de COVs por meio do balanço de massa”, para eventuais consultas da CETESB, o monitoramento deve ser realizado conforme estabelecido no guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017). As demais indústrias devem respeitar o limite máximo de emissão de COV por m² pintado na área de pintura de 60 g/m² para as indústrias licenciadas antes de 2007 e de 45 g/m² para as indústrias licenciadas a partir de 2007 (CETESB, 2017).

Todas as Licenças de Operação têm em comum a exigência técnica que proíbe “a emissão de substâncias odoríferas em níveis perceptíveis fora da área do empreendimento, conforme prevê o Artigo 33 do Decreto Estadual nº 8.468/1976”, com exceção da Toyota.

Em conformidade com as diretrizes do PREFE previsto no “Decreto Estadual nº 59.113 de 2013”, os empreendimentos industriais que integram o inventário de fontes fixas do PREFE devem declarar as emissões atmosféricas anualmente, conforme o Termo de Referência estabelecido pela CETESB. Esta declaração das emissões é uma ferramenta importante para verificar o atendimento às metas estabelecidas no PREFE. Com exceção da indústria Honda, localizada no município de Itirapina, todas as outras indústrias estudadas integram o inventário de fontes fixas do PREFE e, por isso, reportam suas emissões anualmente segundo o “Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas (PMEA)”.

Embora todas as indústrias automotivas, exceto a Honda, estejam instaladas em sub-regiões onde o poluente O₃ foi o responsável pela classificação da qualidade do ar local (Quadro 14), não foi observado nenhuma exigência técnica especial nas Licenças de Operação com relação ao controle e monitoramento da emissão de seus precursores os COVs e o NOx.

6.4 ENTREVISTA À INDÚSTRIA AUTOMOTIVA SOBRE EMISSÃO DE COVs DO SETOR DE PINTURA DE CARROCERIA

O *checklist* foi elaborado para padronizar e orientar a entrevista e a visita técnica nas indústrias automotivas. Para elaboração do *checklist* foram observadas as exigências técnicas relacionadas à poluição do ar constantes nas Licenças de Operação, o guia PREFE de MTPD para atividade de pintura automotiva (CETESB, 2017) e as informações levantadas durante a pesquisa bibliográfica. O *checklist* elaborado está apresentado no Quadro 16.

Quadro 16 – Checklist orientador elaborado para a visita técnica

Descritivo operacional de pintura	Indústria:	
1-Característica de funcionamento		
Produção diária		
Funcionamento anual (360 dias; 24h/dia; 7 dias por semana)		
Descrição das etapas de pintura da carroceria automotiva		
2-Características físicas do local de Pintura	Cabine	Galpão
Dimensões AxLxP		
Portas		
Janelas		
Saídas laterais		
Outros pontos de ventilação		
Tipo de piso		
Tipo de teto		
3-Condições do local de pintura	Cabine	Galpão
Limpeza		
Piso (quebrado, trincado)		
Pintura das paredes		
Estado das portas		
Estado das janelas		
4-Operação das cabines de pintura	Cabine	Galpão
Portas fechadas		
Galpão fechado		
Sistema de captação de vapores (renovação de ar por tempo)		
Configuração do filtro e exaustor (dentro ou fora)		
Vents (respiros no galpão ou cabine)		

Quadro 16 – Checklist orientador elaborado para a visita técnica

continuação

Descritivo operacional de pintura	Indústria:	
	Cabine	Galpão
5-Condição operacional de pintura		
Tipo de carro na linha de produção		
Quantidade de tinta por m ²		
Vazão, temperatura e pressão da tinta		
Tipo de tinta (FISPQ) (COV%)		
Tipo primer (COV%)		
Outros insumos (COV%)		
Equipamento de aplicação da tinta		
Dimensões da cortina de água e vazão		
Local de secagem das carrocerias		
6-Equipamento de controle de emissão de COVs	Cabine	Galpão
Tipo de equipamento		
Descrição das condições operacionais do equipamento (tempo de permanência do ar, temperatura e pressão)		
Eficiência de remoção COV		
Controle de saturação dos filtros		
7-Controle de odor	Cabine	Galpão
Equipamento de controle		
Existe reclamação da vizinhança		
Amostragem de chaminé		
8-Monitoramento da emissão dos COVS	Cabine	Galpão
Técnica de monitoramento - método USEPA 25A		
Equipamento de medição		
Frequência do monitoramento da emissão de COV		
Estufas de secagem e cura (SO _x , NO _x)		
Amostragem de chaminé		
9-Geração de Resíduos sólidos	Cabine	Galpão
Destino dos resíduos		
Geração de efluente		
Carvão ativado (tempo de saturação e destino final)		
Filtro (tempo de saturação e destino final)		

Fonte: elaboração própria (2019)

Conforme apresentado no Quadro 16 o *checklist* é composto de nove partes principais, as quais abrangem:

