



Comparação do Desempenho Ambiental da Produção de Negro de Fumo com a Implementação de Ações de Controle Ambiental

C. P. Monteiro^a

a. Axia Value Chain, São Paulo, charles.monteiro@axiavaluechain.com

Resumo

O presente estudo tem como objetivo apresentar iniciativas que melhoram o desempenho ambiental aplicado a um específico setor da indústria química – produção de negro de fumo. A primeira etapa deste projeto foi estudar todas as tecnologias de produção de negro de fumo no Brasil e no mundo e entender todos os fluxos de massa e energia nesta etapa de manufatura com o objetivo de identificar todos os aspectos ambientais relacionados. A segunda etapa foi identificar os principais aspectos e impactos ambientais para propor ações de Produção mais Limpa – aumento da eficiência no uso de recursos naturais, energia e matéria prima; redução, reuso e reciclagem de todos efluentes gerados (sólido, líquido e gasoso), que proporcionem benefícios no âmbito ambiental, saúde ocupacional e econômicos. Este estudo considera também a adoção de técnicas de controle ambiental pós-combustão aplicada ao tratamento de efluentes e sistema de controle de poluição atmosférica associado ao processo industrial para atender decretos e regulações ambientais. É importante salientar que os objetivos gerados estão classificados de acordo com a abordagem usada (iniciativas de Produção mais Limpa ou controle ambiental pós-combustão). Como resultado final deste estudo obteve-se a melhora do desempenho ambiental do negro de fumo de forma qualitativa e quantitativa, além de propor diversas ações de caráter gerencial para a redução dos impactos ambientais desta atividade, como por exemplo: redução de 100% dos efluentes lançados no meio ambiente (todo o efluente é reutilizado), redução da energia usada (100% da energia elétrica utilizada e reduções significativas no consumo de fontes de energia térmicas) e aproximadamente redução de 80% da emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) para atmosfera, entre outros benefícios.

Palavras-chave: *produção de negro de fumo, desempenho ambiental, produção mais limpa, boas práticas.*

1. Introdução

O carbono é o nono elemento químico mais abundante na natureza e se encontra combinado em centenas de milhares de compostos, entre os quais se inclui a totalidade das substâncias orgânicas. Na forma não-combinada, o carbono elementar, ou livre, constitui o componente predominante de alguns produtos com grande importância industrial, dentre eles o carvão vegetal, a grafite, o carvão ativo e o negro de fumo. O negro de fumo é constituído por partículas finamente divididas e coloidais, que são obtidas por decomposição térmica (pirólise) ou combustão incompleta de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos dentro de condições controladas.

Devido às propriedades de tamanho e estrutura das partículas de negro de fumo, as matérias primas principais são materiais líquidos ou gasosos. O negro de fumo possui especificações bem definidas, que podem ser reproduzidas com regularidade pelo tipo de equipamento utilizado e controle das condições do processo produtivo. Estima-se que existam, atualmente, mais de 50 tipos comerciais de negro de fumo disponíveis no mercado.

No âmbito mundial, os dois tipos de processos utilizados para se obter o negro de fumo são: *furnace black process* e *thermal black process* (ICBA, 2010).

O *furnace black process*, conhecido também como processo de fornalha, é o mais utilizado atualmente. Ele representa 95% da tecnologia usada para se produzir negro de fumo no âmbito mundial. Todo o negro de fumo fabricado no Brasil é obtido através deste modelo. As etapas que constituem essa forma de produzir negro de fumo podem ser brevemente explicadas acompanhando a seguinte lógica: a matéria prima - óleo aromático pesado - é conduzida até um reator, que em condições controladas de temperatura e pressão, inicia a etapa de craqueamento da matéria prima, produzindo assim o negro de fumo. Essa reação é interrompida por meio da aplicação de jatos de água, parte fundamental do processo, já que é responsável pela definição das características finais do produto. O negro de fumo obtido é separado em unidades filtrantes. Os gases residuais gerados possuem alto teor de monóxido de carbono (CO) e moléculas de hidrogênio (H₂). Algumas unidades fabris de negro de fumo utilizam uma parte deste gás para produzir calor, vapor ou energia elétrica.

