

1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores, não sendo a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade técnica de sua implantação.

No contexto deste documento, a indústria de vidro pode ser dividida em quatro setores. Essa divisão em setores baseia-se no tipo de produtos fabricados, mas existe, inevitavelmente, alguma sobreposição entre eles. Os setores são:

- vidro de embalagem;
- vidro plano;
- vidro doméstico, e
- vidro especial (incluindo vidro de água).

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este guia utiliza como premissa a definição de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, para atendimento ao limite de emissão estabelecido para prevenir ou, se não for praticável a prevenção, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se, como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia, Environmental Agency of United States (EPA) e World Bank/Environment Department.

O guia engloba as fontes pontuais de emissão de poluentes (chaminé), as fontes evaporativas (tancagem, bacias de contenção etc.), as fontes de emissões fugitivas (pátios de estocagem, pilhas de matéria-prima e produto final, sistemas de transporte etc.) e demais fontes.

Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética).

Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele será dividido por fontes de emissão ou processo produtivo instalado nas empresas existentes no Estado de São Paulo, contemplando os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis, que, para efeito deste setor produtivo, serão expressos como hidrocarbonetos totais (HCT), classificados como metano (HCTM) e não metano (HCTNM).

3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

A maior parte dos processos e das técnicas de fabricação, usualmente encontrados na produção de vidro, pode ser dividida em cinco fases de processo principais: manuseio das matérias-primas, fusão, conformação, processamento a jusante e embalagem.

O processo produtivo pode ser resumido da seguinte forma: após o recebimento das matérias-primas, elas podem, ou não, serem britadas e estocadas em silos elevados e separados. Esses materiais são transferidos por sistemas alimentadores por gravidade ou caçambas transportadoras a uma balança e misturador, no qual o material é misturado ao vidro reciclado, a fim de garantir uma fusão homogênea. A mistura, na qual pode-se adicionar caco; é enviada ao alimentador do forno de fusão.

Após a fusão, dependendo do tipo de vidro produzido, ocorrem operações a jusante, como por exemplo, refino, conformação, decoração, etc.

A diversidade da indústria de vidro resulta na utilização de uma grande variedade de matérias-primas. As técnicas utilizadas no manuseamento dos materiais são comuns a muitas indústrias e a questão principal é o controle de material particulado proveniente do manuseamento de partículas finas e das baias de cacos e seus acessos em locais abertos, o qual é minimizado com umidificação da mistura.

As principais matérias-primas para a fusão são os materiais que formam vidro (areia de sílica, vidro reciclado etc.), materiais intermediários/modificadores (cal sodada, calcário, feldspato etc.) e agentes colorantes/descolorantes (cromita de ferro, óxido de ferro etc.).

A fusão, combinação das matérias-primas a altas temperaturas para formarem o vidro fundido, é a fase central do processo produtivo, o qual consiste em uma complexa combinação de reações químicas e processos físicos, podendo ser dividido em várias fases: aquecimento; fusão primária; afinagem, homogeneização e acondicionamento.

A fabricação de vidro é uma atividade de elevado consumo energético e, devido a isso, a escolha da fonte de energia, das técnicas de aquecimento e do método de recuperação de calor são questões centrais para a concepção do forno. Essas mesmas escolhas são igualmente

alguns dos fatores mais importantes que afetam o desempenho ambiental e a eficiência energética da operação de fusão. As três principais fontes de energia na fabricação de vidro são o gás natural, o óleo combustível e a eletricidade.

A seguir, encontram-se descritos, resumidamente, os principais tipos de fornos utilizados para a fusão das matérias-primas:

Os fornos regenerativos utilizam sistemas de recuperação de calor. Usualmente colocam-se queimadores dentro, lateralmente ou por baixo das portas de admissão de ar/exaustão de gases. O calor dos gases de exaustão é usado para pré-aquecer o ar antes da combustão, pela passagem dos gases de exaustão por uma câmara de material refratário, que absorve o calor. O forno só é ligado de um lado de cada vez. Passados cerca de 20 minutos, reverte-se a combustão e o ar de combustão passa através da câmara previamente aquecida pelos efluentes gasosos. Podem ser atingidas temperaturas de pré-aquecimento até 1.400°C, o que origina eficiências térmicas muito elevadas. Nos fornos regenerativos de combustão cruzada, as portas de combustão e os queimadores situam-se ao longo dos lados do forno e as câmaras do regenerador estão localizadas em ambos os lados do forno. Nos fornos regenerativos de combustão final os princípios de operação são os mesmos, com a diferença que as duas câmaras do regenerador situam-se num dos topos do forno.