1-Característica de funcionamento: conhecer o tamanho da produção e as etapas do processo de pintura para direcionar a entrevista;

2-Características físicas do local de pintura: identificar possíveis locais de emissão fugitiva para atmosfera, como portas, janelas, piso, teto e pontos de ventilação;

3-Condições do local de pintura: verificar a condição e estado de manutenção dos pontos anteriormente identificados;

4-Operação das cabines de pintura: verificar as condições de operação durante o processo de pintura para verificar onde ocorrem as entradas e saídas de ar;

5-Condição operacional de pintura: conhecer a quantidade de m² pintados, o volume de tinta aplicado por m², os insumos utilizados que contém COVs em sua formulação, o tipo de aplicador da tinta, local da secagem da carroceria (na própria cabine ou outro local);

6-Equipamento de controle de emissão de COVs: conhecer os equipamentos de controle de emissão utilizados para retenção ou remoção dos COVs, “condições de operação e controle dos respectivos equipamentos, e a eficiência de remoção dos COVs”;

7-Controle de odor: conhecer se existe implantado um equipamento específico para controle de odor, e se existe incômodo pela percepção de odor na vizinhança;

8-Monitoramento da emissão dos COVs: verificar os métodos de amostragem em chaminé utilizados, a frequência do monitoramento, e a realização de amostragem de chaminé;

9-Geração de Resíduos sólidos: identificar a existência de geração de efluentes líquidos na cabine de pintura e seu tratamento, e nos casos onde o equipamento de controle de poluição gere resíduos sólidos, qual o destino final.

6.4.1. Realização da entrevista e/ou visita

Para a realização da entrevista e da visita técnica ao setor de pintura das indústrias automotivas foram enviados e-mails para a central de relacionamento com o público externo e/ou contato via telefônico. Foram consultadas 7 indústrias: Hyundai, Toyota, Volkswagen, Ford, Mercedes-Benz, General Motors e a Chery. Apenas a Honda não foi consultada porque teve sua Licença de Operação expedida em maio de 2019, e

devido ao cronograma da presente pesquisa não foi possível contatar a indústria para realização da entrevista.

Dentre as sete indústrias automotivas selecionadas no presente estudo, somente uma aceitou participar do trabalho. Nesta indústria a pesquisa foi realizada por meio de uma entrevista (via telefone) orientada pelo *checklist* elaborado, porém, o *checklist* não foi preenchido conforme a proposta do trabalho, ficando as informações restritas ao conteúdo disponibilizado pela empresa. Com isso, muitos tópicos não foram respondidos, como o tópico de geração de resíduos sólidos, condições operacionais de pintura, entre outros.

As outras indústrias consultadas alegaram que devido ao sigilo do processo industrial de pintura, ou pela possibilidade de comprometer o processo industrial de pintura, ou não existir programa interno de visita ao setor de pintura, ou pela entrevista atrapalhar a logística de produção, não seria possível realizar a entrevista e/ou a visita técnica ao local. Dessa forma, o estudo de caso ficou restrito às informações referentes à entrevista realizada em uma única indústria automotiva.

6.4.2 Resultados da entrevista realizada

A indústria automotiva entrevistada localizada no Estado de São Paulo produz uma média de 42 carros por hora. A atividade de pintura ocorre dentro de uma instalação que não é provida de um sistema de exaustão central. Na instalação, encontra-se a linha de pintura composta por um pré-tratamento, onde é realizado o desengraxante e a proteção anticorrosiva da carroceria automotiva, seguida pelas etapas de pintura, que ocorre dentro de cabines de pintura intercaladas por estufas de secagem, onde ocorre a cura dos revestimentos aplicados.

As etapas de pintura que ocorrem dentro de cabines de pintura são as etapas de pintura por eletrodeposição (Ecolt), aplicação do primer, aplicação da base e a aplicação do verniz.

As etapas do processo de pintura automotiva realizadas na indústria entrevistada consistem basicamente em:

- **1ª etapa:** Primeiro ocorre o desengraxante, para remoção de eventuais impurezas depositadas sobre a superfície da carroceria.
- **2ª etapa:** Depois é aplicada uma camada de fosfato, para melhorar a aderência da primeira camada de tinta na carroceria.