O *thermal black process*, conhecido também como processo térmico de obtenção de negro de fumo representa 5% restante da tecnologia aplicada em escala global. Este modelo utiliza gás natural – constituído principalmente de metano - ou óleo aromático pesado como matéria prima. O modelo deste processo é constituído de duas fornalhas que se alternam entre o pré-aquecimento e a produção de negro de fumo. O gás natural é decomposto dentro das fornalhas refratadas, formando negro de fumo e hidrogênio. Esta reação é também interrompida por meio de aplicação de jatos de água. O negro de fumo obtido é separado do gás resultante do processo. O hidrogênio liberado do processo é queimado e a energia obtida é utilizada nas fornalhas de produção.

O negro de fumo possui duas propriedades que definem a maioria absoluta das suas aplicações: elevado poder de pigmentação e capacidade de, em mistura com as borrachas, elevar substancialmente a resistência mecânica desses materiais. Um exemplo retirado do Complexo Químico, 1998 - ilustra o efeito reforçante em borrachas é o aumento da vida útil, de 8.000 km para 129.000 km, de alguns tipos de pneus, devido à adição de negro de fumo. Além destas propriedades, ele pode ser aplicado como agente redutor, agente reológico e até como agente condutor de eletricidade, permitindo dessa forma uma grande utilização em diferentes segmentos do mercado.

Do total de negro de fumo produzido mundialmente, 70% é destinado para a fabricação de pneus, 20% para fabricação de artefatos de borrachas em geral (como mangueiras e correias) e 10% para especialidades, como tintas em geral, tintas de impressão e aditivos plásticos (Relatório Ambiental Preliminar Cabot, 2005).

Dados publicados pelo Brad Dawson, 2010 no Global Tire News apontam que a demanda de negro de fumo em 2008 alcançou o patamar de 9,4 milhões de toneladas. Com o mercado voltando a aquecer, a previsão de demanda mundial para 2013 é de 11,6 milhões de negro de fumo.

No Brasil, a capacidade de produção média para o período em referência atingiu o limite de 515 mil toneladas anuais. No que se refere ao mercado produtor, esta produção está dividida em três grandes empresas (Domingos Zapparoli, 2009):

- Columbian: 275 mil toneladas/ano (53,4%), unidades de produção: Cubatão-SP e Camaçari-BA;
- Cabot: 140 mil toneladas/ano (27,2%), unidades de produção: Mauá-SP;
- Evonik: 100 mil toneladas/ano (19,4%), unidades de produção: Paulínia-SP.

Essas empresas são responsáveis pela produção anual de 450 mil toneladas de negro de fumo (87% da capacidade de produção instalada no país). Este mercado vem crescendo consideravelmente ao longo dos anos, já que a capacidade de produção nacional mais que dobrou em 10 anos, de 228 mil toneladas (1998) para 515 mil toneladas (2008).

Tal atividade industrial se torna indispensável para o contexto mundial, porém o alto consumo de recursos naturais como matéria prima e a alta quantidade de poluentes atmosféricos gerados pelo processo de produção de negro de fumo são aspectos que precisam ser tratados com mais atenção por esse segmento.

O conceito deste presente estudo é justamente comparar diferentes tecnologias usadas para a produção de negro de fumo – com aplicação de ações de controle e prevenção ambiental – e poder avaliar com dados quantitativos os benefícios alcançados e a redução do impacto gerado ao entorno, tornando assim esse atividade menos prejudicial ao meio ambiente.

2. Metodologia

A fim de atender de forma satisfatória o proposto, o presente estudo foi estruturado, em termos metodológicos, da seguinte forma:

- Conhecimento da tecnologia de produção: Esta etapa teve como objetivo estudar e conhecer a tecnologia aplicada no processo de manufatura de negro de fumo no Brasil e no mundo, obtendo-se assim um descritivo das etapas que compõe esse processo.
- Levantamento sobre programa de P+L e Ações de Controles: Após conhecer a tecnologia utilizada em indústrias de negro de fumo e identificar os fluxos de matéria e energia mais expressivos, relacionados aos impactos mais relevantes decorrentes desta atividade, foi pesquisado exemplos de programas de Produção Mais Limpa (que visam a redução de consumo de recursos e matérias primas, o aumento da eficiência de produção e uso de

matéria e energia, e a minimização na geração de resíduos e seus possíveis aproveitamentos) em indústrias químicas e tecnologias ambientais aplicadas em ações de Controle Pós Combustão (que visam reduzir ou proporcionar tratamentos adequados aos resíduos gerados pela atividade).

