

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

MAURICIO ANDRADE NUNES

**INFLUÊNCIA DO RECHEIO E TIPO DE DISTRIBUIDOR NA EFICIÊNCIA DE
UMA COLUNA DE ABSORÇÃO DE CO₂**

**SANTOS/SP
2015**

MAURICIO ANDRADE NUNES

**INFLUÊNCIA DO RECHEIO E TIPO DE DISTRIBUIDOR NA EFICIÊNCIA DE
UMA COLUNA DE ABSORÇÃO DE CO₂**

Dissertação apresentada à
Universidade Santa Cecília como
parte dos requisitos para obtenção
do título de mestre no Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, sob orientação do Prof.
Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e
coorientação da Prof^a. Dra. Marlene
Silva de Moraes.

**SANTOS/SP
2015**

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Nunes, Mauricio Andrade.

Influencia do recheio e do tipo de distribuidor na eficiência de uma coluna de absorção de CO₂

/ Mauricio Andrade Nunes - 2015.
50p.

Orientador: Dr. Deovaldo de Moraes Junior.

Coorientador: Dr.^a Marlene Silva de Moraes

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2015.

1. Coluna de absorção. 2. Projetos de colunas. 3. recuperação de CO₂

I. Moraes Jr., Deovaldo. II. Moraes, Marlene Silva

III. **Influencia do recheio e do tipo de distribuidor na eficiência de uma coluna de absorção de CO₂.**

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Lauricio Nunes e
Eliana Santos de Andrade Nunes
por todo o zelo, carinho e paciência
ao longo da vida e a todos os
familiares pela compreensão e
incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos orientadores Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e Dra. Marlene Silva de Moraes e coorientadores MSc. Vitor da Silva Rosa e MSc. Sergio Ferreira por todo o conhecimento transmitido, amizade, conselhos e por mostrarme o caminho do sucesso e de melhorar como pessoa.

Aos técnicos Volnei de Lemos, Gilmar Alcântara e Irineu Penha da Ressurreição por toda ajuda com os equipamentos, por suas disposições, humildade, talentos e amizade.

À graduanda Kauana Martins Iglesias e à estagiária Natália Silva Santos pela ajuda com os inúmeros ensaios, pela companhia e principalmente por toda a boa vontade e alegria que tinha todas as manhãs.

Aos amigos e colegas que incentivaram e confortaram com palavras e gestos ao enfrentar dificuldades ao longo do trabalho. À Marina Camargo Lescreck pelo apoio e inspiração nesse período e a Bruna de Souza Perez por toda a ajuda.

Às secretarias do curso de mestrado Sandra Helena Aparecida de Araújo e Imaculada Conceição Scorza de Souza por toda a simpatia, atenção e suporte.

À Universidade Santa Cecília pela infraestrutura e possibilidade de realização deste trabalho.

RESUMO

A concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera teve um aumento significativo ao longo dos últimos séculos, sendo que nos dias atuais a indústria representa grande parcela de toda a emissão gerada por atividade humana. A coluna de recheio com distribuidor de líquido no topo é um equipamento consagrado na absorção de gases como CO_2 . A literatura é carente de dados que relacionam o tipo de distribuidor de topo e a sua distância até o recheio com a eficiência de remoção de CO_2 . O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de uma coluna de absorção de CO_2 variando a altura e o tipo de distribuidor de líquido e a altura do recheio. Os ensaios foram realizados numa coluna de absorção em escala piloto usando vazões fixas dos fluidos, sendo 25 l/min de CO_2 , 20 l/min de ar e 2 l/min de água destilada a uma temperatura média de 21°C , permanecendo operando por 5 minutos. Foram estabelecidas modificações na altura do recheio (anéis de Raschig de $10 \times 10 \text{ mm}$) da coluna, na distância do distribuidor de líquido do recheio e no tipo de distribuidor usado, formando 12 possíveis combinações as quais foram feitas em triplicata e em três blocos totalizando 108 ensaios. Após cada ensaio, as amostras retiradas da coluna foram analisadas pelo método de Warder para quantificar o CO_2 contido e para determinar o percentual de recuperação do CO_2 e quantificar o desempenho da operação. Através de uma análise fatorial concluiu-se que o arranjo com maior eficiência de recuperação de CO_2 era composto pela altura de recheio equivalente a 2 diâmetros da coluna, a altura do distribuidor com 1 diâmetro de distância do recheio e utilizando-se o distribuidor do tipo ramificado (espinha de peixe).

Palavras-Chave: Coluna de absorção. Projetos de colunas. Recuperação de CO_2 , distribuidor de líquido.

ABSTRACT

The CO₂ concentration in the atmosphere has been increasing significantly along the centuries, and these days the industry represents a large amount of the emissions generated by human activity. The filling column top liquid distributor is a dedicated device for absorbing gases such as CO₂. The literature lacks data relating to top distributor type and its distance to the filling with CO₂ removal efficiency. This study aims to evaluate the efficiency of CO₂ absorption column by modifying the height, the liquid dispenser type and the filling height. The tests were fulfilled in a pilot scale absorption column using fixed flow of fluid, 25L/min of CO₂, 20 L/min of air and 2 L/min of distilled water at an average temperature of 21°C, remaining operating for 5 minutes. Modifications have been established in the column filling height (Raschig rings 10x10mm), in the distance from the liquid dispenser height of the filling, and the type of dispenser used, making 12 possible combinations which were made into triplicate and in 3 trials totalizing 108 tests. After each test, the samples withdrawn from the column were analyzed by using the Warder Method to measure the CO₂ contained and from that establish the percentage of CO₂ recovery, coupled to compare the performance of the column. Through a factor analysis it was concluded that the design with higher CO₂ recovery efficiency was composed of the filling height equivalent of 2 diameters of the column, the dispenser height with a distance of a diameter from the filling using the dispenser of the branched type (herringbone).

