

PROCESSO DE ABSORÇÃO DE GASES NA MINIMIZAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

André Búrigo Leite - Engenheiro Químico pela Universidade Regional de Blumenau (FURB), Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Regional de Blumenau (FURB), Professor e Coordenador do curso de Engenharia Ambiental e Pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisa em Meio Ambiente (GEMA) na Universidade do Contestado (UnC) –Campus de Concórdia.

Sávio Leandro Bertoli - Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia Química da Universidade Regional de Blumenau (FURB).

Antônio André Chivanga Barros - Químico Industrial pela Universidade Federal da Paraíba (UFPb), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPb), Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia Química da Universidade Regional de Blumenau (FURB).

Endereço para contato:

André Búrigo Leite

Rua Victor Sopesla – 3000, Bairro Salete

CEP – 89700-000 Concórdia – SC - Brasil

Tel.: (49) 441-1019 - Fax: (49) 441-1020

E-mail: ableite@uncnet.br

Resumo: O processo de absorção de gases é comumente utilizado em plantas industriais, com o objetivo de produção/recuperação de compostos com alto valor agregado, e sua aplicação vem tendo grande relevância ambiental. A principal característica do processo de absorção é a transferência de massa, de um ou mais componentes da fase gasosa para a fase líquida devido à solubilidade e à diferença de concentração entre as fases possibilitando assim a sua remoção/recuperação o que pode melhorar a qualidade do ar. Neste trabalho, fez-se o estudo sobre os principais poluentes atmosféricos e avaliou-se a influência dos parâmetros de processo na absorção física da amônia (NH_3) presente na mistura ar-amônia-água, à pressão constante, utilizando-se o simulador comercial Process Provision (PRO II[®]). Os resultados obtidos da simulação, permitiram definir a performance operacional da coluna de absorção, bem como a utilização deste processo na área ambiental.

Palavras-chaves: Absorção de gases, Transferência de Massa, Simulação Numérica

Abstract: The process of gaseous absorption used commonly in the industrial plants, have as objective of production/recovery of compounds with high aggregated value, and its application comes having great relevance in the improvement of the ambient quality. The main characteristic of the absorption process is the mass transference, where one or more components are transferred from gaseous phase to the liquid phase due the solubility and the concentration difference between the phases thus making possible the removal/recovery of the components. In this work, an large study became on the main atmospheric pollutants and was evaluated it influence of the processes parameters for physical absorption of ammonia (NH_3) of a mixture air-ammonia-water to the constant pressure, using the commercial simulator Process Provision (PRO II). The results obtained in the simulation, had allowed to identify the best condition of operation of the absorption column, as well as the use of this process in the environmental area.

Key Words: Gaseous Absorption, Mass Transference, Numerical Simulation

Introdução

As indústrias de transformação passam por mudanças, oriundas da globalização da economia mundial, tendo como reflexos o forte crescimento urbano e a reestruturação de empresas que buscam maximizar a produtividade, diminuindo os gastos com a manutenção e a aquisição de novos produtos e equipamentos.

O crescimento das restrições ambientais tem exigido, do setor produtivo, respostas cada vez mais eficientes aos problemas causados ao meio ambiente. O rápido adensamento industrial e o crescimento do consumo, verificado nas últimas décadas, deixaram os limites do planeta cada vez mais tangíveis à extração de matéria prima bem como o uso dos recursos naturais como corpos receptores dos resíduos.

O limitado efeito de proteção ambiental oferecido pelas denominadas técnicas de fim de linha, aliados aos custos de produção, impõem a preocupação ambiental ao setor produtivo que deve buscar a solução dos problemas a partir da reavaliação do processo, propondo medidas preventivas contra a poluição com o intuito de minimizar a geração de resíduos e recuperar os resíduos gerados para diminuir a sua disposição ao meio ambiente

A atmosfera, face à natureza das atividades de transformação, pode incorporar material microbiológico, material sólido particulado e gases orgânicos e inorgânicos, desconfigurando e contaminando o ar ambiental. Estes contaminantes se distribuem, principalmente pelos mecanismos convectivos e difusivos de transferência de massa e calor, associados à quantidade de movimento, que proporciona a sua recirculação.

As operações unitárias como processos industriais (absorção, destilação, destilação extrativa, entre outros), podem ser utilizados como alternativa para manter o ar límpido.

As fontes antrópicas de poluição atmosférica são as mais variadas: processos industriais de extração e transformação; processos de geração de calor industrial; queima de resíduos; transporte, estocagem e transferência de combustíveis; veículos motores e outras fontes móveis.

A poluição do ar provoca doenças respiratórias (asma, bronquite e efisema pulmonar, entre outras) e desconforto físico (irritação dos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça, sensação de cansaço, tosse), que agrava as doenças cardiorespiratórias e contribui para o desenvolvimento de câncer pulmonar. Esses problemas de saúde, relacionados à poluição atmosférica por vários estudos epidemiológicos e toxicológicos, têm alto custo social, com gastos no tratamento de doenças, perda de horas de trabalho e redução da produtividade. Além disso, provoca a deterioração de materiais (borracha, materiais sintéticos, couro, tecidos, metais e outros), levando a prejuízo econômico, devido à necessidade de sua substituição e/ou manutenção. O desenvolvimento das atividades agropecuárias é afetada com a diminuição da resistência das plantas à doenças e pragas até o acúmulo de poluentes tóxicos nos animais e sua transferência a outros seres, por meio da cadeia alimentar.