- Aplicação de ações de P+L e Controle Pós Combustão: Esta etapa do projeto consiste em aplicar os exemplos obtidos através dos estudos do Programa de Produção Mais Limpa e as ações de Controle Pós Combustão no fluxograma usualmente aplicado no processo de produção de negro de fumo. Como resultado, temos um cenário de atividade industrial que minimiza os impactos causados ao meio ambiente, como a redução do uso de recursos naturais e geração de efluentes – sejam eles sólidos, líquidos, gasosos ou mesmo, de caráter energético.

3. Resultados e discussões

A forma de produção de negro de fumo mais aplicada em escala mundial é “furnace black process”. A seguir uma descrição detalhada deste processo encontrado no Relatório Ambiental Preliminar Cabot, 2005.

O óleo aromático – composto em essência por hidrocarbonetos de diferentes comprimentos de cadeia – é a matéria prima utilizadas para a produção de negro de fumo. Este insumo deve ser homogeneizado em tanque de mistura e encaminhado para um reator, onde ocorre o craqueamento do óleo, sobre condições controladas de pressão e temperatura, e em presença de ar atmosférico previamente aquecido.

A temperatura elevada – gerada pela combustão do óleo aromático – associada a condições redutoras vigentes no interior da câmara de reação, levam ao craqueamento do óleo, produzindo negro de fumo. Juntamente do produto, porém, são produzidos ainda outros gases – hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO), vapor de água (H_2O) e nitrogênio (N_2), além de pequenas quantidades de metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S) e outros hidrocarbonetos (C_xH_y). Além das condições de processo, a composição do óleo aromático é fator decisivo para determinar a quantidade gerada de gás residual no processo.

A reação de craqueamento é interrompida por meio da aplicação de um jato de água – conhecido como “quench”. Essa operação é parte fundamental do processo, no que se refere ao estabelecimento das características do produto final. O negro de fumo é separado dos gases residuais em unidade composta por filtros mangas, que operam segundo sistema de fluxo reverso. Tal condição permite coletar materiais particulados de baixa granulométrica, com elevada eficiência de retenção.

Após passar pelos filtros mangas, o negro de fumo é conduzido via sistema pneumático de transporte até o módulo de pré-peletização. Nesta etapa o negro de fumo é alimentado a moinho de martelos para redução de partículas e depois encaminhado para a peletização.

A peletização tem como produto final pellets úmidos, que são enviados a secadores rotativos. O vapor de água gerado durante a secagem dos pellets é emanado – juntamente com partículas arrastadas de negro de fumo – para filtro purga, que procede a separação de ambas as fases gasosa e sólida. Enquanto o ar livre de partículas segue para ser eliminado na atmosfera, a fração sólida de negro de fumo que ficou retida no filtro purga retorna ao processo.

O negro de fumo é, por fim, encaminhado a tanques e silos de armazenamento do produto final, via elevadores de canecas e roscas transportadoras que operam a pressão negativa para evitar emissões fugitivas. Uma válvula instalada na parte

superior do tanque, que se encarrega de reter o material particulado, permite a circulação de ar deslocado durante o carregamento ou descarregamento do produto. A retenção de material particulado é importante para minimizar as emissões fugitivas, como para garantir a qualidade do produto final.

Dos silos, o produto é conduzido – por gravidade – as máquinas ensacadoras do tipo “big bags” ou descarregado diretamente em contêineres. Sistemas a vácuo evitam mais uma vez emissões de material particulado durante a embalagem do produto final.