- **3ª etapa:** Consiste na aplicação da primeira camada de tinta mergulhando a carroceria no tanque de Ecolt. O primeiro filme de tinta tem a função de proteção contra corrosão. Após a aplicação da tinta a carroceria segue para a cura na estufa de secagem.
- **4ª etapa:** É a calafetação, que consiste na vedação de uniões de chapa para evitar infiltração de água, após o carro ser totalmente montado.
- **5ª etapa:** É a aplicação da segunda camada de tinta, o primer, que tem a função de uniformizar a superfície da carroceria para aplicação da base e evitar imperfeições. Após a aplicação do primer a carroceria segue para a cura na estufa de secagem.
- **6ª etapa:** É a aplicação da terceira camada de tinta, a base, responsável por conferir a cor propriamente dita da carroceria. Após a aplicação da base a carroceria segue para a cura na estufa de secagem.
- **7ª etapa:** É a aplicação da última camada de tinta, o verniz, responsável pelo brilho após aplicação da base. Após a aplicação do verniz, a carroceria segue para a cura na estufa de secagem.
- **8ª etapa:** É a finalização do processo de pintura com polimento e inspeção final para envio da carroceria para o setor de montagem.

No processo de pintura automotiva, as etapas onde há geração de COVs são aquelas que ocorrem dentro das cabines de pintura e no processo de cura dos revestimentos, que ocorre nas estufas de secagem. Apenas as “cabines de pintura e as estufas de secagem possuem sistema de exaustão” e tratamento dos efluentes gasosos.

Na indústria automotiva entrevistada, o processo de pintura é 40% automatizado. As aplicações de tinta são realizadas com pistola eletrostática de forma autônoma por robôs e manualmente. Os insumos utilizados no processo de pintura são à base de solvente, e não é utilizada tinta em pó. Segundo o guia PREFE de MTPD a menor automação do sistema de pintura resulta em uma menor eficiência de transferência da tinta, resultando em maiores emissões de COVs.

6.4.1.1 EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE EMISSÃO DE COVs NAS CABINES DE PINTURA DA INDÚSTRIA ENTREVISTADA

As cabines de pintura têm por objetivo garantir a qualidade da pintura e coletar a névoa de tinta ou verniz que se forma durante o processo de pintura. A cabine trabalha com portas fechadas, pressão positiva, e são monitoradas a temperatura e umidade para

garantir a qualidade do processo de pintura. O ar entra pela parte superior da cabine que contém filtros para retenção do material particulado e sai através do chão gradeado com o excesso de tinta pulverizada e os vapores dos solventes, que são conduzidos por um fluxo de ar vertical.

Os equipamentos de controle utilizados nas cabines de pintura para retenção do poluente são cortinas d'água instaladas na parte inferior das cabines. O fluxo de ar descendente conduz o *over spray* da tinta para a cortina d'água, onde este fica absorvido.

As cortinas d'água da empresa estão em um sistema fechado e o líquido de lavagem passa por tratamento antes de retornar para cortina d'água, para não saturar e manter a eficiência de absorção. O tratamento ocorre com a água da cortina sendo encaminhada para o tanque de borra, onde é adicionado coagulante, para a precipitação do pigmento que está dissolvido na água. Desta forma, a água que retorna para a cortina d'água e o pigmento precipitado no fundo do tanque é destinado para o coprocessamento. As águas do sistema de cortinas d'água são trocadas a cada três meses, assim como o tanque de borra também é limpo.

A limpeza da cabine de pintura é realizada duas vezes por dia ao final de cada turno de trabalho utilizando tiner.

6.4.1.2 MONITORAMENTO DE EMISSÃO DE COVs NAS CABINES DE PINTURA DA INDÚSTRIA ENTREVISTADA

Como mencionado no levantamento de literatura, as emissões de “COVs provenientes das cabines de pintura são expressos como Hidrocarbonetos Totais não Metanos (HCNM) (CETESB, 2017)”.

Na indústria automotiva entrevistada não é realizado o monitoramento contínuo de COVs nas cabines de pintura. O monitoramento direto das emissões de COVs é realizado anualmente por amostragem de chaminé das cabines de pintura, e o controle das emissões de COVs é demonstrado de forma indireta por meio do balanço de massa conforme método descrito no guia PREFE de MTPD para o setor de pintura. Na indústria entrevistada o monitoramento anual das emissões provenientes das cabines de pintura e do Oxidador Térmico Regenerativo (RTO) (utilizado como equipamento de controle de emissão atmosférica dos gases provenientes das estufas secagem) são realizados conforme a Decisão de Diretoria CETESB N°10, de

“12.01.2010, que dispõem sobre o monitoramento de Emissões atmosféricas de fontes fixas de poluição do ar no Estado de São Paulo e termo de referência para elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA)”.

A amostragem de chaminé é realizada por uma empresa terceirizada. A metodologia utilizada para coleta e análise do COVs na amostragem de chaminé é o método USEPA 18. Embora o guia PREFE de MTPD recomende utilizar preferencialmente o método “USEPA 25A - *Determination of Total Gaseous Organic Concentration using a Flame Ionization Analyser*” para coleta e análise de COVs, o método USEPA 18 também é válido e indicado para quando os “teores de oxigênio presentes no efluente gasoso são inferiores a 18% (SÃO PAULO, 2010)”.