O objetivo geral deste trabalho, é de caracterizar os principais poluentes atmosféricos e sua implicação sobre a saúde animal e vegetal e desenvolver metodologias para a recuperação física de ambientes contaminados com amônia (NH₃).

Caracterização dos poluentes

Os trabalhos desenvolvidos e investigados na literatura, mostram ameaças à sociedade humana, decorrentes da poluição atmosférica. Desde as tragédias de Hiroshima e Nagasaki, o pavor do holocausto nuclear gerou uma permanente mobilização mundial para se impedir que a espécie humana seja exterminada. O acidente de Chernobil ativou ainda mais essa consciência, por indicar que uma catástrofe atômica será terrível para todos os povos e nações.

Com o aumento da população mundial, é necessário ampliar as áreas de agricultura, levando ao desmatamento de florestas e sua substituição por plantas de interesse econômico. É indispensável entender que as ações que levam ao aniquilamento de recursos naturais, decorrem do modo de vida e do desenvolvimento econômico, o que impõem ações contra a natureza mas por outro lado, necessárias devido ao imenso contingente populacional (PAVAN,1989).

A poluição do ar é composta por duas categorias de poluentes: os poluentes primários que são liberados diretamente para atmosfera e os poluentes secundários, formados por combinações físico-químicas entre diferentes elementos ocorridos na atmosfera.

Segundo Lou *et al.* (1993), óxidos sulfurosos (SO_x), hidrocarbonetos (HC), partículas em suspensão (PS), monóxido de carbono (CO), óxidos nitrogenados (NO_x) são os cinco poluentes primários na atmosfera oriundos, principalmente, das indústrias através dos processos de combustão.

Dióxido de enxofre

O dióxido de enxofre (SO₂) é liberado pela combustão de elementos que contêm enxofre nas suas composições. As refinarias de petróleo, as fábricas de celulose, de ácido sulfúrico e de fertilizantes, são as principais fontes de emissão, que provocam graves danos ao ser humano, como irritação das mucosas e vias respiratórias, alteração do processo de fotossíntese nos vegetais e que, através das chuvas ácidas, contaminam os corpos de água, causando a morte de animais aquáticos e terrestres (ALMEIDA e RIBEIRO,1993).

Vale ressaltar que a natureza também produz chuva ácida. A diferença, nesse caso, é que ela é útil. Durante uma tempestade, o calor provocado pelas descargas atmosféricas força as moléculas de nitrogênio e oxigênio, existentes no ar, a se combinarem e produzirem o dióxido de nitrogênio, que, dissolvido em água da chuva transforma-se em ácido nítrico. A chuva com ácido nítrico, produzido dessa forma, é uma chuva ácida natural. O ácido nítrico, em contato com o solo, é transformado em nitrato que fertiliza a terra. A chuva ácida natural não contém o nocivo ácido sulfúrico oriundo da poluição provocada pelo ser humano.

O dióxido de enxofre reage com hidroxila da água formando componentes que geram, como produto final o ácido sulfúrico, de acordo com as Equações (1, 2, 3) (KRUK, 1998):



Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos (HC) são o resultado da combustão incompleta de derivados do carbono como etano, butano, propano entre outros, que liberam gases tóxicos. As refinarias de petróleo, os depósitos de combustíveis derivados do petróleo, a combustão incompleta de combustíveis, e a liberação de metano através da extração de gás e queima de biomassa, são as suas grandes fontes (HARRISON, 1993).

Os HCs compartilham com o NO_x na formação da névoa de poluente, "smog", porém de uma maneira indireta, mediante reações mais complexas. Eles reagem com o óxido de nitrogênio (NO) para formar o NO₂. Assim, aumentam as taxas de reação do NO₂ contribuindo, desta forma, no aumento da produção de ozônio na atmosfera (CAREY, 1994).

Esses gases, além de cancerígenos, causam irritação das mucosas e atacam o sistema nervoso, causando alteração no sono (ALMEIDA e RIBEIRO,1993).

Partículas em suspensão

Partículas em suspensão (PS) outro poluente atmosférico, são sólidos finamente divididos cujas dimensões variam de 100 à 1000 Å. Podem ser caracterizadas por serem partículas de origem metálica e não-metálica (KRUK, 1998).

Agentes típicos de formação de partículas em suspensão, chamadas também de poeira, são, por exemplo, termoelétricas alimentadas com carvão mineral, alto-fornos, siderúrgicas, indústrias de cimento, fracionamento de vegetais e outros ramos da indústria química (HARRISON, 1992). Enquanto este tipo de poluente (poeira) é observado em regiões densamente povoadas, outro tipo de poluente (fumo) oriundo da queima da vegetação ou de nuvens de poeira levantadas pelo vento em desertos e estepes, aumentam acentuadamente. A utilização extensiva de pastagens em regiões de vegetação do tipo estepe, na América do Sul, África do Sul e Austrália, provoca um enfraquecimento da cobertura vegetal e possibilita a formação de nuvens de poeira.

As partículas de poeira sedimentam-se rapidamente tendo como conseqüências a sua permanência nas vizinhanças da fonte emissora. A poeira levantada por veículos à motor não se propaga a longas distâncias; e, como nas grandes cidades as vias públicas são relativamente estreitas, a concentração de poeira não é diluída, atuando assim, fortemente, sobre o ser humano e os animais. Através de correntes aéreas, as partículas de poeira atingem elevadas altitudes e podem formar nuvens de pó a alturas de 4 à 8 km. Uma

poeira levantada desta forma pode propagar-se extensivamente e constituir uma ameaça para toda a atmosfera. Esta contínua turvação da atmosfera tem inevitavelmente reflexos sobre o clima.