Os fornos de recuperação utilizam permutadores de calor (denominados recuperadores) para a recuperação de calor, com pré-aquecimento contínuo do ar de combustão pelos efluentes gasosos. No caso dos recuperadores metálicos, as temperaturas de pré-aquecimento estão limitadas a cerca de 800°C. A capacidade específica de fusão (por unidade de área de fusão) dos fornos de recuperação é cerca de 30% inferior à dos fornos regenerativos. Os queimadores situam-se ao longo de cada um dos lados do forno, transversais ao fluxo do vidro e funcionam continuamente de ambos os lados. Este tipo de forno é, sobretudo, utilizado quando é necessária uma elevada flexibilidade de operação com um custo mínimo de capital inicial, em particular no caso em que a dimensão da operação é demasiado pequena para tornar o uso de regeneradores economicamente viável. Este tipo de forno é mais apropriado para instalações de pequena capacidade apesar de não serem incomuns os fornos de alta capacidade (até 400 toneladas por dia).

A oxí-combustão envolve a substituição de ar de combustão por oxigênio (>90% de pureza). A eliminação da maior parte do nitrogênio da atmosfera de combustão reduz o volume de efluentes gasosos em cerca de dois terços. Assim, é possível economizar energia para o forno porque não é necessário aquecer o nitrogênio atmosférico até à temperatura da chama. A formação de NOx térmico é também fortemente reduzida. Em geral, os fornos de oxí-combustão têm a mesma concepção básica das unidades de fusão, com múltiplos queimadores laterais e uma só porta de exaustão de efluentes gasosos. No entanto, os fornos projetados para combustão de oxigênio não utilizam sistemas de recuperação de calor para o pré-aquecimento do oxigênio de alimentação dos queimadores.

Os fornos elétricos consistem numa caixa revestida de material refratário suportado por uma estrutura de aço, com eletrodos que podem estar inseridos nos lados, no topo ou, mais usualmente, na base do forno. A energia de fusão é assegurada através da passagem de corrente pelo vidro fundido, originando o seu aquecimento por efeito de Joule. A técnica é em geral aplicada em pequenos fornos particularmente para vidro especial. Para a viabilidade económica dos fornos elétricos existe um limite máximo no seu tamanho que depende do custo da electricidade comparado com o do combustível fóssil. A substituição de combustível fóssil no forno elimina a formação de produtos de combustão.

A fusão combinada com combustível fóssil e fusão elétrica pode apresentar-se sob duas formas: predominantemente combustão de combustível fóssil auxiliada por aquecimento elétrico; ou predominantemente aquecimento elétrico com apoio de combustível fóssil. O auxílio elétrico é um método de fornecer calor adicional a um forno de vidro, utilizando a passagem de corrente elétrica através de eletrodos colocados na base do tanque. Uma técnica menos comum consiste no uso de gás ou óleo como combustível de suporte para um forno com aquecimento predominantemente elétrico.

As unidades de fusão de carga descontínua são utilizadas quando são necessárias menores quantidades de vidro e, sobretudo, nos casos em que a composição do vidro varia regularmente. Nesses casos são utilizados fornos de pote ou tanques diários (day-tank) na fusão de cargas específicas de matéria-prima. Basicamente, um forno de pote consiste numa seção inferior para o pré-aquecimento do ar de combustão e numa seção superior que sustenta os cadinhos e serve de câmara de fusão. Os tanques diários foram desenvolvidos a partir dos fornos de pote por adaptação a maiores capacidades, da ordem de 10 toneladas por dia. Estruturalmente são quadrangulares e muito semelhantes aos fornos convencionais, mas são recarregados diariamente.

As concepções especiais de unidades de fusão foram efetuadas de modo a aumentar a eficiência e o desempenho ambiental. Os fornos de fusão que utilizam maçaricos e queimadores com baixa emissão de NOx e/ou flexibilidade de uso de combustíveis atendem tais concepções.

Alguns aspectos do processo fundamental e das técnicas utilizadas na indústria são delineados para cada setor a seguir.

O vidro de embalagem é um setor diversificado no qual se utilizam quase todas as técnicas descritas anteriormente. O processo de conformação é efetuado em duas etapas, a conformação inicial da massa vítrea é feita ou por pressão com êmbolo ou por sopro de ar comprimido, e a operação final de conformação por sopro de ar comprimido para obter a forma oca final. Esses dois processos são, assim, respectivamente denominados “prensa-sopro” e “sopro-sopro”. A produção de embalagens é feita quase exclusivamente por máquinas de SI (seção individual).