O resultado do monitoramento de COVs emitidos nas cabines de pintura e os resultados de todas as amostragens são apresentados à CETESB anualmente.

6.4.1.3 AVALIAÇÃO DE CADA TECNOLOGIA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE COVs DA INDÚSTRIA ENTREVISTADA

Conforme salientado no Item 6.4.1.1 o equipamento de controle de emissão atmosférica utilizado nas cabines de pintura são as cortinas d'água para retenção dos COVs por meio da absorção na água. A técnica de absorção em via úmida para retenção dos COVs é descrita no guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017) como uma “das técnicas para prevenção e controle das emissões atmosféricas”. Essa técnica exige que o líquido resultante, onde os compostos gasosos estão dissolvidos, seja “tratado por um processo de tratamento de efluentes e a material insolúvel fica retido por sedimentação ou filtração”. Em conformidade com os requisitos do guia a indústria entrevistada dispõe de um sistema de tratamento para água residuária proveniente das cabines de pintura, que consiste no tratamento químico com adição de coagulante para sedimentação do pigmento e material insolúvel, que tem como destino final o coprocessamento.

Segundo o guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017), as fontes fixas de emissão listadas no PREFE/2014 devem realizar o monitoramento das fontes de emissão a fim de atender às metas decorrentes da aplicação do PREFE. O monitoramento dos COVs deve ser expresso em Hidrocarbonetos Totais não Metanos (HCNM). Para a fonte de emissão, cabines de pintura, deverá ser realizada a “cada renovação da Licença de Operação”, o monitoramento direto (amostragem de chaminé) dos COVs,

a fim de avaliar a eficiência do tratamento utilizado, e realizar o monitoramento contínuo dos COVs.

Em conformidade com o determinado na Licença de Operação a indústria entrevistada realiza anualmente o monitoramento direto, mas não realiza ainda o monitoramento contínuo dos COVs provenientes das cabines de pintura. No entanto, a indústria entrevistada demonstra o atendimento aos valores de referência de emissão dos COVs (45 g de COVs/m²) de forma indireta por meio do método balanço de massa, conforme método descrito no guia PREFE de MTPD para o setor de pintura.

De acordo com o guia PREFE de MTPD (CETESB, 2017) o monitoramento das fontes de emissão pelo método direto (amostragem de chaminé) deve ser realizado conforme o “Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEAs, aprovado na Resolução de Diretoria CETESB no N° 010/2010/P”. Para a amostragem de COVs a coleta e análise devem ser realizadas conforme os métodos USEPA 25A ou 18. A indústria entrevistada informou que realiza o monitoramento direto das emissões de COVs conforme as diretrizes da “Resolução de Diretoria CETESB no N° 010/2010/P”, e utiliza o método USEPA 18 para coleta e análise dos COVs provenientes das cabines de pintura.

7 PROPOSTAS DE MELHORIAS GERAIS NO MÉTODO DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE EMISSÃO DE COVs

Para melhorar o desempenho ambiental da atividade de pintura nas indústrias automotivas, além de controlar e monitorar as emissões de COVs provenientes das cabines de pintura se faz necessário adotar “um sistema de gestão ambiental voltado para a melhoria contínua dos processos de pintura”. Desta forma podemos citar alguns exemplos encontrados na pesquisa bibliográfica:

- Escolher os insumos com menores quantidades de solvente por galão de tinta, como as formulações com alto teor de sólidos, que utilizam resinas e outros produtos mais eficientes, com alto poder de solvência e por isso necessitam de menos solvente. Os solventes oxigenados sintéticos (éteres, cetonas e álcool) são uma boa alternativa aos hidrocarbonetos convencionais, além de apresentarem rápida secagem (baixo ponto de evaporação), estarem presentes em menor quantidade nas tintas e possuírem baixo odor (FAIRBANKS, 2017);
- Minimizar as emissões “do processo de pintura automotiva aumentando a eficiência e forma de aplicação” da tinta na carroceria metálica por meio do aumento da automatização do processo de pintura e diminuição da aplicação manual (CETESB, 2017);
- Manter um sistema de captura eficiente dos poluentes nas cabines de pintura, e tratamento das emissões atmosféricas com absorção (via úmida ou seca) e complementarmente outro tratamento, como adsorção dos COVs restantes em filtro de carvão ativado (CETESB, 2017);
- Reaproveitamento da borra de tinta oriunda do processo de pintura automotiva.
- Investir em técnicas que propiciem a reciclagem da borra de tinta para utilização em pinturas de segunda linha ou em outros processos produtivos;
- Modernização da linha de pintura com eliminação da etapa de Primer do processo de pintura convencional. Como exemplo, a nova unidade de pintura da Volkswagen em Taubaté dispõe desse novo método de pintura à base de água denominado de *Process Primer Less*, 100% automatizado que permitiu a eliminação da etapa de Primer entre a etapa de aplicação da tinta eletrodepositada (Ecolt) e a aplicação da base final responsável pela cor do automóvel (SOBREIRA, 2015).