Apreendida a tecnologia genérica de produção de negro de fumo, tornou-se possível identificar, áreas produtivas e processos de mais elevado potencial de impacto ambiental. Dentre estas se encontram:

- Alto consumo de água;
- Alto consumo de energia (elétrica e térmica);
- Emissões de gases poluentes e agravadores de efeito estufa.

Através da mesma ação, surge também, e de maneira inerente, a possibilidade de identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental associadas ao aumento da eficiência do processo. A seguir serão apresentadas algumas soluções levantadas de Produção mais Limpa e controle ambiental pós-combustão, com o intuito de melhorar a desempenho ambiental do processo convencional de produção de negro de fumo.

Redução do consumo de água com ações de produção mais limpa

A água é um recurso muito utilizado em indústrias de negro de fumo. Estima-se que o consumo de água neste segmento de indústria gire em torno de 5 m³ para cada tonelada de negro de fumo produzida. Considerando o cenário brasileiro, aonde as três fábricas atuantes no mercado têm a capacidade de produção de 515 mil toneladas anos, estamos falando em um consumo potencial de 2.6 milhões de m³ de água consumidos todo o ano por esse setor industrial.

Após estudos relacionados ao balanço de água em fábricas de negro de fumo, foi possível deduzir soluções relacionadas à redução no consumo de água.

- Implantação de um sistema de reuso de água: Prevendo um melhor aproveitamento da água de reuso potencial em indústrias, podemos dimensionar um sistema de reuso de água, composto pela captação de água da chuva e reutilização dos efluentes tratados (doméstico e industrial). Com esta iniciativa, podemos estimar a redução em 10% de água captada. Essa porcentagem de reutilização de efluente só não é maior pois, do total de água que entra em uma fábrica de negro de fumo, cerca de 86% sai em forma de vapor – já que a maior fonte de consumo de água se encontra na etapa de *quench*, que é o momento de injeção de água para interromper a reação de craqueamento da matéria prima no interior do reator (que opera a temperaturas superior a 700 graus Celsius). Este processo em particular tem como característica muita perda de água em seu estado gasoso para a atmosfera.
- Redução no consumo de água potável: Através do balanço hídrico feito em indústrias químicas de negro de fumo, foi evidenciado que do total de água utilizada em uma unidade fabril (considerando a água usada no processo de manufatura e a água utilizada pelos

funcionários em restaurante, banheiros e escritório), somente 5% - 130 mil m³ de água – tem a necessidade de ser água potável. Os demais 95% de água utilizada no processo pode ser proveniente de efluentes tratados de outras empresas, lagos, rios e poços. Como as indústrias de negro de fumo instaladas no Brasil se encontram em pólos químicos e petroquímicos, é possível a implantação de sistemas de reutilização de efluentes líquidos tratados de outras indústrias destes pólos, buscando uma solução integrada para esse problema.

Redução das emissões atmosféricas e aproveitamento energético

Para o processo de produção de negro de fumo usado Brasil, temos como fonte de emissão os seguintes equipamentos: flare, caldeiras ou incineradores; secadores e sistemas de filtros.

Os secadores e incineradores (flares) são equipamentos responsáveis pela queima do gás de processo oriundo do reator. Como este gás possui substâncias que não podem ser emitidas diretamente na atmosfera, como monóxido de carbono (CO), ácido sulfídrico (H₂S), dissulfeto de carbono (CS₂) e outros, eles obrigatoriamente passam por processo de combustão, oxidando estes compostos, gerando dióxido de carbono (CO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). O sistema de filtros tem como função principal reter o material particulado que corresponde ao negro de fumo produzido nos reatores.

A partir do entendimento das fontes de emissões, temos a seguir uma tabela que aponta as substâncias emitidas deste processo e suas respectivas concentrações e taxas de emissão.