O vidro plano é produzido quase exclusivamente em fornos regenerativos de combustão cruzada. O princípio fundamental do processo de flutuação é o vazamento do vidro fundido para um banho de estanho fundido, formando uma lâmina em que as superfícies superior e inferior são paralelas devido à influência da gravidade e da tensão superficial. Após a saída do banho de flutuação, a lâmina de vidro passa pela área de recozimento, que arrefece gradualmente o vidro de modo a minimizar as tensões residuais. Podem ser aplicados revestimentos durante o processo para melhorar as características do produto (por exemplo, cobertura de baixa emissividade).

O vidro doméstico é um setor diversificado que envolve uma vasta gama de produtos e processos, desde complicados produtos de cristal de chumbo feitos à mão a métodos mecanizados, de elevados volumes de produção, utilizados na produção em massa de louça. São utilizadas nesse setor praticamente todas as técnicas de fusão descritas anteriormente, desde fornos de pote a grandes fornos regenerativos. Os processos de conformação podem recorrer a um processamento automático, manual ou semiautomático e, após a produção, os objetos podem ser sujeitos a operações de acabamento a frio (por exemplo, o cristal de chumbo é frequentemente lapidado e polido).

O vidro especial é também um setor diversificado, que abrange uma grande variedade de produtos que podem diferir consideravelmente em termos de composição, método de fabricação e utilização. As técnicas mais comuns são os fornos recuperativos, fornos de oxi-combustão, fornos regenerativos, unidades de fusão elétricas e tanques diários. A elevada gama de produtos implica a utilização no setor de várias técnicas de conformação. Algumas das mais importantes são: prensa e sopro; processo giratório; prensagem; laminagem; extrusão por tubo; processo de estiramento; e dissolução (vidro de água).

4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014.

Após o levantamento previsto no PREFE serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

4.1 MTPD gerais para a produção de vidro

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de produção de vidro, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação de um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

Todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos, independentemente do tipo de vidro produzido, deverão possuir um plano de controle de emissões de modo que os limites de emissão estabelecidos (item 5 deste guia) sejam atendidos também nas ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle. Esse plano pode incluir instalação de sistema de controle de poluentes reservas, prazos máximos de parada, a redução da produção do forno ou medidas específicas de restrição decorrentes de condições meteorológicas. Devem, também, ser atendidos os requisitos descritos abaixo:

A primeira medida a ser considerada para fontes de combustão é garantir que não haja entrada de ar em excesso, buscando trabalhar com a quantidade de ar adequada para a queima mais completa possível. Portanto, controles e manutenções periódicas dos queimadores e exaustores de ar de combustão devem ser realizados e registradas as alterações efetuadas. Além disso, recomendam-se medições periódicas dos gases de combustão (O₂ e CO), por medidores automáticos, contínuos ou não, em função do porte do forno, conforme o item 6 deste documento..

Tabela 01 – Melhor tecnologia Prática Disponível para atividades de geração de energia, armazenamento e manuseio de matéria-prima.

Atividade	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Geração energética	MP, SOx, NOx e HCT	<p>Pode ser reduzido o consumo específico de energia por meio de uma ou mais combinações das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Otimização de processos, por meio de controles operacionais;• Manutenção regular do forno de fusão;• Otimização do projeto do forno e da seleção da técnica de fusão (para novas instalações e reconstrução total do forno);• Aplicação de técnicas de controle da combustão, dependendo do tipo de forno;• Utilização de quantidades crescentes de vidro reciclado, se disponível e técnica e economicamente viável, dependendo do tipo de vidro produzido;• Utilização de caldeira de calor residual para recuperação de energia, se técnica e economicamente viável, dependendo do tipo de forno e da eficiência global que possa ser obtida;• Utilização de pré-aquecimento da mistura a ser fundida e do vidro reciclável, se técnica e economicamente viável, dependendo do tipo de forno e da porcentagem de vidro reciclável na mistura a ser fundida.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Cont. Tabela 01