A fábrica de Taubaté teve um investimento de R\$ 427,8 milhões de reais, e aumentou a capacidade produtiva em 30%. O novo processo diminuiu o consumo de energia em 30% e de água em 20% por carro produzido. Mais eficiente do que os sistemas com água a recirculação do ar de exaustão das cabines de pintura robotizadas permitem a limpeza eletrostática a seco, reutiliza 80% do ar que seria descartado, e assim economiza a energia que seria utilizada para aquecer ou resfriar o ar que entra na cabine. Os objetivos para implementar o novo processo de pintura são reduzir mais de 10.000 tCO₂/ano e reduzir 50% dos COVs que são liberados no processo industrial pela tinta, vernizes, solventes de tintas, queima de combustíveis fosseis, como gasolina, diesel e querosene (SOBREIRA, 2015).

Além dos pontos levantados, algumas indústrias de tintas têm investido em novas tecnologias que utilizam insumos com Alto Ponto de Ebulição (HBP) para exercer a função de coalescentes, e solventes de alquilpropionato para vários sistemas poliméricos. O interesse do mercado pelos propionatos é crescente, devido ao aumento das formulações com altos teores de sólidos. O propionato é um solvente eficiente, com uma secagem adequada à película, não é um hidrocarboneto aromático policíclico (HAP), apresenta elevada resistividade elétrica, sendo, por isso, vantajoso para pintura por spray eletrostático utilizada na indústria automotiva. O alto ponto de ebulição dos novos coalescentes garante que eles não sejam enquadrados como COVs pelos critérios dos EUA, sem que isso afete seu desempenho técnico (FAIRBANKS, 2017).

8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O objetivo geral da presente pesquisa foi levantar as características, modo de operação e os equipamentos de controle de emissão dos COVs utilizados nas cabines de pintura de carrocerias automotivas das indústrias automotivas instaladas no Estado de São Paulo, o qual foi atendido.

No entanto, em relação ao atendimento dos objetivos específicos, foram observados os pontos à seguir:

- Durante a pesquisa foi possível conhecer o processo de pintura de carrocerias automotivas, composta pelas etapas de pré-tratamento, pintura eletroforética e pintura de acabamento.
- Em relação às fontes de poluição do ar e principais poluentes, foi identificado que a atividade de pintura automobilística tem elevado potencial de emissão COVs, cerca de 75 a 90% dos COVs emitidos são oriundos da cabine de pintura e da área de *flashof*.
- Em relações à legislação e normas, além do guia PREFE de MTPD para o setor de pintura automotiva, não foram encontradas outras normas e legislações específicas relacionadas ao controle da poluição gerada pela emissão de COVs provenientes da atividade de pintura automotiva. O guia PREFE de MTPD é uma ótima ferramenta para orientar a atividade de pintura automotiva e propor diretrizes para minimizar as emissões de COVs. No entanto, é necessária uma atitude proativa por parte das indústrias automotivas para criar uma cultura de melhoria contínua dos processos e das instalações, para reduzir gradativamente suas emissões e melhorar o desempenho ambiental do processo de pintura.
- Em relação aos equipamentos de controle mais utilizados para o controle de emissão atmosférica relativos a remoção das emissões de COVs gerados nas cabines de pintura automotiva – veículos leves estão os incineradores térmicos, mais especificadamente o Oxidador Térmico Regenerativo (RTO), e as cortinas d'água.

- Também foi verificado que, no Estado de São Paulo, há 8 indústrias automotivas que fabricam e realizam pintura em carroceria de veículos leves, sendo elas a “Ford (São Bernardo do Campo), General Motors (São Caetano do Sul), Honda (Itirapina), Hyundai (Piracicaba), Mercedes-Benz (Iracemápolis), Toyota (Sorocaba), Volkswagen (São Bernardo do Campo) e a Chery (Jacareí)”.

- Em relação às exigências técnicas presentes nas Licenças de Operação das respectivas indústrias automotivas estudadas observou-se conformidade com o arcabouço legal. Em todas as licenças foi observado que “a operação de pintura é realizada em compartimento próprio com sistema de exaustão e equipamento de controle de poluição do ar”.

O equipamento de controle das emissões de COVs utilizado em todas as indústrias estudadas para destruição dos COVs provenientes das estufas de secagem é o Oxidador Térmico Regenerativo (RTO), com exceção da indústria Honda que não teve o equipamento de controle especificado na Licença de Operação.

Todas as indústrias automotivas estudadas devem apresentar anualmente a CETESB “o Plano de Monitoramento das Emissões Atmosféricas (PMEA)”, com exceção da indústria Honda que não teve essa exigência especificada “na Licença de Operação”.