Keywords: Absorption column. Projects columns. CO₂ recovery, liquid distributor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1A	Tabela de gases e seus efeitos na temperatura média	13
Figura 1B	Concentração média dos gases estufa por ano	13
Figura 2	Imagem mapeada da Terra com a escala do aumento térmico	14
Figura 3	Aumento da temperatura média do planeta	14
Figura 4	Emissão de CO ₂ equivalente de cada setor	15
Figura 5	Mecanismo de reação para captura de CO ₂ através de soluções a base de aminas	16
Figura 6	Modelo esquemático de uma coluna de recheio rotativo	17
Figura 7A	Correntes em uma coluna de recheio fluxo concorrente	18
Figura 7B	Correntes em uma coluna de recheio fluxo contra corrente	18
Figura 8A	Tipos de distribuidores chapa perfurada	19
Figura 8B	Tipos de distribuidores tubos perfurada	19
Figura 9A	Recheios aleatórios Cascade Mini-Rings e Fleximax	20
Figura 9B	Recheios aleatórios <i>Pall Rings</i>	20
Figura 9C	Recheios aleatórios IMTP	20
Figura 9D	Recheios aleatórios <i>Nutter Ring</i>	20
Figura 10	Seção de recheio estruturado	20
Figura 11	Coluna de absorção usada nos ensaios	23
Figura 12A	Distribuidor espinha de peixe	24
Figura 12B	Distribuidor tubo único	24
Figura 13	Modelo esquemático da coluna	24
Figura 14	Curva de pH do carbonato de sódio	26
Figura 15A	Variações da coluna com altura de recheio de 1 diâmetro	28
Figura 15B	Variações da coluna com altura de recheio de 2 diâmetro	29
Figura 16	Curva normal e resíduos	31
Figura 17	Efeitos combinados dos parâmetros	31
Figura 18	Efeitos dos parâmetros, combinados dois a dois	32
Figura 19	Intensidade dos efeitos	32
Figura 20	Cubo com graus de recuperação	33
Figura 21	Pareto dos parâmetros	34

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1	Combinação dos parâmetros avaliados	27
Tabela 1	Resultados da recuperação média de CO ₂	30
Tabela 1 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo A	39
Tabela 2 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo B	40
Tabela 3 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo C	41
Tabela 4 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo D	42
Tabela 5 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo E	43
Tabela 6 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo F	44
Tabela 7 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo G	45
Tabela 8 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo H	46
Tabela 9 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo I	47
Tabela 10 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo J	48
Tabela 11 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo K	49
Tabela 12 do Apêndice A	Resultados dos ensaios de arranjo L	50

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Temperatura em graus Celsius
CO ₂	Dióxido de Carbono
C _{CO₂}	Concentração de Dióxido de carbono
GEEs	Gases de Efeito Estufa
H ₂ O	Água
H ₂ CO ₃	Ácido Carbônico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
L/min	Vazão volumétrica
mL	Mililitros
N	Normalidade
NaOH	Hidróxido de Sódio
NaHCO ₃	Hidrogenocarbonato de Sódio (Bicarbonato de Sódio)
Na ₂ CO ₃	Carbonato de Sódio
Na ₂ SO ₄	Sulfato de Sódio
ONU	Organização das Nações Unidas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
ppm	Parte por milhão
ppb	Parte por bilhão
V ₁	Volume gasto na titulação até a viragem da fenolftaleína
V ₂	Volume gasto na titulação até a viragem do alaranjado
V _m	Volume da amostra analisada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Generalidades	12
1.2 Objetivos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A poluição atmosférica e o aumento da concentração de CO ₂	13
2.2 Contribuição dos setores econômicos e políticas de mitigação	15
2.3 Tecnologias de tratamento de efluentes gasosos	16
2.4 Tecnologia de Absorção	17
2.5 Componente de uma coluna de absorção	19
2.6 Análises da capacidade de absorção	21
2.7 Planejamento fatorial	22
3. MATERIAL E MÉTODO	23
3.1 Material	23
3.2 Método	25
3.3 Planejamento dos ensaios	27
4. RESULTADOS	30
4.1 Descrição e organização das respostas	30
4.2 Resultados estatísticos	31
5. CONCLUSÃO	35
6. SUGESTÕES	35
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 36
 APÊNDICE	 39

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O impacto ambiental da atividade humana, especialmente industrial e agrícola vem se tornando cada vez mais evidente ao longo dos anos, principalmente a poluição atmosférica, causando mudanças climáticas como aumento da temperatura média do planeta e redução da qualidade do ar (NOBRE et al., 2012).

Segundo IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change International (IPCC-CLIMATE CHANGE, 2013), o principal agente de mudanças climáticas, e com maior participação no cotidiano urbano, o dióxido de carbono (CO_2), tem a indústria como responsável por 50% das emissões, juntando formas diretas e indiretas de emissão.

A coluna de absorção é um dos principais equipamentos de mitigação de emissão de poluentes gasosos. A eficiência desse equipamento está diretamente relacionada com suas dimensões, tipo e altura do recheio, distância do recheio ao distribuidor e tipo de distribuidor. São poucos os dados na literatura relacionando a distância entre o distribuidor e o recheio, o tipo de distribuidor e a altura do recheio com a eficiência de absorção de CO_2 .

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi verificar quais as influências no desempenho de diferentes arranjos da coluna, a partir das modificações de parâmetros como altura de recheio, tipo de distribuidor e altura de distribuidor, a partir de análises estatísticas comparativas.

Como objetivo específico o trabalho visou desenvolver o método de Warder para analisar o CO_2 .

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A poluição atmosférica e o aumento da concentração de CO₂

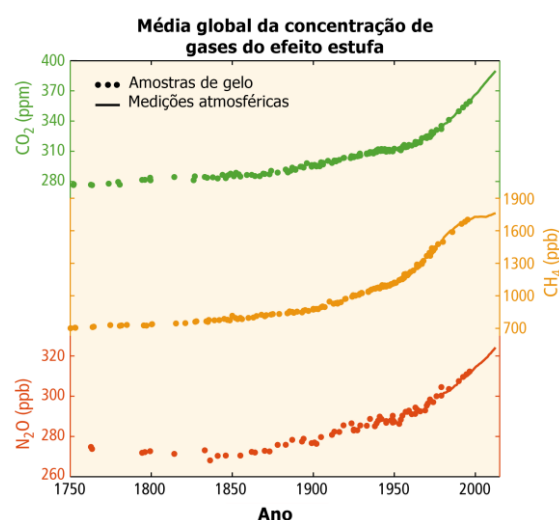
Entre os efluentes gerados por todas as atividades industriais, agrícolas ou urbanas, os gases são os de maior dificuldade de tratamento e contenção, sendo o CO₂ o mais abundante dentre os gases de efeito estufa (GEEs) e o diretamente ligado ao desenvolvimento da civilização humana, pois as emissões de CO₂ e a temperatura da Terra nas últimas três décadas são as maiores da história (IPCC - CLIMATE CHANGE 2013).