As partículas em suspensão têm como principais conseqüências a diminuição da intensidade de radiação do sol sobre a superfície terrestre, em cerca de 0,4% ao ano. Admite-se, assim, uma considerável perda de energia na superfície terrestre em poucas décadas, que pode influenciar no clima que resulta na diminuição da velocidade e mudança na direção dos ventos (RAMIRO, 2000).

Os principais problemas causados pela poeira são: alergia, problemas pulmonares, corrosão e sujeira na superfície externa das edificações e monumentos e diminuição da visibilidade em áreas urbanas (ALMEIDA e RIBEIRO, 1993).

Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é outro poluente atmosférico que altera o padrão da qualidade do ar. A principal fonte de CO são os veículos leves, que representam 80% das emissões. (EULÁLIO e SILVA, 1991).

Por se tratar de um gás incolor, inodoro, resultante da queima incompleta de combustíveis, os riscos de intoxicação são freqüentes causando dores de cabeça, desconforto, vertigens, asfixia, náuseas, cansaço, palpitações no coração, diminuição dos reflexos e da capacidade visual (FILIAGE, 1989 e PEREIRA, 2000). Além disso, o CO pode ligar-se à hemoglobina, substituindo o oxigênio. No sangue, o CO reage com a hemoglobina (Hb) convertendo a oxihemoglobina (O₂Hb) em carboxihemoglobina (COHb) conforme Equação (4) (TARDIFF e RODRICKS, 1987):



O efeito nocivo provocado consiste na formação de carboxihemoglobina evitando que a hemoglobina seja conduzida pelo oxigênio para os tecidos do corpo humano. Para identificar os efeitos da contaminação do CO sobre o organismo humano, pesquisas têm sido conduzidas na USP (Universidade de São Paulo), utilizando amostras de plantas coletadas em centros críticos de tráfego de veículos e em regiões residenciais. Os resultados comprovam alterações no DNA dos vegetais, em função da exposição à gases poluentes como o monóxido de carbono.

Óxidos de nitrogênio

Os dois óxidos de nitrogênio normalmente encontrados na atmosfera são o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) que, segundo Manahan (1994), são designados coletivamente por NO_x. Os NO_x podem ter origens de fontes naturais como processos biológicos ou de fontes antrópicas como motores de combustão interna de meios de transporte automotivos, fornos industriais, incineradores, indústrias de cal, de fertilizantes, de ácido nítrico e as grandes queimadas.

Monóxido de nitrogênio. O monóxido de nitrogênio (NO) é um gás inodoro e incolor cuja concentração global na atmosfera, no começo de 1993, era de 310 ppb (partes por bilhão) aproximadamente 8% maior do que o nível da concentração ocorrido no período da Revolução Industrial (275 ppb) (JÚNIOR, 1998). É lançado para a atmosfera não somente por meio antrópico mas pode, também, ser gerado a partir da reação natural das moléculas de nitrogênio e oxigênio, à altas temperaturas (Equação 5).



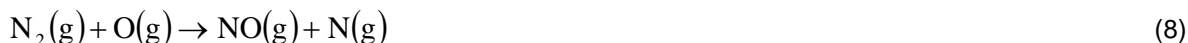
A velocidade de reação da Equação (5) aumenta proporcionalmente com o aumento da temperatura, condição que favorece altas taxas de reação na formação de NO.

O mecanismo da reação de formação de NO, através dos seus elementos constituintes (N₂ e O₂), é complexo. Tanto o oxigênio quanto o nitrogênio atômicos são formados a altas temperaturas segundo as Equações (6 e 7).





Uma vez formados, o oxigênio (O) e o nitrogênio (N) atômicos participam das reações de formação de NO (Equações 8, 9 e 10).



Para minimizar a formação de NO, a combustão envolve dois estágios que consistem na queima do combustível, a altas temperaturas, com a quantidade do ar abaixo da requerida (90 à 95%) cuja formação de NO é limitada pela ausência do oxigênio em excesso. Num segundo estágio, a queima do combustível é completa com baixa temperatura e com ar em excesso. A baixa temperatura evita a formação de NO. Em alguns processos a formação de NO é reduzida em 90% quando envolve a combustão em dois estágios (MANAHAN, 1994).

O NO agrega-se à hemoglobina do sangue e reduz a eficiência de transporte de oxigênio. A exposição a ambientes com NO, em concentrações maiores que 10 ppm, causa um decréscimo na taxa de fotossíntese nos vegetais.

Dióxido de nitrogênio. O NO₂, poluente aéreo, é um gás de coloração castanha que contribui fortemente na formação da chuva ácida. A reação mais comum deste poluente, com a água, descrita na Equação (11), é a mais utilizada na avaliação da estequiometria industrial, conforme Harrison (1993).



O dióxido de nitrogênio reage facilmente com outros componentes presentes na atmosfera. Na presença de luz, num comprimento de onda abaixo de 398 nm, sofre fotodissociação, como descrito na Equação (12) (KRUK, 1998).



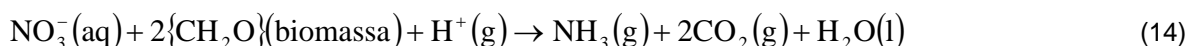
Os óxidos de nitrogênio contribuem na formação da névoa de poluente. Nos EUA a luta contra a névoa de poluentes (constituída principalmente por ozônio), chamada de "smog" é constante. O dióxido de nitrogênio, forma ozônio diretamente, quando "atacado" pela luz do sol, libera um átomo de oxigênio (Equação 12) e se une ao oxigênio molecular (O₂) para formar o ozônio (O₃) (Equação 13) (CAREY, 1994).