As indústrias que tiveram a amostragem de chaminé estabelecida na Licença de Operação foram a Toyota e General Motors com frequência anual e a Chery com frequência bianual, as amostragens de chaminé devem ser reportadas no PMEa.

As únicas Licenças de Operação que fixam o limite de emissão de COV por m² pintado na área de pintura é a licença da Mercedes-Benz (25 g/m²) e a licença da Chery (15 g/m²). As demais indústrias devem respeitar o limite máximo de emissão de COV por m² pintado na área de pintura de 60 g/m² para as indústrias licenciadas antes de 2007 e de 45 g/m² para as indústrias licenciadas a partir de 2007 (CETESB, 2017).

Todas as Licenças de Operação têm em comum a exigência técnica que proíbe “a emissão de substâncias odoríferas em níveis perceptíveis fora da área do empreendimento, conforme prevê o Artigo 33 do Decreto Estadual nº 8.468/1976”, com exceção da Toyota.

- Em relação ao estudo de caso, embora tenha sido realizada apenas uma entrevista em uma indústria automobilística foi possível alcançar os objetivos da pesquisa com aplicação do check-list. No entanto, devido à impossibilidade de realizar a entrevista e/ou visita técnicas nas demais indústrias automotivas do Estado não foi possível

elaborar um panorama geral “das emissões de COVs do setor de pintura de carrocerias automotivas do Estado de São Paulo”.

A indústria automotiva entrevistada possui boas práticas de monitoramento e controle das emissões de COVs. O equipamento de controle de poluição atmosférica utilizado nas cabines de pintura são cortinas d'água, que promovem a remoção de névoas de tinta e os COVs solúveis antes do ar ser exaurido para atmosfera. Na indústria entrevistada o RTO é o equipamento de controle de poluição utilizado apenas para tratar o ar proveniente das estufas de secagem.

O monitoramento direto das emissões de COVs é realizado anualmente por amostragem de chaminé das cabines de pintura, e o controle das emissões de COVs é demonstrado de forma indireta por meio do balanço de massa. A indústria não apresenta problemas de emissão de odor. Infelizmente não foi possível mensurar quantitativamente a eficiência dos equipamentos de controle de poluição utilizados nas cabines de pintura para remoção do COVs, mas foi possível verificar a conformidade com as exigências legais.

- Em relação a Proposta de medidas de controle de emissão de COVs que poderiam ser adotadas pelas indústrias automobilísticas estão:

- Optar por insumos com menores teores de solvente
- Utilizar tintas à base d'água
- Melhorar a eficiência de transferência da tinta sobre a carroceria aumentando a automação do processo de pintura
- Utilizar equipamentos de controle de poluição que promovam a destruição dos COVs (como o oxidador térmico regenerativo – RTOo)
- Reaproveitar a borra de tinta em outros processos menos exigentes
- Modernizar a linha de pintura com eliminação da etapa de primer do processo de pintura convencional.

Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se que os diversos itens abordados nesse trabalho sejam objetos de pesquisa acadêmica, como a substituição de tintas à base de solvente por outros insumos que contenham menor teor de COVs, aumentar o uso de tintas à base água, recuperação da borra de tintas, com o objetivo de minimizar as emissões dos COVs e melhorar o desempenho ambiental do processo de pintura como um todo.

9. REFERÊNCIAS

ANFAVEA, Associação Nacional de Veículos Automotores -. **ANUÁRIO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA 2019**. 2019. Disponível em: <[HTTP://WWW.VIRAPAGINA.COM.BR/ANFAVEA2019/2/#ZOOM=Z](http://www.virapagina.com.br/anfaveja2019/2/#zoom=z)>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BEM, Patrícia Peters Tetto de. **MINIMIZAÇÃO DO EFLUENTE GERADO EM PRÉ-TRATAMENTO DE PINTURA AUTOMOTIVA: UM CASO INDUSTRIAL**. 2008. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BILIASI, Guilherme Maróstica. **INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE E DA ESPESSURA DA CAMADA DE TINTA EM PEÇAS DE AÇO UTILIZANDO PINTURA POR ELETRODEPOSIÇÃO EM TESTES DE CORROSÃO ACELERADA**. 215. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de Lorena, São Paulo, 2015.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União nº 1, Brasília**, DF, 2 de janeiro de 2007, Seção 1, p. 131 – 137.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anterior a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União nº 247, Brasília**, DF, 26 de dezembro de 2011.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõem sobre a qualidade do ar. **Diário Oficial da União nº 1, Brasília**, DF, 21 de novembro de 2018, Seção 1, p. 155 – 156.

BRASIL. CONTRAN. Resolução nº 396, de 13 de dezembro de 2011. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União** em 22 de dezembro de 2011.