O efeito estufa natural é um fator de indubitável importância para a vida na Terra, servindo de manutenção térmica para a biota. Devido à distância da Terra ao sol sua temperatura média tenderia a ser por volta de -18°C, porém a energia retida pelos gases de efeito estufa contribuiu com um acréscimo de temperatura em 32°C aproximadamente, deixando a Terra com uma temperatura média em torno dos 14°C. O vapor de água é o fluido com maior influência na contenção da radiação solar na superfície da Terra, sendo responsável sozinho por 20°C dos 32°C de crescimento, devido à concentração de vapor de água gerados pelos oceanos, mares e rios (NOBRE et al., 2012).

O CO₂ possui relevante influente no aquecimento global, representando 7°C dos 32°C (NOBRE et al., 2012) (Figura 1A), tendo como fator agravante que sua concentração na atmosfera aumenta continuamente com a atividade humana, podendo ser visto a progressão nos últimos 250 anos indicando um aumento de 40% (IPCC - CLIMATE CHANGE 2014) (Figura 1B).

GASES DO EFEITO ESTUFA	ΔT
Vapor D'água	20 °C
Dióxido De Carbono	7 °C
Ozônio	2 a 3 °C
Óxido Nitroso (N ₂ O, Derivados)	1,4 °C
Metano	0,8 °C
Demais Gases	0,6 °C

(A)



(B)

Figura 1 - A) Gases e sua influência no aumento de temperatura do planeta; Fonte : (NOBRE et al., 2012). B) Concentração média dos gases estufa ao longo dos anos Fonte: (IPCC – CLIMATE CHANGE 2014)

O aumento significativo da concentração do CO₂ na atmosfera alterou a contribuição natural desse gás na temperatura do planeta, chegando a acrescentar 0,85°C na média da temperatura da Terra nos últimos 160 anos, e em pontos específicos do planeta, principalmente em terra, esse acréscimo atinge o dobro desse valor (Figura 2), tendo nas ultimas três décadas uma taxa de aumento na casa dos 0,2°C por década, obtida em análise gráfica feita pelo IPCC (IPCC - CLIMATE CHANGE 2007) (Figura 3).

**Mudanças observadas na temperatura média da superfície da Terra
1901–2012**

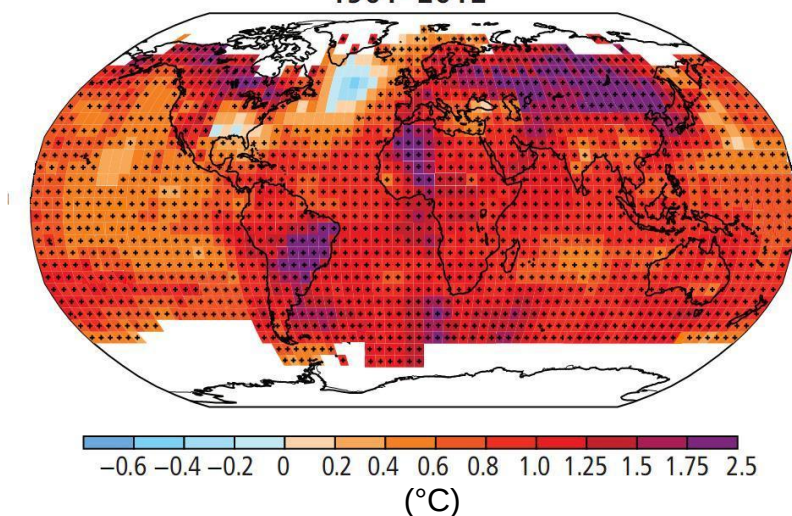


Figura 2 - Mudanças observadas na temperatura média da superfície da Terra.
Fonte: (IPCC – CLIMATE CHANGE 2014)

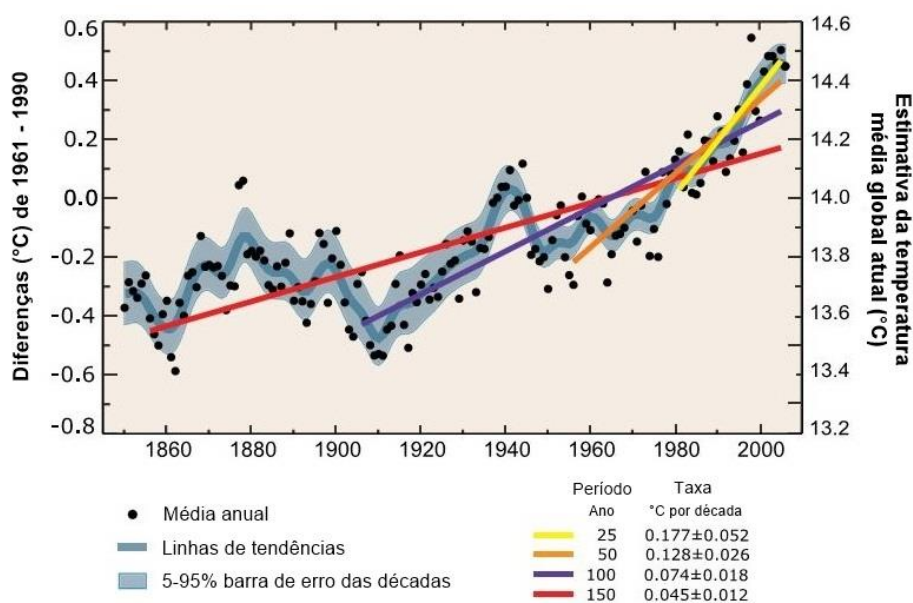


Figura 3 - Aumento da temperatura média do planeta.
Fonte: (NOBRE et al., 2012)

2.2 Contribuições dos setores econômicos e políticas de mitigação

Os setores que mais contribuem na emissão de gases de efeito estufa na atmosfera são as indústrias, com queima de combustíveis fósseis e processamento e a construção civil compondo juntas 50% de toda a emissão no planeta, agregando as emissões indiretas (IPCC - CLIMATE CHANGE 2013) (Figura 4).