A exposição a ambientes com NO₂ pode ser prejudicial à saúde humana causando desde a inflamação no tecido pulmonar, bronquite até, mesmo, a morte (MANAHAN, 1994).

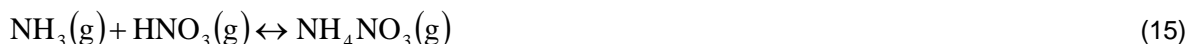
Amônia

A amônia (NH₃) é um composto gasoso inorgânico oriundo da urina animal, degradação de resíduo animal, tratamento de esgotos, produção de coque, vazamento em sistemas de refrigeração e conversão de nitratos em amônia através de bactérias, conforme a Equação (14).

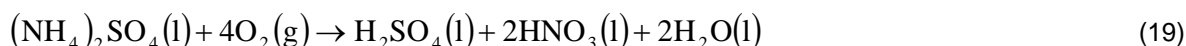


Para Manahan (1994), o aumento da concentração de amônia na atmosfera representa a perda acidental deste gás. A amônia, única base solúvel em água presente na atmosfera, é usada para a formação e

neutralização de nitratos e sulfatos. Quando dissolvida, reage com ácidos, formando sal de amônia (Equações 15, 16, 17, 18).



Pode-se observar nas Equações (15, 16, 17, 18) que as reações proporcionam a neutralização de ácidos presentes na atmosfera e a produção de sal de amônia, que são relativamente corrosivos. Além de formar sais corrosivos, quando adicionados no solo, o sal de amônia é lentamente oxidado (Equação 19), formando ácidos fortes.



Nesta avaliação, conforme as Equações 15 à 18, o processo de neutralização da amônia é temporário devido à acidificação posterior do solo que ocorre através da oxidação do sal de amônia formado. Dependendo do tempo e nível de exposição a ambientes com amônia, podem ocorrer efeitos que vão desde suaves irritações a severas lesões no corpo, devido a alcalinidade desta substância. Exposições à altas concentrações podem ser perigosas à saúde de indivíduos mais sensíveis. A exposição em concentração a partir de 2500 ppm, por aproximadamente 30 minutos, pode ser fatal. O contato com amônia líquida pode causar severas queimaduras nos olhos e pele. Extensas queimaduras podem levar à morte. A inalação pode causar dificuldades respiratórias, broncoespasmo, queimadura na mucosa nasal, faringe e laringe, dor no peito, edema pulmonar, salivação e retenção da urina. A sua ingestão causa náusea, vômitos e inchaço nos lábios, boca e laringe.

A amônia concentrada produz, em contato com a pele, necrose dos tecidos e profundas queimaduras. Contato com os olhos resulta em lacrimejamento, conjuntivites, irritação na córnea e cegueira temporária ou permanente (JÚNIOR, 1998).

Os processos de absorção são comumente empregados para a recuperação da amônia em ambientes confinados e têm mostrado resultados eficazes.

Caracterização do processo de absorção

Nos últimos anos, os altos índices de emissão de poluentes aéreos, tanto de unidades industriais quanto de veículos automotores, têm preocupado a sociedade e, conseqüentemente, os órgãos de proteção ambiental. Para minimizar o teor destes poluentes emitidos para a atmosfera, principalmente em ambientes industriais confinados, os processos e equipamentos comumente utilizados na indústria química podem ser aplicados. Destacam-se as operações unitárias de absorção como primordial para recuperação ou remoção de gases, como NH_3 , NO_x , CO_2 , CO , entre outros, presentes na atmosfera.

De um modo geral, a absorção consiste na atração exercida por uma substância sobre outra, através de potenciais químicos e físicos. A absorção de um gás ocorre mediante a dissolução de um ou mais componentes de uma mistura gasosa num líquido. Este processo pode envolver fenômenos puramente físicos ou envolver a absorção do gás no líquido seguido por uma reação química.

O equipamento usado para o processo de absorção pode ser uma coluna com pratos, utilizado neste trabalho, ou recheios ou uma coluna com dispersão (pulverização) do líquido cuja função é aumentar a área de contato líquido-gás. Em geral, nestes equipamentos, o gás e o líquido escoam em contracorrente para proporcionar maior eficiência de transferência de massa (Figura 1).