BRASIL. MMA. **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

CABINE de Pintura. 2018. ACCI - Instalações de Pintura Industrial. Disponível em: <<http://www.acciindustrial.com.br/cabine-pintura>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

CAMILO, Deise Mariana. **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE FOSFATIZAÇÃO TRICATIÔNICA**. 2011. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de Lorena, São Paulo, 2011.

CHEN, Jiangyao et al. Preferential purification of oxygenated volatile organic compounds than monoaromatics emitted from paint spray booth and risk attenuation by the integrated decontamination technique. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 148, p.268-275, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.040>.

CETESB. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010. Dispõe sobre o Monitoramento de Emissões de Fontes Fixas de Poluição do Ar no Estado de São Paulo – Termo de Referência para a Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA). **Diário Oficial – Executivo, São Paulo**, SP, Seção I, 15 de janeiro de 2010.

CETESB. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 326/2014/I, de 5 de novembro de 2014. Dispõe sobre os critérios para a verificação do atendimento dos limites de emissão dos parâmetros estabelecidos na Resolução SMA nº 79, de 04/11/2009, para o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia – UREs. **Diário Oficial – Executivo, São Paulo**, SP, Seção I, 7 de novembro de 2014, p. 53.

CETESB. **Guia técnico ambiental tintas e vernizes: série P+L**. São Paulo: Cetesb, 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wpcontent/uploads/sites/20/2013/11/tintas.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2018.

CETESB. **Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias – PREFE: Guia de Melhor tecnologia Prática Disponível – MTPD**. São Paulo: CETESB. 2017. 198 p. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/09/GUIA-PREFE-020517.pdf>. Acesso em: 20 fev 2018.

CETESB. **Poluição do Ar: Gerenciamento e Controle de Fontes**. São Paulo: Cetesb, 2017b. (APOSTILA – Poluição do Ar: Gerenciamento e Controle de Fontes).

CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2018**. CETESB, 2019. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/Cetesb_QualidadeAr_2018R.pdf. Acesso em: 2 out. 2019.

CONSEMA. Deliberação N° 20/2020. Aprova a Classificação da Qualidade do AR – Relação de Municípios e Dados de Monitoramento- proposta pela CETESB. 2019. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/consema/2019/09/del20_19-qualidade-do-ar-1.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.

ENGLEMAN, Victor S.. Updates on choices of appropriate technology for control of VOC emissions. **Metal Finishing**, [s.l.], v. 108, n. 11-12, p.305-317, dez. 2010. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0026-0576\(10\)80243-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0026-0576(10)80243-0).

EQUIPAMENTOS, Super Ar. Cabine de Pintura Modelo: filtragem a seco. Disponível em: <<https://www.superarequipamentos.com.br/produtos/equipamentos/cabines-de-pintura/filtragem-a-seco/cabine-de-pintura-modelo-cp-sa-s>>. Acesso em: 24 set. 2019.

EQUIPAMENTOS, Econebra. Incinerador Regenerativo. Disponível em: <<https://www.econebra.com.br/incinerador-regenerativo#group1-1>>. Acesso em: 29 jul. 2020.

FAZENDA, J.M.R.; **Tintas e Vernizes – Ciência e Tecnologia**. 3 ed. São Paulo: Abrafiti. 2005.

FAIRBANKS, Marcelo (Ed.). **Tintas e revestimentos: Clientes querem solventes mais eficientes para atender exigências ambientais**. 2017. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/011-11-2017-tintas-revestimentos/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

GUIMARÃES, Claudinei de Souza. **Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

INVESTE, São Paulo. **Automotivo**. Disponível em: <https://www.investe.sp.gov.br/uploads/midias/documentos/automotivo_saopaulo.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2013.

KASKANTZIS NETO, Georges. **ESTUDO DA INCINERAÇÃO CATALÍTICA DE COMPOSTOS VOLÁTEIS ORGÂNICOS EM PLANTA PILOTO**. 1995. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266249/1/KaskantzisNeto_Georges_D.pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

KHAN, Faisal I; GHOSHAL, Alope Kr.. Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air. **Journal Of Loss Prevention In The Process Industries**, [s.l.], v. 13, n. 6, p.527-545, nov. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0950-4230\(00\)00007-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0950-4230(00)00007-3).

LISBOA, Henrique M.; SCHIRMER, Waldir N. **Controle da Poluição Atmosférica**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2007. Disponível em: <http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/FisPoluicaoAr2016/Lisbo_Cap7_controle_poluicao_atmosferica_2007.pdf>. Acesso em: 02 maio 2018.

MANNELLI, Giovanni (Ed.). **Cabines de pintura e fluxo de ar: de quais filtros estou precisando?**. 2016. Disponível em: <<http://brafiltros.com.br/blog/2016/11/23/cabines-de-pintura-e-fluxo-de-ar-de-quais-filtros-estou-precisando/>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

MUCCIACITO, João C. Controle dos compostos orgânicos voláteis em cabines de pintura para veículos leves. **Meio Filtrante**, São Paulo, n. 47, Nov/Dez 2010. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=657&link=ultima&fae=C>>. Acesso em: 19 mar 2018.