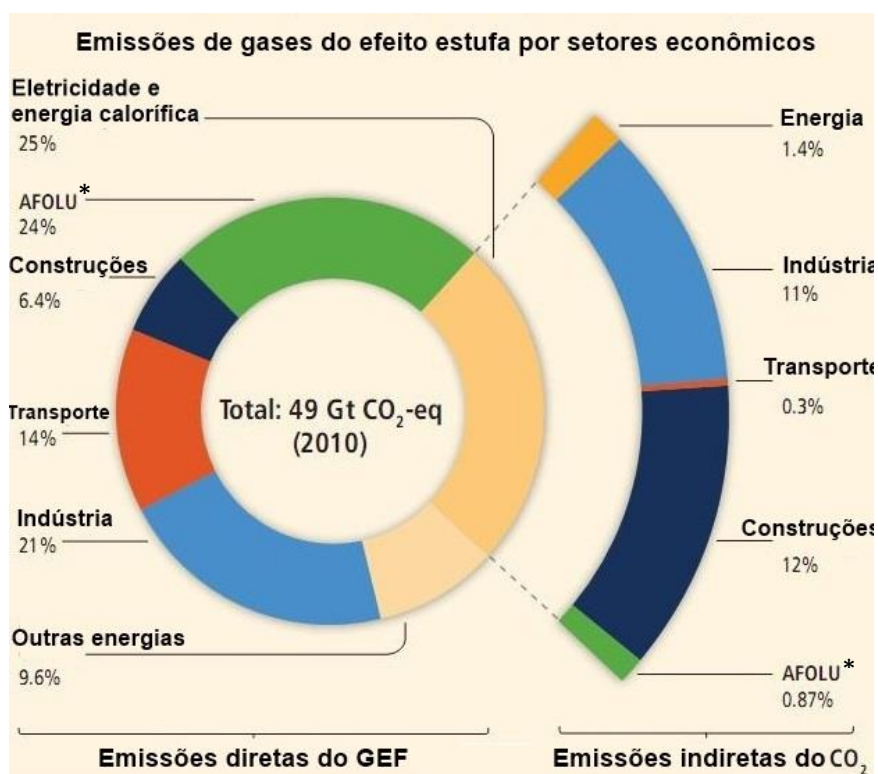


Figura 4 – Emissão de gases do efeito estufa equivalente de cada setor econômico.

*AFOLU – agricultura, silvicultura e outros usos da terra.

Fonte: (IPCC - CLIMATE CHANGE 2013)

Políticas de mitigação de emissões começaram a ser relacionadas e vistas com maior relevância, mobilizando chefes de Estado e representantes de todas as nações para debater sobre impactos ambientais. Em 1972 na cidade de Estocolmo na Suécia a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a primeira conferência sobre meio ambiente a qual culminou com a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (DAMIN, 2013).

Devido aos acontecimentos históricos e crises econômicas, o assunto meio ambiente ficou em segundo plano até o termino da guerra fria em 1989; entretanto na década de 90 esse assunto voltou à pauta e dezenas de conferências foram realizadas até os dias atuais, dando destaque ao Protocolo de Kyoto realizado em 1998 no Japão, tratando-se de um tratado internacional de metas para redução de emissões e controle de poluentes atmosféricos.

2.3 Tecnologias de tratamento de efluentes gasosos

As tecnologias para recuperação, contenção e controle de efluentes gasosos na indústria, baseiam-se principalmente em duas técnicas físico-químicas a adsorção e a absorção. Para a adsorção, forças de Van der Waals, polaridade e superfície de contato funcionam como força motriz, e ocorre entre um fluido e um sólido (RAHMAN et al., 2013), enquanto que na absorção a afinidade química e o grau de solubilidade dos compostos são os agentes de força motriz, que ocorre entre fluidos. Entre os compostos adsorventes mais comuns temos o carvão ativado, cujo principal aplicação é para a adsorção de compostos orgânicos, mediante sua vasta superfície de contato. O composto absorvente mais usado e estudado para processos de absorção de CO_2 é a monoetanolamina (MEA), por possuir uma alta capacidade de absorção do CO_2 , obtendo a formação de carbamatos e bicarbonatos (Figura 5). Para redução do consumo de absorvente, a solução de MEA necessita ser reciclada, entretanto esse processo demanda de pesado maquinário e alto consumo de energia tornando-o geralmente pouco econômico (IDEM et al, 2006). A dietanolamina (DEA) e a metildietanolamina (MDEA) também são comumente usados como solvente e possuem a mesma característica que a MEA, e o mesmo modelo de mecanismo de reação entre o CO_2 e as aminas.

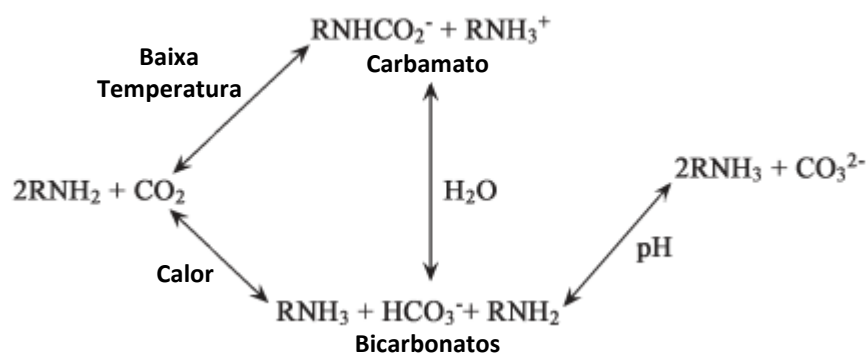


Figura 5 – Mecanismo de reação para captura de CO_2 através de soluções a base de aminas (GRAY et al., 2005)

A água destilada é largamente utilizada como um solvente devido ao seu baixo custo e por solubilizar uma grande quantidade de componentes, servindo como parâmetro e solução teste. A coluna de recheio é um dos equipamentos comumente empregados para se efetuar tanto absorção quanto adsorção de compostos envolvendo gases, pelo fato de admitir as duas técnicas sem exigir

grandes modificações no equipamento e podendo alcançar eficiências próximas de 95% para ambos os casos se projetado adequadamente (MC CABE et al., 2005).