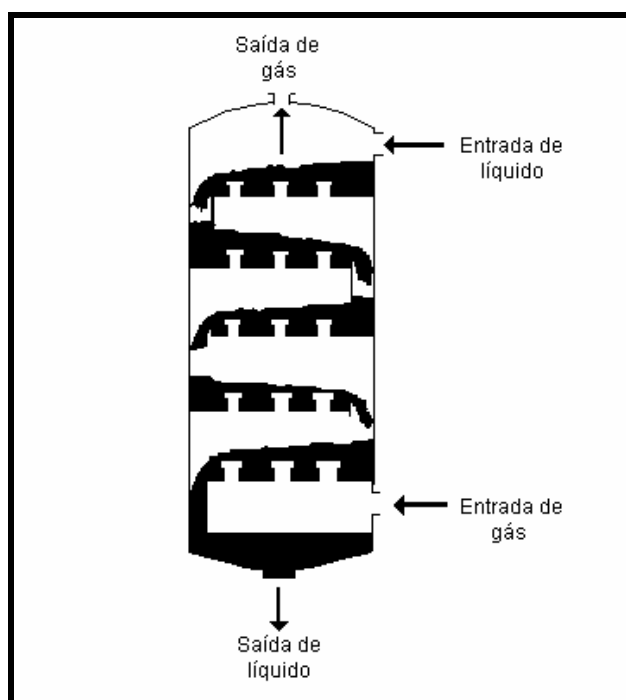


Figura 1: Coluna de absorção com pratos

As operações de transferência de massa são analisadas por meio de modelos físicos simples, reproduzindo a ação da operação mediante modelos matemáticos. Os objetivos são a purificação de soluções líquidas ou gasosas diluídas, principalmente quando aspectos ecológicos são considerados. Na absorção, segundo Krishnamurthy e Taylor (1986), a maior resistência à transferência de massa é oferecida pela fase líquida para componentes com baixa solubilidade e pela fase gasosa para componentes com alta solubilidade.

No transporte de massa, no processo de absorção física, o soluto se difunde através do gás interfacial que então se difunde no seio da fase líquida. O primeiro modelo proposto para descrever os fenômenos de transferência de massa na interface líquido-gás foi descrito por Whitman e Lewis (1923) e por Lewis (1924) o qual permitiu o desenvolvimento da teoria dos dois filmes.

Nesta teoria é suposta a existência de um filme estagnante na interface. No modelo, um componente da fase gasosa é transferido, para a fase líquida, através da interface comum. Na interface, não há resistência à transferência de massa e os conceitos de equilíbrio são aplicados baseados na Lei de Henry, conforme a Equação (20).

$$p_{A_i} = H C_{A_i} \quad (20)$$

Onde H é a constante de Henry (atm m/kmol), p é a pressão parcial (atm) e C é a concentração do soluto na fase líquida (kmol/m³).

Para o cálculo dos fluxos de transferência de massa (N) nas fases líquida e gasosa, são utilizadas as Equações (21 e 22).

$$N_{AG} = k_G (p_A - p_{A_i}) \quad (21)$$

$$N_{AL} = k_L (C_{A_i} - C_A) \quad (22)$$

Onde k_G e k_L são os coeficientes binários de transferência de massa na fase gasosa e na fase líquida (kmol/m².s), respectivamente.

Metodologia

Para obtenção dos resultados e verificação dos conceitos de absorção, foi utilizado o simulador comercial PROCESS PROVISION PRO/II. Na simulação, o sistema utilizado foi a mistura ar-amônia-água e avaliou-se a influência da relação de vazão do solvente e do soluto (S/F) para a determinação do número de estágios ótimos. Para isto, fixou-se numa primeira etapa, as vazões de alimentação do gás (100 kgmol/h) e modificou-se as vazões de alimentação do solvente (de 50 à 400 kgmol/h) e, na segunda etapa do processo, fixou-se a vazão de alimentação do solvente (100 kgmol/h) e modificou-se a vazão de alimentação do gás (de 50 à 400 kgmol/h), condições que permitiram estabelecer a relação S/F ótima. As condições de operação, para cada avaliação, estão descritas na Tabela 1, na qual a vazão de solvente foi a variável explorada e que permitiu estabelecer uma relação ótima com relação à vazão de alimentação.

Tabela 1: Condições de operação do processo de absorção

Correntes	Componentes	Fração Alimentação	Temperatura Alimentação (C°)	Vazão (kgmol/h)
Gás	Amônia	0,1	30,0	100
	Ar	0,9		
Solvente	Água	1,0	30,0	Variável

Resultados e discussão

Estratégia para determinação do número de estágios ótimos

Avaliou-se a influência do número de estágios sobre a capacidade de recuperação de amônia, baseada nas frações molares deste componente, no topo da coluna, para diversas relações entre as vazões do solvente (S) e as vazões do gás (F), relação S/F, e que permitiram definir o número mínimo de estágios necessários para a operação desejada. As condições de operação, para cada avaliação, foi a variável explorada e que permitiu estabelecer uma relação ótima com relação à vazão de alimentação.

Os resultados das simulações, estão descritos nas Figuras 2 e 3, para a fase gasosa, nas quais se observa que com a diminuição do número de estágios e baixa relação S/F a recuperação da amônia é reduzida em função da diminuição do tempo de contato líquido-gás, na superfície do prato, decorrente da diminuição da altura da crista sobre o vertedor, além da área reduzida de transferência de massa causada pela redução do número de estágios na coluna.

Com o aumento do número de estágios ocorre a estabilização das frações de amônia nos estágios do topo da coluna, causada pela inalteração das taxas de transferência de massa oriunda da redução da força motriz entre as fases. Com o aumento das vazões do solvente, aumenta a recuperação devido ao incremento do tempo de contato líquido-gás (Figura 2(c) – 3(d)). Para valores maiores da relação S/F consegue-se alcançar uma recuperação de 99,7% recomendado na literatura para equipamentos de absorção física (Figura 3(e) – (h)).