NEW 2017 BMW Paint Shop / Factory Production in Munich | APEX. S.i.: Apex Motor e More, 2019. P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=abXvpG5PBM>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

OLIVEIRA, Ricardo de. **Listas de montadoras de veículos por estado no Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/listas-de-montadoras-de-veiculos-por-estado-no-brasil/>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

RANJBAR, Zahra; MORADIAN, Siamak. Influence of substrate on the cathodic electrodeposition behavior of waterborne epoxy resins. **Progress In Organic Coatings**, [s.l.], v. 54, n. 4, p.292-295, dez. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.06.016>.

REINO UNIDO. ENVIRONMENTAL PROTECTION n° 1715, 27th july 2012. The Volatile Organic Compounds in Paints, Varnishes and Vehicle Refinishing Products Regulations 2012.

SÃO PAULO. Decreto Estadual n° 8468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial – Executivo, São Paulo**, SP, 9 de novembro de 1976, p.4.

SÃO PAULO. Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976b. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial – Executivo, São Paulo, SP**, 1 de junho de 1976, p.1.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 59113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade de ar e dá providências correlatas. **Diário Oficial – Executivo, São Paulo, SP**, 24 de abril de 2013, p.1.

SILVA, Ailton Roberto et al. Identificação e quantificação de resinas, cargas e pigmentos em tintas latex branca. **Eclética Química**, [s.l.], v. 25, p.109-122, 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-46702000000100010>.

SIQUEIRA, Ligia Cristina Gonçalves de. **Tratamento de Compostos Orgânicos Odoríferos Tóxicos por Biorreatores**. 2011. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SOBREIRA, Tássia Bastos. **ECO-INOVAÇÃO: a evolução e a aplicação de tecnologias ambientais no setor de pintura da indústria automotiva**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Centro Universitário da Fei, São Paulo, 2015.

SKYLACK. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico. 2015. Disponível em: http://www.skylack.com.br/novo/pdf_fispq/skydur_alto_solidos/640-09450%20PRIMER%20POLIURETANO%20HS%209.450.pdf. Acesso em: jun.2019.

UNIÃO EUROPEIA. DIRECTIVA 2004/42/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 21 de abril de 2004. Relativa à limitação das emissões de compostos orgânicos voláteis resultantes da utilização de solventes orgânicos em determinadas tintas e vernizes e em produtos de retoque de veículos e que altera a Directiva 1999/13/CE. Jornal Oficial da União Europeia, 30 de abril de 2004, L. 143/87.

UNIÃO EUROPEIA. DIRECTIVA 1999/13/CE DO CONSELHO, de 11 de março de 1999. Relativa à limitação das emissões de compostos orgânicos voláteis resultantes da utilização de solventes orgânicos em certas atividades e instalações. Jornal Oficial da União Europeia, 11 de março de 1999, L. 85.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Automobile And Light Duty Truck Surface Coating Operations. 1982. Disponível em :< https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch04/final/c4s02_2h.pdf>. Acesso em: 10 jan 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications. 1990. Disponível em: Acesso em: jan. 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **New Chemicals Environmental Technology Initiative: Automotive Refinishing Industry Isocyanate Profile.** ABRIL 1997. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-6/documents/isocyanate_profile.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **ARTICLE 8. VOLATILE ORGANIC COMPOUND RULES.** 1998. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-2/documents/article8modified.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA. EPA/200/04. 2002. Disponível em :< <https://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/files/cs3-2ch2-s.pdf>>. Acesso em: 28 jul de 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. 2018. Disponível em :< <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>>. Acesso em: 20 mar 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Technical Overview of Volatile Organic Compounds.** Disponível em: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

VIEIRA, Neise Ribeiro. **Poluição do ar: indicadores ambientais.** Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

VILLAS, Marcia Regina Alves. **PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE TINTAS CATÓDICAS POR ELETROFORESE E SUAS CORRELAÇÕES COM A QUALIDADE.** 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

ZHANG, Zilong et al. A coupled technique to eliminate overall nonpolar and polar volatile organic compounds from paint production industry. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 185, p.266-274, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.037>.

WEG. TREINAMENTO: PINTURA INDUSTRIAL COM TINTAS LÍQUIDAS. TREINAMENTO: PINTURA INDUSTRIAL COM TINTAS LÍQUIDAS. Estados Unidos: Weg, 2018. 90 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h8a/h9b/Apostila-DT-12-Tinta-l-quida_2018.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

WHO. World Health Organization. Air quality guidelines for Europe. Second edition - WHO regional publications. European series, n. 91. 2000. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/air-quality-guidelines-for-europe>>. Acesso em: jun. 2019.