As colunas de recheio rotativo (RPB) é uma alternativa para processos de absorção cujo razão entre o fluxo gasoso perante o líquido são maiores (RAMSHAW, 1983), visto que esse tipo de coluna possui menor tendência a inundações graças à força centrífuga imposta ao líquido pelos mecanismos da coluna de recheio rotativo, que pode superar em muito a força gravitacional atuante na coluna de recheio tradicional, entretanto essas colunas não admitem grandes cargas de fluidos por possuir em geral estruturas menores, um modelo esquemático pode ser visto na figura 6.

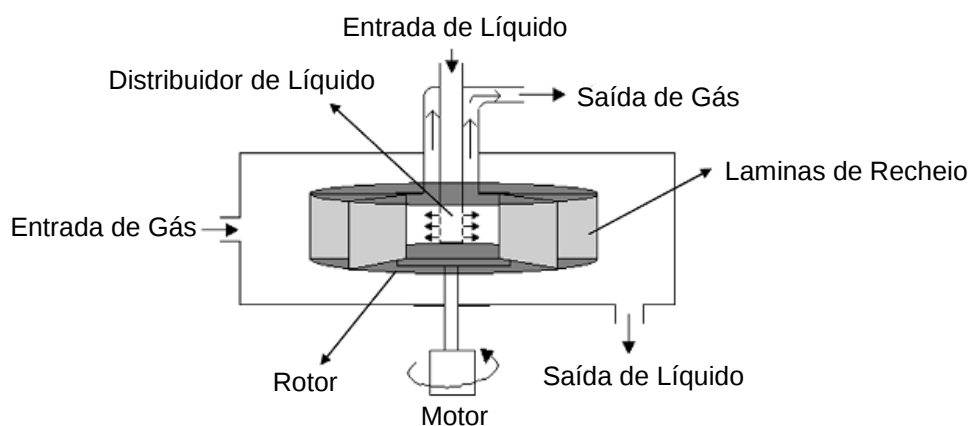


Figura 6 – Modelo esquemático de uma coluna de recheio rotativo (RPB) (LIN, 2015).

2.4 Tecnologias de Absorção

A absorção é uma operação unitária em que um ou mais componentes gasosos são retidos em um líquido, desde que seja solúvel nesta, podendo a absorção ser categorizada como física ou química. Absorção física ocorre quando o composto absorvido dissolve no solvente sem reações químicas de transformação, apenas dissociações iônicas. A absorção química ocorre quando os compostos absorvidos reagem com o solvente formando novos compostos. A absorção, como método de controle de poluentes gasosos, deve se atentar a diversos fatores, entre eles a disponibilidade dos solventes e seus custos, a eficiência do processo e o destino do solvente saturado. As propriedades das correntes assim como características particulares do poluente e do solvente, tais como, viscosidade, difusividade, densidade, difusividade e solubilidade podem afetar o desempenho da

capacidade de absorção, segundo a *United States Environmental Protection Agency* (U.S. EPA, 1991).

O processo de absorção é uma operação de transferência de massa, portanto, a taxa de transferência de massa entre o líquido e o gás é altamente dependente da superfície de contato e do tempo de contato. Fatores como solubilidade do gás no solvente e a velocidade da reação química, são característicos dos compostos envolvidos e são independentes do equipamento (U.S. EPA, 2002).

Colunas de absorção podem operar com fluxos em duas condições principais diferentes: contracorrente e concorrente (Figura 7). O *desing* mais utilizado é a coluna com as suas correntes opostas (contracorrente), contendo a corrente gasosa alimentando a coluna pela parte inferior e abandonando-a pelo topo, enquanto o solvente vem em fluxo descendente, a partir do topo e deixando a coluna no setor inferior. Em comparação com projetos concorrentes os fluxos contracorrente apresentam maior eficiência por produzir o contato do gás e do líquido com maior diferencial de concentração, ao longo da coluna e também por exigir uma menor vazão de solvente para promover a absorção. Fluxo de correntes cruzadas tem por característica o gás fluir horizontalmente, enquanto o solvente cruza-o verticalmente, ou vice-versa; esse método tem quedas de pressão menores, entretanto só é aplicável para gases com alta solubilidade devido ao baixo tempo de contato entre os fluidos (MCINNES et al., 1990).

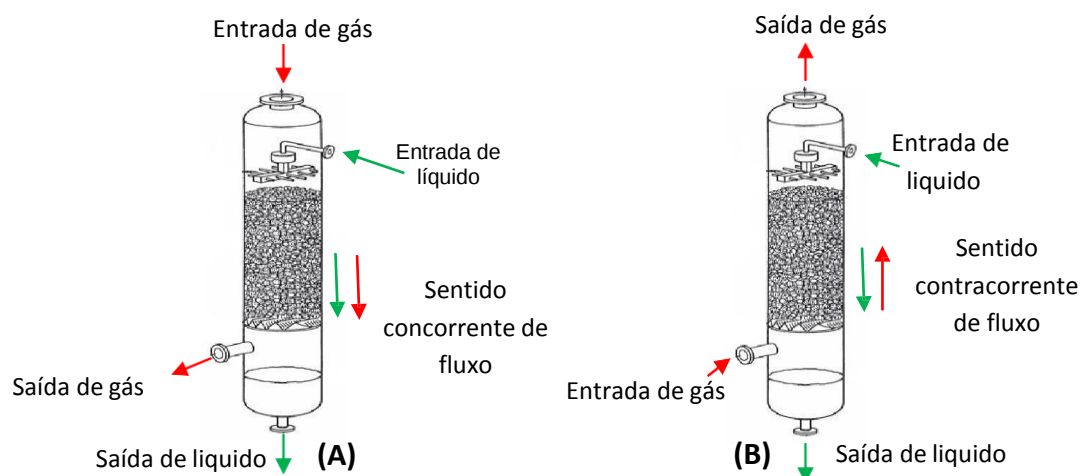


Figura 7 – Ilustração de correntes em uma coluna de recheio.