Tabela 1 – Emissões típicas de indústrias de negro de fumo

Substâncias Emitidas	Emissões Específicas - kg/tonelada de negro de fumo	Concentração de Emissão - mg/Nm ³ a 10% O ₂
Material Particulado	0.2 - 0.4	10 - 30
Dióxido de Enxofre	6.5 - 22.0	400 - 1400
Óxidos de Nitrogênio (como NO ₂)	6.0 - 15.0	400 - 900
Monóxido de Carbono	2.0 - 3.0	120 - 200

(EUROPEAN COMMISSION, 2007)

Após a obtenção dos dados, partimos para análises dos resultados para assim propor ações efetivas neste âmbito. O primeiro passo seria aprimorar os estudos relacionados à eficiência de produção. A etapa que merece atenção em todo o processo é o craqueamento do óleo pesado dentro do reator. Temos diversos estudos que apontam técnicas de queima divididas em estágios dentro do reator, o que proporcionaria uma queima mais controlada, e conseqüentemente evita que parte da matéria prima seja consumida para gerar calor dentro da câmara de craqueamento. Com esta ação o fator de transformação da matéria prima em negro de fumo aumentaria, reduzindo o uso de óleos pesados no processo.

Como apontado anteriormente, o principal impacto causado pela produção de negro de fumo se encontra no meio atmosférico, através das emissões de poluentes. O enxofre e o nitrogênio emitidos pelas fontes estacionárias de combustão têm

origem no óleo usado como matéria prima e queima de combustíveis fósseis para geração de calor e energia nas plantas de produção. Visando ações de caráter preventivo, temos como estabelecer critérios para o uso de combustíveis fósseis no processo, como exemplo, a adoção de gás natural no lugar de óleo diesel e outros para a obtenção de calor e energia necessários para a produção.

Outra ação importante seria estabelecer controles nos níveis de enxofre e nitrogênio na matéria prima usada. Com o uso de óleo pesados com baixo teor de enxofre e nitrogênio, temos conseqüentemente a redução na emissão de NO₂ e SO₂. Temos também a opção de utilizar diferentes matérias primas, que abre a possibilidade de redução das emissões dos poluentes, pois cada matéria prima possui um teor diferente de enxofre e nitrogênio.

Tabela 2 – Teor de enxofre e nitrogênio em matérias primas usados na indústria de negro de fumo

Matéria Prima	Sinônimo	Teor de Enxofre (%)	Teor de Nitrogênio (%)
Fluid catalytic cracker residue (FCCR)	Decant Oil	<1 - 6	0.1 - 0.3
Ethylene cracker residue (ECR)	Naphtha cracker oil or ethylene tar	<0.5	0.1 - 0.4
Coal tar distillates (CTD)	Creosote oil	<1	0.7 - 1.5

(EUROPEAN COMISSION, 2007)

Identificação de ações de controle pós combustão

Como verificado a partir do levantamento do fluxograma do processo de produção de negro de fumo no Brasil, grande parte das indústrias possui equipamentos responsáveis pelo tratamento eficaz de efluentes líquidos como ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto Industrial e Doméstico) e efluentes gasosos, como lavadores de gases e incineradores.

Após a pesquisa de tecnologias novas para o tratamento dos resíduos gerados pela atividade, usando como exemplos plantas de negro de fumo instalado na Europa, que possui um sistema de gestão ambiental mais consolidado e restritivo, foram avaliadas novas formas de tratamento de efluentes gasosos, que contribuem significativamente para um melhor desempenho ambiental deste processo.

Durante a reação de formação do negro de fumo dentro do reator, temos como resultado a geração de dois produtos: negro de fumo e gás residual. Segundo o documento European Comission, 2007 – o poder calorífico deste gás (1.7 - 3.8 MJ/Nm³) atualmente é aproveitado nos secadores. Do total de gás residual gerado no reator, cerca de 30% vai para os secadores, o restante é encaminhado para os incineradores.

Muitas plantas na Europa estão utilizando atualmente o gás residual que era encaminhado para os incineradores, em caldeiras de geração de vapor (em algum desses, o aproveitamento do vapor para a geração de energia elétrica). Segundo o European Comission, 2007 - o potencial de recuperação do gás residual queimado em caldeiras para geração de vapor - e conseqüentemente de energia elétrica – se encontra em uma faixa de 9 e 26 GJ/tonelada de negro de fumo, considerando uma

eficiência global de 80%. Muitas destas fábricas que possuem essa tecnologia produzem energia elétrica a mais do que consomem, vendendo parte desta energia para a rede elétrica ou outros consumidores fora de sua área fabril.