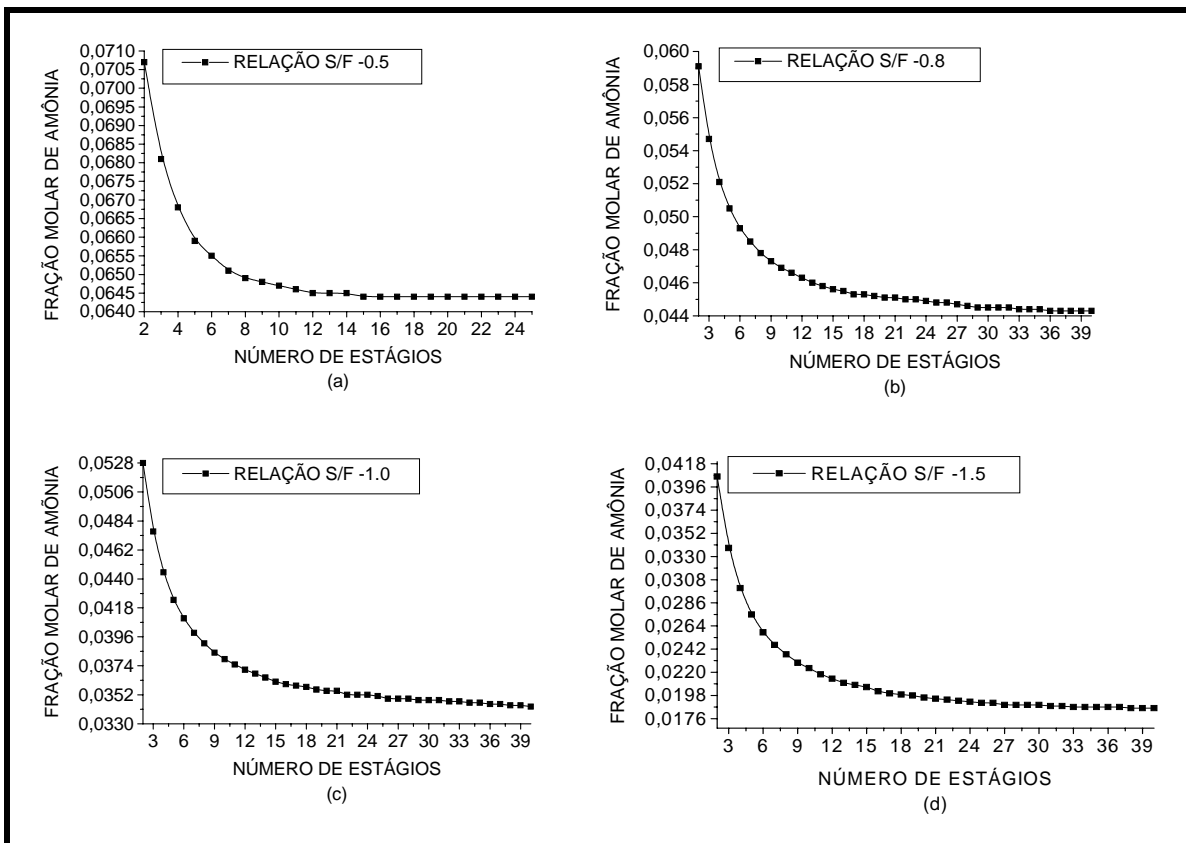


Figura 2: Fração molar de amônia no último estágio [Relação S/F: 0,5 (a); 0,8 (b); 1,0 (c); 1,5 (d)]

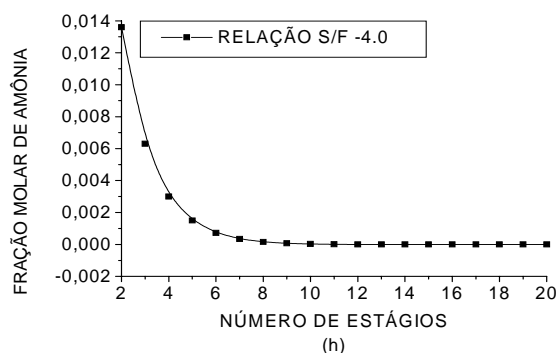
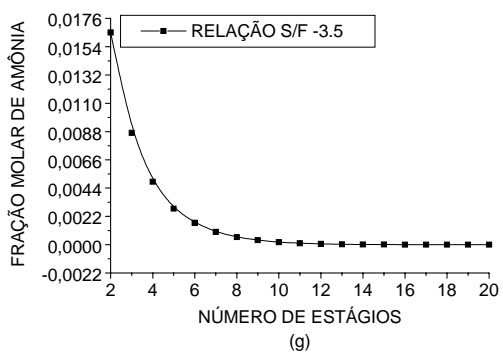
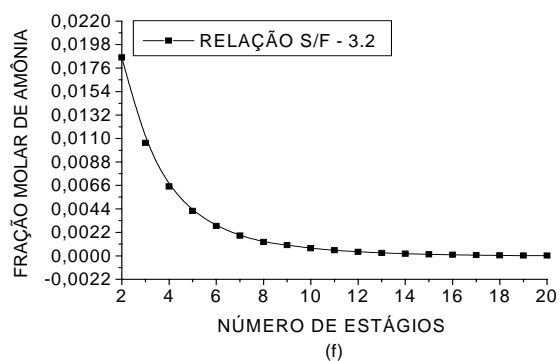
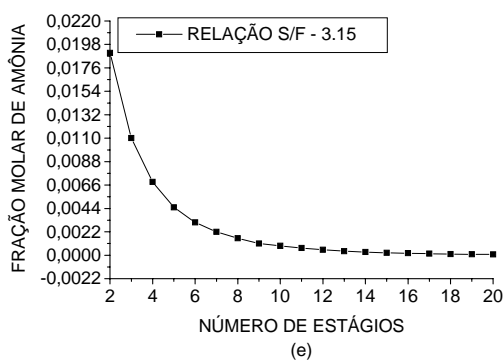
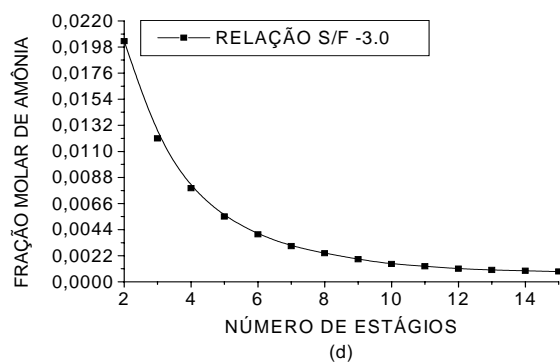
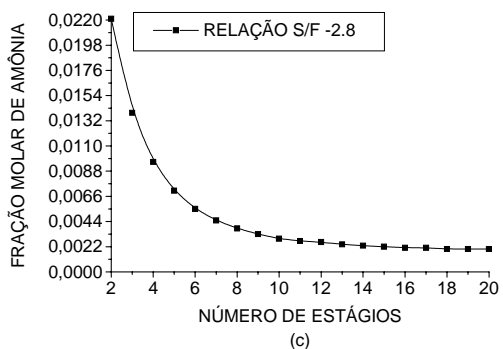
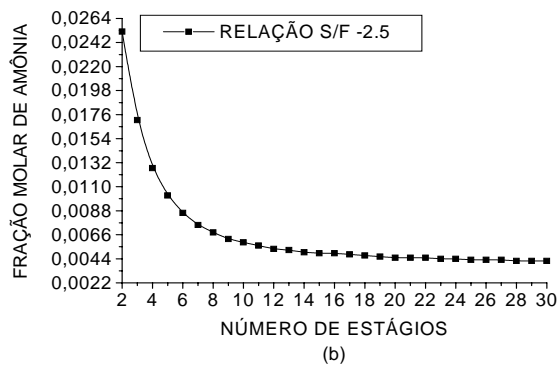
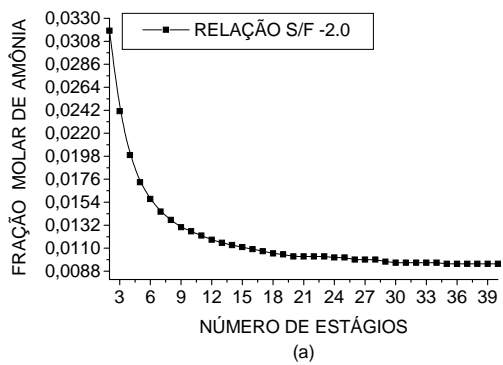