A) Fluxo concorrente; B) Fluxo contra corrente.

Fonte: (Albright, 2009)

2.5 Componentes de uma coluna de absorção

A unidade coluna de recheio é composta basicamente por uma torre, distribuidor de líquido, materiais de recheio e suporte para o recheio. Materiais plásticos ou inertes tais como polipropileno e teflon são necessários para revestimento da coluna caso possua alto teor corrosivo (MORAES JR.; MORAES, 2014).

O desempenho e a eficiência de uma coluna de recheio estão intimamente atrelados aos seus aspectos mecânicos, no que diz respeito ao *desing* e meio presente, construção e materiais utilizados, sempre visando aumentar a interação entre as correntes e minimizar as perdas por caminhos preferenciais tanto do fluxo gasoso, quanto do fluxo líquido, sem perder de vista o equilíbrio orçamentário que viabiliza o projeto (LUDWIG, 1997). Dois fatores de grande relevância no projeto de uma coluna são o distribuidor de líquido e o recheio, uma seleção inadequada de qualquer um dos dois implica uma imediata interferência na capacidade de absorção da coluna de forma significativa (COKER, 2010).

Os distribuidores de líquido são classificados em 2 diferentes tipos, gravitacionais e pressurizados; a seleção entre eles varia conforme características gerais do projeto, como viscosidade do fluido a ser distribuído ou até mesmo a pressão interna da coluna. Para colunas menores e fluidos pouco viscosos geralmente usa-se um distribuidor gravitacional (MORAES et al., 2008). Os modelos mais comuns de distribuidores são: bicos aspersores, tubos perfurados (Figura 8A) e chapa perfurada (Figura 8B) (VILELA, 2014).

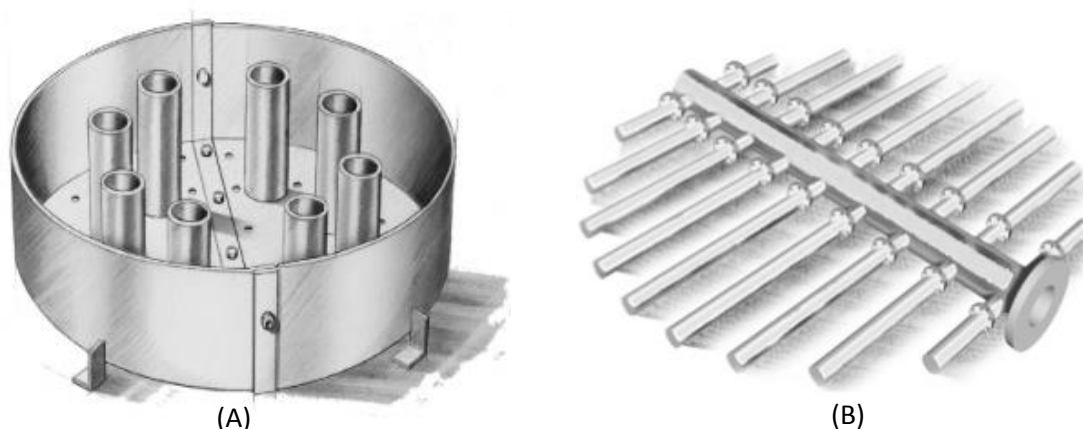


Figura 8 – Tipos de distribuidores. A) Chapa perfurada; B) Tubos perfurados.
Fonte: (KOCH-GLITSCH, 2010)

O recheio são divididos em 2 categorias, recheio aleatório (Figura 9) e o estruturado (Figura 10). Recheios estruturados são acondicionados de forma ordenada em arranjos, possuindo geralmente menor queda de pressão e capazes de gerar maior taxa de transferência de massa entre os fluidos, no entanto são mais dispendiosos e podem, devido aos arranjos, não serem práticos para colunas menores (SIERES; SEARA, 2008). Recheios ditos como aleatórios em geral são de materiais menos nobres e não há critérios de acomodação para eles, podendo servir, portanto, a qualquer tipo de coluna e possuindo um custo mais convidativo (TREYBAL, 1980).

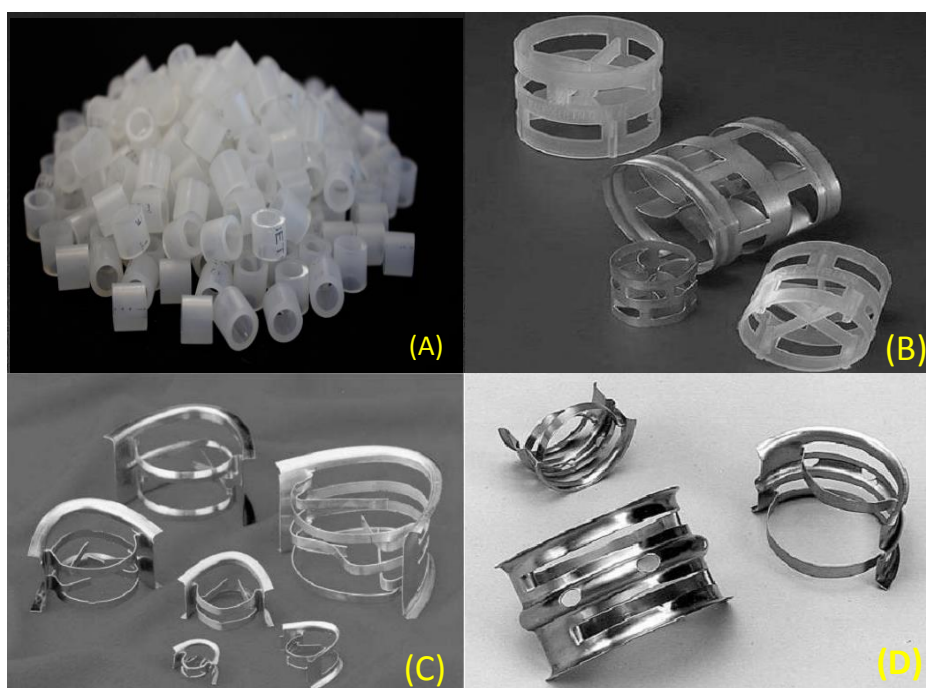


Figura 9 – Recheios aleatórios. A) Anéis de Raschig (10x10mm), B) Pall Rings, C) IMTP (foto de Norton Chemical Process Products Corporation), D) Nutter Ring (foto de Sulzer Chemtech). Fonte – (Klemas, 2000).