Atividade	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Armazenamento de matérias-primas	MP	<ul style="list-style-type: none">• Armazenamento a granel em silos fechados com sistemas de retenção de partículas;• Armazenamento de matérias finas em contentores fechados ou sacos plásticos;• Armazenamento, em local coberto e com as laterais fechadas de matérias grosseiras que emitam pós;• Utilização de veículos de limpeza de vias de acesso e técnicas de umedecimento preferencialmente com água de reuso.
Manuseio de matérias-primas	MP	<ul style="list-style-type: none">• Utilização de sistema de transporte por correias transportadoras enclausuradas em locais abertos e/ou utilização de sistema de transporte por correias transportadoras não enclausuradas em locais fechados, desde que não haja emissões fugitivas para a atmosfera.• Na utilização de transporte pneumático, aplicar um sistema selado equipado com filtro para limpar o ar de transporte antes de sua liberação;• Utilização de sistema de ventilação local exaustora (SVLE) associado a um sistema de equipamento de controle de poluição do ar nos processos passíveis de gerar partículas (abertura de sacos, mistura de lotes de fritas, sistemas de limpeza de equipamentos de controle), e pontos de transferência de matérias primas;• Utilização de alimentadores helicoidais fechados;• Efetuar o manuseio de matérias primas em local coberto e lateralmente fechado.
Armazenamento e manuseio de matérias-primas	HCT	<ul style="list-style-type: none">• Armazenamento de matérias-primas voláteis em galões IBC (Intermediate bulk container), tambores e similares, em ambientes fechados, ventilados e protegidos de calor.• Utilização de tanques de teto flutuante para armazenamento de grandes quantidades de solventes e/ou produtos orgânicos voláteis• Utilização de sistemas de transferência do retorno de vapores na transferência de fluidos voláteis (exemplo: caminhões para o tanque de armazenamento)• Utilização de válvulas de pressão/vácuo nos tanques concebidos para resistir a variações de pressão• Aplicação de um tratamento de descarga (exemplo: adsorção, absorção, condensação) no armazenamento de matérias perigosas.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Cont. Tabela 01

Atividade	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Técnicas primárias gerais	Todos	<ul style="list-style-type: none">• A fim de reduzir o consumo de energia e as emissões atmosféricas realização de um monitoramento constante dos parâmetros operacionais e manutenção programada do forno de fusão, por meio uma série de operações que podem ser utilizadas individualmente ou em combinação, adequada ao tipo de forno, tais como selar o forno e os blocos do queimador, manter o isolamento máximo, controlar as condições de chama estabilizada, controlar a razão ar/combustível etc.• Proceder a seleção e controle criteriosos de todas as substâncias e matérias-primas que entrem no forno de fusão a fim de reduzir ou evitar as emissões atmosféricas, dentro das condicionantes inerentes ao tipo de vidro produzido e disponibilidade de matérias-primas e combustíveis, utilizando uma ou combinação das seguintes técnicas: utilização de matérias-primas e vidro reciclado com baixo teor de impurezas, utilização de matérias-primas alternativas, e utilização de combustíveis com baixo teor de impurezas metálicas• Proceder regularmente ao monitoramento das emissões e/ou de outros parâmetros relevantes para o processo incluindo:• Operar os sistemas de controle de gases residuais durante as condições normais de operação com capacidade e disponibilidade ideais para evitar ou reduzir as emissões, podendo ser definidos procedimentos especiais para condições de operações específicas (exemplo: operações de início e encerramento de processo produtivo, trabalhos de manutenção, limpeza do forno e/ou ECPs, alteração substancial da produção etc.)• Limitar as emissões de NH₃ sempre que forem aplicadas técnicas de SCR ou SNCR para redução altamente eficiente das emissões de NO_x, adotando e mantendo as condições de operação adequada dos sistemas de controle dos gases residuais

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

3.2 MTPD para a produção de vidro para embalagem

Tabela 02 – Melhor Tecnologia Prática Disponível para os fornos de fusão e processos à jusante do forno para produção de embalagens de vidro

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível	
Fornos de fusão	MP	Reduzir as emissões de MP nos gases residuais com utilização de sistema de controle de poluentes (exemplo: precipitador eletrostático ou filtro de tecido) Deverá possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle. Aumentar o percentual de reciclagem	
		NOx	Técnicas primárias
	Técnicas secundárias		Reduzir as emissões de NOx nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> • Redução catalítica seletiva (SCR), podendo exigir uma atualização do sistema de retenção de MP e um sistema de dessulfurização para remoção das emissões de SOx; a aplicação está limitada à utilização de precipitadores eletrostáticos e, em geral, não é utilizada com sistema de filtro de tecido; e pode requerer disponibilidade de espaço significativa • Redução não catalítica seletiva (SNCR), com aplicação em fornos recuperativos, muito limitada em fornos regenerativos convencionais, e podendo ser aplicada a fornos regenerativos novos equipados com câmaras de regeneração múltiplas.
	Sempre que forem utilizados nitratos na formulação da mistura a ser fundida e/ou sejam necessárias condições especiais de combustão oxidante no forno, minimizar a utilização destas matérias-primas em combinação com técnicas primárias ou secundárias		