Figura 3: Fração molar de amônia no último estágio [Relação S/F: 2,0 (a); 2,5 (b); 2,8 (c); 3,0 (d); 3,15 (e); 3,2 (f); 3,5 (g); 4,0 (h)]

Com estas avaliações pode-se definir as condições ótimas de operação de uma coluna de absorção (relação S/F) e estabelecer o número de estágios ótimos necessários para a operação desejada, parâmetros essenciais no desenvolvimento de processos de absorção industrial.

Com os resultados obtidos, pode-se avaliar as taxas de recuperação (Equação 23) da amônia na corrente gasosa. Esta avaliação permitiu identificar a influência da relação S/F sobre a capacidade de operação da coluna e a eficiência de transferência de massa neste equipamento industrial.

$$R = \frac{y_B - y_T}{y_B} \quad (23)$$

Para melhor interpretar os resultados deste trabalho, a Tabela 2 apresenta a porcentagem de recuperação de amônia para os estágios 8, 10, 13 e 14 e para três diferentes relação S/F, na qual constata-se que a recuperação máxima (99,9%) é obtida na coluna com 13 estágios somente para a relação S/F = 3,5, enquanto que para as demais relações S/F uma recuperação maior só é possível com o aumento do número de estágios. Baseada nesta avaliação, definiu-se a coluna com 14 estágios como o número ótimo de pratos para a operação da coluna de absorção. Contudo a capacidade de recuperação depende do número de estágios usados e da relação S/F, isto é, com o aumento da relação S/F aumenta as taxas de recuperação no processo de absorção.

Tabela 2: Taxas de recuperação para diversas relações S/F

Relação S/F	Recuperação (%)			
	Estágio 8	Estágio 10	Estágio 13	Estágio 14
3,15	98,4	99,1	99,6	99,7
3,2	98,7	99,3	99,7	99,8
3,5	99,4	99,8	99,9	99,9

Na Figura 4, observa-se que a capacidade de recuperação depende do número de estágios usados e da relação S/F, isto é, com o aumento da relação S/F aumenta as taxas de recuperação no processo de absorção.

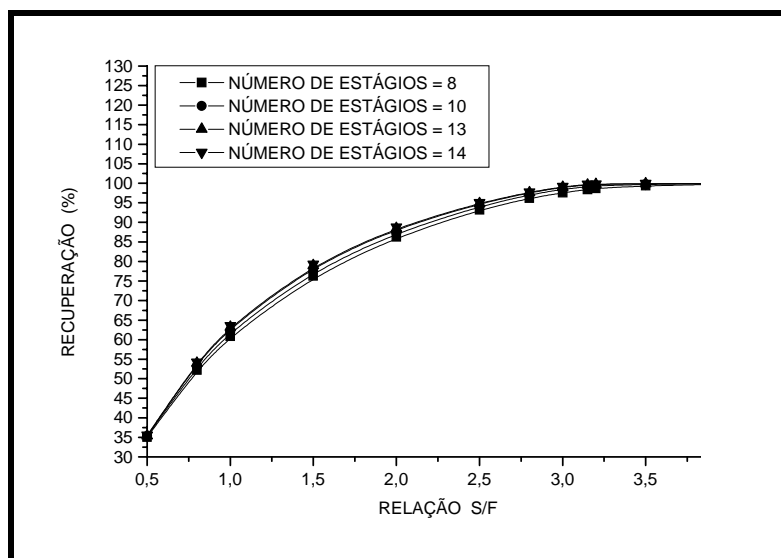


Figura 4: Relação entre S/F e a recuperação para os estágios determinados

Conclusão

Com os resultados obtidos observa-se a existência de diversos parâmetros de processo de grande relevância na absorção física da amônia.