Essas caldeiras além de gerarem energia podem ser compostas por sistemas combinados de redução seletiva catalítica (ou não catalítica) de óxidos de nitrogênio NOx. Isso significa que a implantação deste projeto traz os seguintes benefícios:

- Considerando o cenário brasileiro que possui um potencial de produção de negro de fumo 515 mil toneladas anuais, seriam evitados o consumo de 221.708 MWh, atualmente consumidos pelas plantas de negro de fumo;
- Redução de 70 a 90% nas emissões de NOx, com a implementação de um sistema combinado de Redução seletiva catalítica (Selective Catalytic Reduction SCR). Isso significa uma redução de 2884 – 3708 toneladas de NOx que seriam emitidos anualmente em nosso território nacional.

4. Conclusões

A partir dos resultados gerados com a realização do estudo, podemos perceber que atualmente, temos no cenário mundial o estudo de tecnologias limpas aplicadas para o setor de negro de fumo, como o caso de caldeiras especializadas em queima de gás residual de processo e sistemas combinados de redução na emissão de NOx.

Temos como exemplo também o uso de sistema de reutilização de efluentes tratados, que além de evitar a captação de uma parcela do total de água captada usada no processo produtivo, torna a planta uma unidade seca, sem a emissão de efluente para o meio ambiente.

Novas técnicas de tecnologias limpas vêm sendo estudadas e aplicadas neste setor industrial em estudo. Essas técnicas trazem como resultados, a minimização dos impactos externos ao entorno. Entre elas, podemos citar (European Commission, 2007):

- Uso de matéria prima com baixo teor de enxofre - redução na emissão de SO₂;
- Pré-aquecimento do ar usado no processo, através do aproveitamento do calor existente nos gases quentes que deixam os reatores;
- Manutenção operacional dos filtros, a fim de garantir a máxima retenção de negro de fumo nos filtros. Além de evitar emissões de material particulado, você deixa de perder produto para o meio externo;
- Utilização do potencial energético do gás residual – para a queima controlada em caldeiras para a geração de vapor e energia elétrica
- Aplicação de controle primários de redução de NOx em sistemas de produção de energia a partir de caldeiras e turbo geradores;
- Utilização de filtros para gás oriundos dos secadores, sistema de ventilação e coleta de ar no processo, a fim de minimizar as emissões totais – algumas fábricas somente utilizam sistema de filtros para separar o negro de fumo do gás residual, na etapa seguinte de craqueamento da matéria prima;
- Reaproveitamento de negro de fumo fora de qualidade no processo produtivo, aumentando a produtividade na unidade de produção, além de

minimizar a geração de resíduos deste processo;

- Investigação da possibilidade de reutilização de água e efluentes tratados dentro da planta.

Como produto imediato deste esforço de pesquisa proporcionar-se - a partir dos resultados e obtido e das conclusões comentadas – elementos capazes de suportar processos gerenciais de tomada de decisão, no sentido de melhorar as condições ambientais nas linhas de produção de negro de fumo do Brasil e do mundo.

5. Referências

Para periódicos e livros

Complexo Químico, 1998. Informe Setorial Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). Área de Operações Industriais, Negro de Fumo. Pág. 1-5

European Commission, 2007. Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on Best Available Techniques of the Manufacture of – Large Volume Inorganic Chemicals, Solid and Others Industry. Pág. 203-253.

Relatório Ambiental Preliminar – RAP Unidade 3 – Cabot Mauá, 2005.

Para publicações na internet

Brad Dawson, 2010. Carbon black demand forecast to grow. Global Tire News. <http://www.globaltirenews.com/headlines2.html?id=1269444349> acessado dezembro/2010

Domingos Zapparoli, 2009. Negro de fumo, queda de vendas e de preço força indústria a promover ajustes. Químicas e derivados. http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd484/negro_de_fumo/negro_de_fumo01.htm acessado março 2010

ICBA 2010. What is carbon black. International Carbon Black Association. http://www.carbon-black.org/what_is.html acessado dezembro/2010