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Cont. Tabela 02

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Fornos de fusão	SOx	Reduzir as emissões de SOx residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> • Depuração a seco ou por via semisseca em combinação com um sistema de filtração; • Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a ser fundida; • Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre.
Processos à jusante do forno	MP, metais e HCl	Para operações de tratamento de superfície a quente com utilização de compostos de estanho, organoestânicos ou de titânio: <ul style="list-style-type: none"> • Minimização das perdas de produto de tratamento de superfícies por meio de uma boa estanqueidade do sistema de aplicação e do uso de um sistema de exausto adequadamente dimensionado. • Aproveitamento dos gases do forno de fusão nas operações de tratamento de superfície. • Aplicação de uma técnica secundária para tratamento das emissões (exemplo: depuração a seco ou por via semisseca, acrescida de sistema de filtração)
	SOx	Para as operações de tratamento de superfície com a utilização de SO ₃ , reduzir as emissões de SOx residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> • Minimização de perdas de produto, garantindo uma boa estanqueidade do sistema de aplicação, e a boa construção e manutenção do sistema de aplicação são essenciais para minimizar as perdas de produto para o ambiente; • Utilização de uma técnica secundária de tratamento das emissões (exemplo: lavadores).

3.3 MTPD para a produção de vidro plano

Tabela 03 – Melhor Tecnologia Prática Disponível para os fornos de fusão e processos à jusante do forno para produção de vidro plano

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Fornos de fusão	MP	Reduzir as emissões de MP nos gases residuais com utilização de precipitador eletrostático ou filtro de tecido. Possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle. .A utilização de técnicas primárias como: <ul style="list-style-type: none"> • utilização de cacos de vidro como matéria-prima, • uso de composição umidificada; • granulometria das matérias-primas; • regulagem da posição dos queimadores; • baixa concentração de voláteis como cloretos e fluoretos nas matérias-primas, • redução da concentração de sulfato de sódio na composição, • alteração do design e geometria do forno (possível na reconstrução do forno) • apoio elétrico (boost)

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Cont. Tabela 03

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível	
Fornos de fusão	SOx	Reduzir as emissões de SOx residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> • Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a ser fundida e otimização do balanço de massa do enxofre, de modo a não prejudicar a qualidade do produto • Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, com aplicabilidade condicionada à disponibilidade desses tipos de combustíveis. 	
	NOx	Técnicas primárias	Reduzir as emissões de NOx nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> • Modificações da combustão: <ul style="list-style-type: none"> •• Redução da razão ar/combustível; •• Redução da temperatura do ar de combustão; •• Combustão por etapas: distribuição do ar e distribuição do combustível, dependendo do tipo de forno e complexidade térmica; •• Recirculação dos gases de combustão, vinculada à utilização de queimadores especiais; •• Utilização de queimadores de baixa emissão sempre que ficar demonstrado que entregam uma real redução de NOx, sem prejuízos para o processo e que não inviabilizem a operação devido a alta instabilidade operacional. •• Escolha do combustível com baixo teor de N, •• Quando forem adotadas medidas de controle de NOx baseadas na modificação da combustão deverá haver monitoramento contínuo de NOx e O₂ para acompanhamento e ajuste contínuo dos parâmetros de combustão para minimizar as emissões • Fusão a oxi-combustão, com benefícios ambientais máximos alcançados em aplicações feitas durante uma reconstrução total do forno.
		Técnicas secundárias	<ul style="list-style-type: none"> • Redução catalítica seletiva (SCR),
		Sempre que forem utilizados nitratos na formulação da mistura a ser fundida, minimizar a utilização dessas matérias-primas, em combinação com técnicas primárias e secundárias.	
Processos a jusante do forno	MP, SOx, metais, HCl e HF	Reduzir as emissões atmosféricas residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> • Minimização das perdas de produtos de tratamento de superfície aplicados sobre o vidro, garantindo boa estanqueidade do sistema de aplicação. • Combinação das emissões de SO₂ proveniente da arca com os gases residuais provenientes do forno, sempre que tecnicamente possível, e sempre que for aplicado um sistema de tratamento secundário de poluentes. • Aplicação de uma técnica secundária de controle de poluentes. 	