O número de estágios, na coluna de absorção influencia consideravelmente na recuperação do poluente. Quanto menor o número de estágios, para uma dada relação S/F, maior a fração de amônia no topo da coluna devido a diminuição do tempo de contato líquido-gás, decorrente da diminuição da altura da crista sobre o vertedor, além da reduzida área de transferência de massa causada.

Quanto maior a relação S/F, parâmetro de grande relevância nos processos de absorção, menor a fração de amônia no estágio do topo pois, nesta condição de operação, aumenta a intensidade de borbulhamento entre as fases líquida e gasosa.

A recuperação na coluna de absorção aumenta à medida que se ascende na coluna pois, nos pratos do topo, a fração molar de amônia, na fase gasosa, é pequena e inexistente na fase líquida o que faz com que aumente a força motriz entre as fases, facilitando a transferência de massa.

Tomando-se como base tais resultados, observou-se que o processo de absorção de gases pode ser utilizado como uma opção para a minimização da concentração de poluentes atmosféricos. Para isto, a percepção deste conceito deriva de uma profunda conscientização da sociedade, em especial as grandes corporações empresariais e sociais que ainda admitem os conceitos do mundo obsoleto. Assim, acredita-se que o estabelecimento de novas concepções tecnológicas seja uma busca constante de estratégias para o desenvolvimento de tecnologias ambientais capazes de redimir a emissão de gases tóxicos para atmosfera ou recuperar os gases emitidos condições que favorecem a solução de problemas ambientais.

Nomenclatura

A°	Angstrom
C	Concentração do soluto na fase líquida (kmol/m ³)
H	Constante de Henry (atm m/kmol)
k	Coefficiente de transferência de massa (kmol/m ² .s)
N	Fluxo de transferência de massa entre as fases (mol/s)
p	Pressão parcial (atm)
y	Fração molar do componente na fase gasosa

Subscritos

A, j	Componente
i	Interface
B	Base
G	Fase gás
L	Fase líquida
T	Topo

Sobrescritos

G	Gás
L	Líquido

Referência Bibliográfica

- ALMEIDA, R.S., RIBEIRO, M.A.C.(1993). **Algumas questões sobre a industrialização brasileira e seus impactos ambientais em dois espaços macrorregionais**; Geografia e Questão Ambiental. Fundação da Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.Rio de Janeiro. pp. 49-84,.
- CAREY, J.(1994) "EUA intensificam ataque contra o ozônio"; **Gazeta Mercantil**, 02 out. p. 5. col. 3-8.
- EULÁLIO, G.; SILVA, N. (1991) "A chuva ácida e a poluição da atmosfera". **Jornal do Brasil**, Rio de Janeiro, 13 maio. Caderno 1, p. 9.
- FILIAGE M. A.(1989). "Sua saúde depende deste abaixo assinado. Assine." **Jornal da Tarde**, Rio de Janeiro: 03 jul. Coluna 1-5, p. 28.
- HARRISON, R. M.(1992) **Understanding our environment: an introduction to environmental and pollution**. 2. ed.
- HARRISON, R. M.(1993). **Pollution: causes, effects and control**. 2. ed.
- JÚNIOR, C. P. R. **Vivemos os últimos anos do juízo final**. Disponível em: < <http://www.msantunes.com.br/juizo/oefeito.html> > Acesso em: 05/08/1998.
- KRISHNAMURTHY, R., TAYLOR, R (1986).; Simulation of packed distillation e absorption columns; **Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.**, vol. 64, pp. 96.
- KRUK, I.(1998). **Environmental toxicology and chemistry of oxygen species**. v. 2.
- LEITE, A. B. (2001). **Processos de absorção de gases: simulação numérica e relevância ambiental**. Blumenau, FURB (Dissertação de Mestrado).
- LEWIS, G. N.; RANDAL, M.(1924). **Thermodynamics and free energy of chemical substance**. 1. ed. New York: McGraw Hill.
- LOU, J.C. , CHUNG,K.F., CHEN, K.S (1993). An optimization study of total emission controls for particulate pollutants; **Journal of Environmental Managemant**, pp. 17-28, vol.43.
- MANAHAN, S. E.(1994); **Environmental chemistry**. 6. ed. 1994.
- PAVAN, C.(1989). "A natureza e a sociedade humana". **Folha de São Paulo**, Caderno 1, 09 jan., pp. 3, col. 1-4.
- PEREIRA, L. A. Disponível em: < <http://www.cetesb.com.br> > Acesso em: 28/07/2000.
- RAMIRO, F. Disponível em: < <http://www.RAMIROFRANCISCO.vila.bol.com.br> > Acesso em: 15/05/2000.
- TARDIFF, R. G.; RODRICKS, J. V.(1987). **Toxic. Substances and human risk**. New York: Plenum press.
- WHITMAN, W. G.; LEWIS, W. K.(1923). Principles of gas absorption. **Ind. Chem.** v. 16 (12), p. 1215.