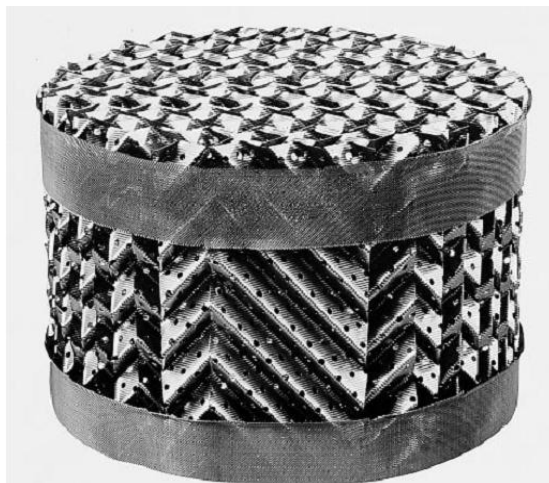


Figura 10 – Seção de recheio estruturado. Fonte – (Klemas, 2000)

Os recheios têm por finalidade proporcionar uma grande superfície molhada para a corrente de gás, assim maximizando a transferência de massa. Os materiais que constituem o recheio estão disponíveis em diversos modelos, cada um com características específicas, como área de superfície, a queda de pressão, peso, resistência à corrosão e custo. A durabilidade do recheio pode ser tão longa quanto a própria torre, encurtada para poucos anos em ambientes corrosivos e adversos.

O uso de cerâmica como recheio diminuiu devido à fragilidade, e os mercados atuais são predominantemente de metal e plástico. Recheios metálicos possuem restrições no uso para fluxos de gases ácidos, enquanto que o plástico tem baixa aplicação em temperaturas mais elevadas. A altura de recheio para ambos os materiais, plásticos e metálicos não deve ultrapassar medidas por volta de 6 a 8 metros, para que não se deformem mediante o peso do empilhamento (COKER, 2010).

Placas de suporte devem ser instaladas na coluna para sustentação do recheio, podendo ser de grades, malhas ou telas, de tecido ou metal, forte o suficiente para suportar o peso do recheio e vazado o bastante para permitir a passagem dos fluidos com menor perda de carga possível (TREYBAL, 1980). Altas vazões de gás podem fluidizar a coluna (afogar) acarretando uma desorganização no recheio caso este não seja estruturado, assim como pode danificá-lo caso a vazão de gás seja reduzida bruscamente (HARRISON et al., 1989).

2.6 Análises da capacidade de absorção

A eficiência de uma coluna de absorção pode ser medida por sua capacidade de transferência de massa de um fluido para outro. Nos casos de colunas para tratamentos de efluentes gasosos, o foco é a redução da concentração do componente nocivo da corrente gasosa na saída da coluna. A capacidade de absorção da coluna é analisada medindo-se quanto do referido gás está contido no fluido líquido no fundo da coluna, se comparado com o líquido puro, sem ter sofrido contato com o gás. Diversos tipos de equipamentos e sensores para a análise do dióxido de carbono existem no mercado, como cromatógrafos, espectrômetros e sensores, mas possuem alto custo e constantes manutenções (COHN, 2006). Há técnicas de análises químicas, por via úmida, que podem ser utilizadas para a quantificação da concentração dos efluentes, permitindo um custo reduzido e alta confiabilidade, dentre elas o Processo de Warder usado para determinar carbonatos

por meio de hidróxidos alcalinos e ácidos fortes (KOBAL JUNIOR, 1982). O método de Warder destaca-se no baixo custo, se comparado com os processos que utilizam monoetanolaminas, obtendo resultados seguros se aplicado com temperaturas baixas, não superiores a 30°C para evitar a reversibilidade das reações do ácido carbônico e carbonatos produzidos (KORDYLEWSKI et al., 2013).

2.7 Planejamento fatorial

As técnicas de tratamento de resultados são diretamente relacionadas ao número de ensaios que serão analisados e à quantidade de fatores e interações que existem, quanto maior o número de fatores mais complexo se torna o ajuste dos dados.

O planejamento fatorial é uma técnica de agrupamento estatístico, que tem por característica principal organizar os ensaios através do número máximo de combinações que os fatores escolhidos podem ter entre si, em diferentes níveis. Por exemplo, um planejamento fatorial conduzido com 2 fatores em 2 níveis, requer no mínimo, $2^2 = 4$ experimentos para combinar todas as possibilidades através de uma distribuição binomial simples.

Porém, estatisticamente, é necessário realizar replicações nos experimentos definidos no planejamento fatorial, visando a identificar possíveis erros na medida experimental e validar os dados obtidos para determinar se a amostra analisada representa, ou não, a população de interesse.

As replicações podem gerar planejamentos fatoriais com quantidades absurdas de experimentos; por exemplo, um estudo analisando a influência de 8 fatores distribuídos em dois níveis em uma variável resposta, levaria à geração de $2^8 = 256$ experimentos, porém, em duplicatas, seria necessários realizar 512 experimentos para o planejamento fatorial ser atendido.

A análise fatorial consiste basicamente na verificação de quais fatores realmente são significantes com uma dada margem de confiança (geralmente 95%), ou seja, nem todos os fatores escolhidos podem provocar uma mudança significativa na variável resposta. Um modelo de regressão múltipla linear, que tenta ajustar os fatores significativos para a previsão da variável resposta escolhida, pode ser obtido a partir da análise fatorial. Com esse modelo matemático, o qual pode ser contínuo ou discreto, é possível traçar inúmeras possibilidades de otimização do processo estudado e prever extrapolações de forma controlada (NETO et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 Material

Os ensaios foram realizados em uma coluna de absorção no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, apresentada na figura 11.