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

3.4 MTPD para a produção de vidro doméstico

Tabela 04 – Melhor Tecnologia Prática Disponível para os fornos de fusão e processos à jusante do forno para produção de vidro doméstico.

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Forno de fusão	MP	<p>Reduzir as emissões de MP nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Redução dos componentes voláteis através de modificações nas matérias-primas, condicionada às características inerentes do tipo de vidro produzido e à disponibilidade de matérias-primas alternativas. A formulação da composição da mistura a ser fundida pode conter componentes muito voláteis (boro, fluoretos etc.), que contribuem significativamente para a formação de emissões de MP.• Fusão a oxi-combustão, com benefícios ambientais máximos alcançados em aplicações feitas a partir de reconstrução total do forno.• Sistema de filtração: precipitador eletrostático ou filtro de tecido• Lavadores, com aplicação limitada a casos específicos, especificamente a fornos de fusão elétricos, nos quais os volumes de gases liberados e as emissões de MP sejam realmente baixas e relacionadas com fenômenos de transporte de partículas decorrente da formulação da mistura a ser fundida.• Deverá possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle.• A utilização de cacos de vidro como matéria-prima
	NOx	<p>Reduzir as emissões de NOx nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Modificações da combustão:<ul style="list-style-type: none">•• Redução da razão ar/combustível,•• Redução da temperatura do ar de combustão,•• Combustão por etapas: distribuição do ar e distribuição do combustível, dependendo do tipo de forno e complexidade térmica•• Recirculação dos gases de combustão, vinculada à utilização de queimadores especiais•• Quando forem adotadas medidas de controle de NOx baseadas na modificação da combustão deverá haver monitoramento contínuo de NOx e O₂ para acompanhamento e ajuste contínuo dos parâmetros de combustão para minimizar as emissões.• Utilização de queimadores de baixa emissão sempre que ficar demonstrado que entregam um real redução de NOx, sem prejuízos para o processo e que não inviabilizem a operação devido a alta instabilidade operacional.• Escolha do combustível, com aplicabilidade condicionada à disponibilidade de diferentes tipos de combustível.• Fusão a oxigênio-combustível, <p>Sempre que forem utilizados nitratos na formulação da mistura a ser fundida, minimizar a utilização dessas matérias-primas, em combinação com técnicas primárias e secundárias.</p>

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Cont. Tabela 04

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Forno de fusão	SOx	Reduzir as emissões de SOx residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none">• Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a ser fundida e otimização do balanço de massa do enxofre,• Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre,
Processos a jusante do forno	MP, metais e Pb	Reduzir as emissões atmosféricas residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas: <ul style="list-style-type: none">• Execução de operações que gerem partículas (corte, trituração, polimento etc.) sob um líquido.• Utilização de ECP (filtro de tecido).

5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

As fontes de emissão instaladas em indústrias para produção de vidro estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu específico licenciamento, em função da sua localização, e aos padrões de emissão estabelecidos nas resoluções CONAMA 382/2006 e 436/2011.

Verifica-se que, para HCT, não há limite de emissão estipulado nas referidas resoluções CONAMA, devendo ser observadas, nesse caso, as exigências contidas no licenciamento e no Decreto Estadual 59.113/13.

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

Ficam estabelecidas nas citadas resoluções, e contidos nas tabelas a seguir, os seguintes limites de emissões atmosféricas provenientes de fornos de fusão de vidro. Cabe ressaltar que os valores colocados na Tabela 05 e na Tabela 06, podem, em alguns casos, ser considerados altos em função da localização da fonte. Nesse caso deverá ser utilizado o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes que passaram por licenciamento recente, em sua maioria com análise de estudo de dispersão, podem possuir limites de emissão mais restritos do que os valores colocados na tabela a seguir, devendo nesse caso, serem observados sempre os limites de emissão licenciados.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Tabela 05 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 382 para fontes instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007

Poluente	Classificação	Emissão (kg/t vidro fundido)
Material particulado	Receita soda-cal	0,4
	Receita borossilicato	0,8
	Receita chumbo e outras	0,5
NOx	Vidro Incolor	
	Doméstico	4,5
	Plano	4,3
	Embalagem	3,2
	Especiais técnicos	4,5
	Vidro colorido	
	Doméstico	7,5
	Plano	6,7
	Embalagem	5,4
	Especiais técnicos	6,7
SOx	Gás natural	1,4
	Óleo combustível	5,0

Tabela 06 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes instaladas ou com LI concedida anterior de 02 de janeiro de 2007

Poluente	Classificação	Emissão (kg/t vidro fundido)
Material particulado	Receita soda-cal	0,4
	Receita borossilicato	0,8
	Receita chumbo e outras	NA
NOx	Vidro claro (incolor) ^(a)	
	Doméstico	4,5
	Plano	4,3
	Embalagem	3,2
	Especiais: Lâmpadas, fibra de vidro, isolantes e isoladores elétricos	4,5
	Vidro colorido ^(b)	
	Doméstico	7,5
	Plano	6,7
	Embalagem	5,4
	SOx	Combustível: Gás natural
Combustível: Óleo combustível		5,0

(a) Não inclui vidros incolores com receitas que contém nitratos em concentrações iguais ou superiores a 1%

(b) Inclui vidros incolores com receitas que contém nitratos em concentrações iguais ou superiores a 1%

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Para aplicação dos limites de emissão listados nas tabelas anteriores, devem ser consideradas as seguintes definições:

- Receita soda-cal: é utilizada na fabricação produtos como recipientes de vidro, tecido de fibra de vidro e outros artigos de vidro, soprados e/ou prensados e vidro plano. Apresenta a seguinte proporção em peso: de 60 a 75% de SiO₂, de 10 a 17% de R₂O total (ex.: Na₂O, K₂O), de 8 a 20% de RO total (ex.: CaO, MgO) que não inclui PbO, de 0 a 8% de R₂O₃ total (ex.: Al₂O₃), e de 1 a 5% de outros óxidos;
- Receita borosilicato: é utilizada na fabricação de produtos como artigos de vidro, soprados e/ou prensados. Apresenta a seguinte proporção em peso: de 60 a 80% de SiO₂, de 4 a 10% de R₂O total (ex.: Na₂O, K₂O), de 5 a 35% de óxidos de boro, e de 0 a 13% de outros óxidos;
- Receita chumbo: é utilizada na fabricação de produtos como artigos de vidro, soprados e/ou prensados. Apresenta a seguinte proporção em peso: de 50 a 60% de SiO₂, de 18 a 35% de óxidos de chumbo, de 5 a 20% de R₂O total (ex.: Na₂O, K₂O), de 0 a 8% de R₂O₃ total (ex.: Al₂O₃), de 0 a 15% de RO total (ex.:CaO, MgO), que não inclui PbO e de 5 a 10% de outros óxidos;
- Outras receitas: são utilizadas na fabricação de produtos como artigos de vidro, soprados e/ou prensados, incluindo receitas de opal e fluoreto.

6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE, portanto, as fontes deverão ser monitoradas, utilizando as técnicas de monitoramento com a frequência mínima abaixo sugerida. As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PME, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no N° 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição n° 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

Tabela 07 - Frequência e tipo de monitoramento dos gases de combustão aplicável às fontes listadas no PREFE/2014.

Fonte	Poluente	Amostragem em chaminé	Monitoramento Contínuo
Forno de fusão	MP e SOx	Bienal	Aplicável
	NOx	Anual	Aplicável
	HCTNM *	Bienal	Aplicável
	NH ₃ **	Bienal	Aplicável

(*) havendo tratamento térmico de gases residuais no forno (**) Medições contínuas ou periódicas das emissões de NH₃ se forem utilizadas técnicas de redução catalítica seletiva (SCR) ou redução não catalítica seletiva (SNCR)

Os fornos de fusão de vidro deverão implantar os seguintes monitoramentos:

- Monitoramento contínuo de parâmetros essenciais ao processo para garantir sua estabilidade (exemplo: temperatura, alimentação de combustível etc.)
- Monitoramento regular dos parâmetros de processo para evitar/reduzir a emissão de poluentes (exemplo: teor de O₂ nos gases de combustão etc.)
- Monitoramento contínuo de parâmetros alternativos para garantir que o sistema de controle de gases residuais esteja funcionando devidamente e que os valores de emissão sejam mantidos entre as medições descontínuas. Os parâmetros alternativos a serem monitorados incluem alimentação de reagente, temperatura, alimentação de água, tensão, remoção de partículas, velocidade do(s) ventilador(es) etc.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que os previstos na Tabela 07, devendo nesse caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A aplicabilidade de monitoramento contínuo das fontes citadas acima está vinculada à qualidade do ar da região e a episódios críticos e/ou crônicos de emissões de poluentes para a atmosfera, podendo ser exigida a sua instalação, conforme os critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

ANEXO I DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS EMISSÕES PARA A ATMOSFERA

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Depuração a seco ou por via semisseca	SO _x	É introduzido e disperso no fluxo de gases residuais um reagente alcalino sob a forma de pó seco ou de suspensão/solução. Essa matéria reage com as substâncias sulfurosas gasosas para formar uma substância sólida que tem de ser removida por filtração (filtro de mangas ou precipitador eletrostático). Em geral, a utilização de uma torre de reação melhora a eficiência de remoção do sistema de depuração.
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de gases	MP e SO _x	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases libertados. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração
Lavador de gases tipo venturi	MP e SO _x	<p>O Lavador tipo Venturi é concebido para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes Um lavador venturi consiste em três seções: uma seção convergente, uma seção de garganta, e uma seção divergente.</p> <p>O fluxo de gás de entrada entra na seção convergente e, como a área diminui, a velocidade do gás aumenta (em conformidade com a equação de Bernoulli). A solução de lavagem é introduzida, quer na garganta, ou na entrada da seção convergente.</p> <p>O gás é forçado a mover-se a velocidades extremamente elevadas na seção pequena da garganta. Partícula e remoção de gás ocorrem na seção da garganta onde o fluxo do gás se mistura com a névoa da solução. A corrente de entrada em seguida, sai através da seção divergente, onde é forçado a abrandar.</p>

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a fundir e otimização do balanço de massa do enxofre	SOx	A minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a fundir é aplicada para reduzir as emissões de SOx decorrentes da decomposição de matérias-primas sulfurosas (em geral, sulfatos), utilizadas como agentes afinantes. A redução eficaz das emissões de SOx depende da retenção de compostos de enxofre no vidro, que podem variar significativamente dependendo do tipo de vidro e da otimização do balanço de massa do enxofre.
Minimização da utilização de nitratos na formulação da mistura a fundir	NOx	A minimização dos nitratos é utilizada para reduzir as emissões de NOx decorrentes da decomposição dessas matérias-primas quando aplicadas como agentes oxidantes para produtos de qualidade muito elevada, sempre que é necessário um vidro muito transparente ou para outros tipos de vidro com características específicas. Podem ser aplicadas as seguintes opções: — Reduzir a presença de nitratos na formulação da mistura a fundir para o mínimo compatível com os requisitos do produto e da fusão; — Substituir os nitratos por matérias alternativas. São alternativas eficazes sulfatos, óxidos de arsênio e óxido de cério; — Aplicar modificações ao processo (por exemplo condições especiais de combustão oxidante).
Pré-aquecimento do ar de combustão	NO _x	O ar de combustão passa por um pré-aquecimento por meio de trocadores de calor antes de ser inserido na câmara de combustão
Precipitador Eletrostático (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS – PREFE

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 9

PRODUÇÃO DE VIDRO

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Queimadores de baixa emissão de NO _x	NO _x	<p>A tecnologia dos queimadores baseia-se no princípio de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando a combustão, e aumentando a transferência de calor (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno.</p> <p>Estes queimadores também podem incorporar a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.</p>
Recirculação dos gases de combustão	NO _x	<p>Reinjeção dos gases do forno na chama, para reduzir o teor de oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura da chama. Utilização de queimadores especiais que utilizam a recirculação interna dos gases de combustão para arrefecer a base das chamas e reduzir o teor de oxigênio na parte mais quente destas</p>
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO _x	<p>Redução do NO_x para nitrogênio em um leito catalítico, por meio de reação com amoníaco (regra geral, solução aquosa, a uma temperatura ótima de operação entre 300 °C e 450 °C). Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO_x.</p>
Redução não catalítica seletiva (SNCR)	NO _x	<p>Redução de NO_x para nitrogênio, por meio de uma reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050°C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.</p>
Torre de carvão ativado	HCT (COVs)	<p>Filtragem de carbono é um método de filtragem que utiliza um leito de carvão ativado para remover os contaminantes e impurezas, utilizando absorção química.</p> <p>O carvão ativado funciona por meio de um processo chamado de adsorção, em que as moléculas poluentes no líquido a ser tratado fiquem presas no interior da estrutura dos poros do substrato de carbono.</p>