Os materiais usados nos ensaios foram: a) Um cilindro com CO_2 ; b) Um compressor de ar; c) Distribuidores do tipo simples e espinha de peixe; d) Anéis plásticos cilíndricos de Raschig de 10x10mm; e) Bureta volumétrica de 50ml; f) Pipetas volumétricas de 50ml e 25ml; g) Pipetador de 3 vias tipo pêra h) Erlenmeyers; i) Soluções de Hidróxido de Sódio e Ácido sulfúrico 0,15N; j) Indicadores de pH fenolftaleína e alaranjado de metila; k) Cronômetro; l) Termômetro.

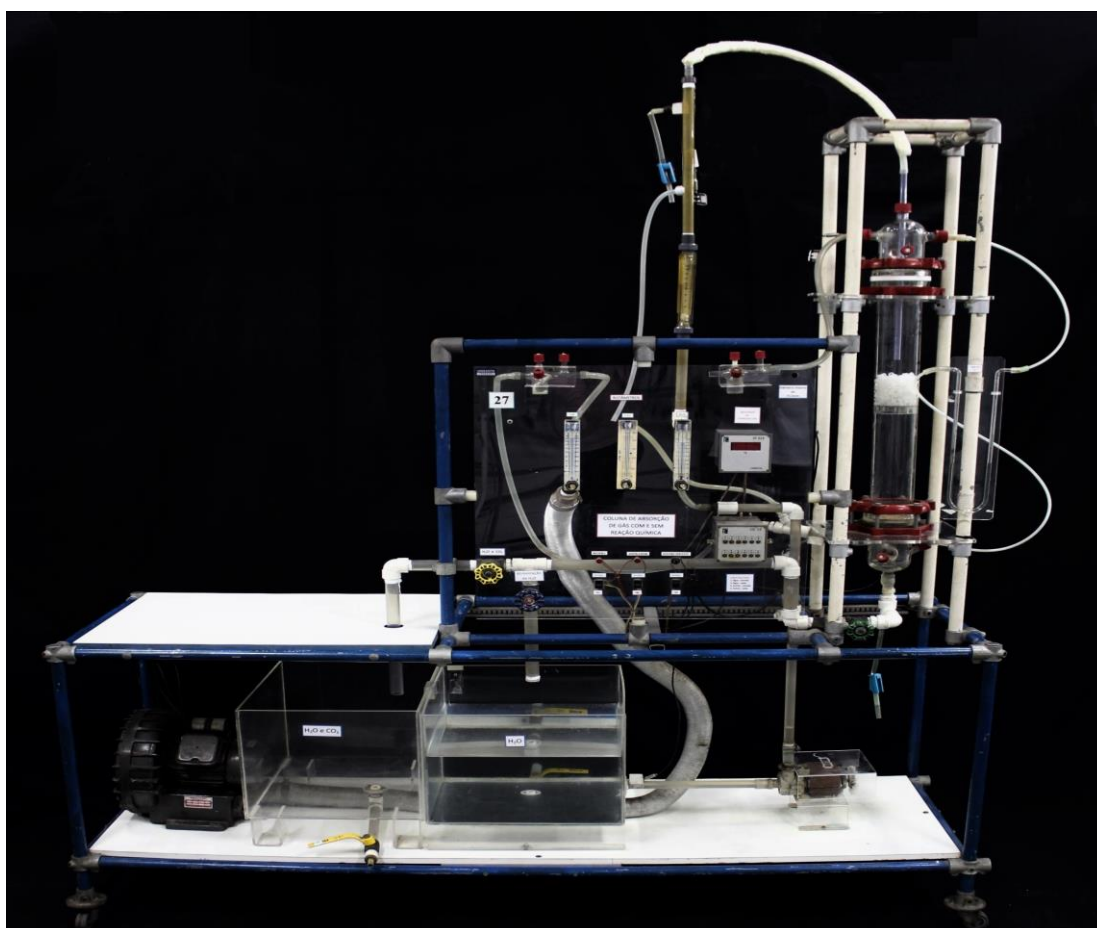


Figura 11 – Coluna de absorção usada nos ensaios.

Os distribuidores usados foram o espinha de peixe com diâmetros de 52 mm por 56,35mm com 6 furos (figura 12A) e o distribuidor do tipo tubo único de 9,2mm (figura 12B).

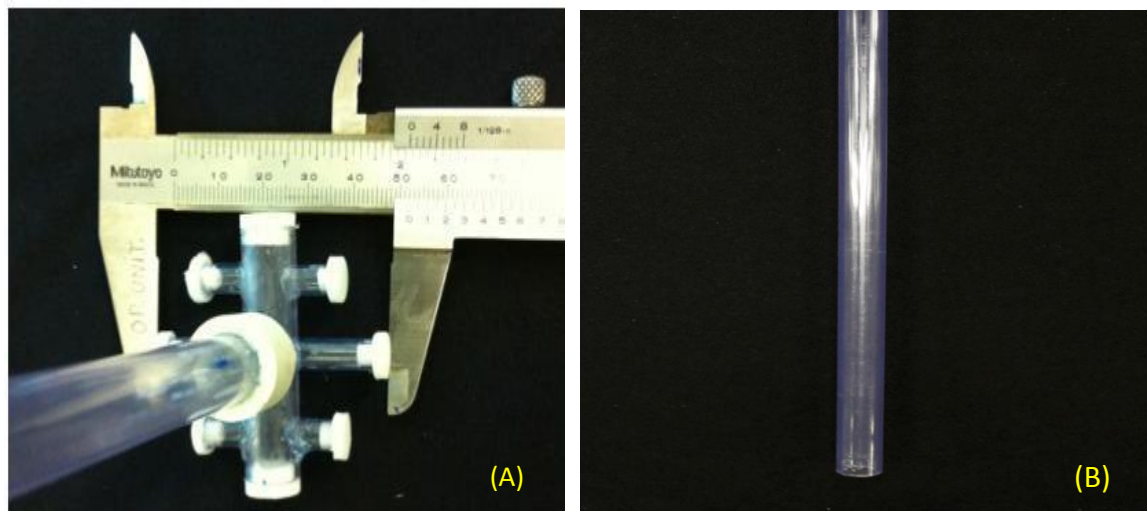


Figura 12 – Distribuidores empregados no estudo. (A) Distribuidor espinha de peixe; (B) Distribuidor Tubo reto

Os componentes presentes na unidade experimental estão apresentados e descritos na figura 13.

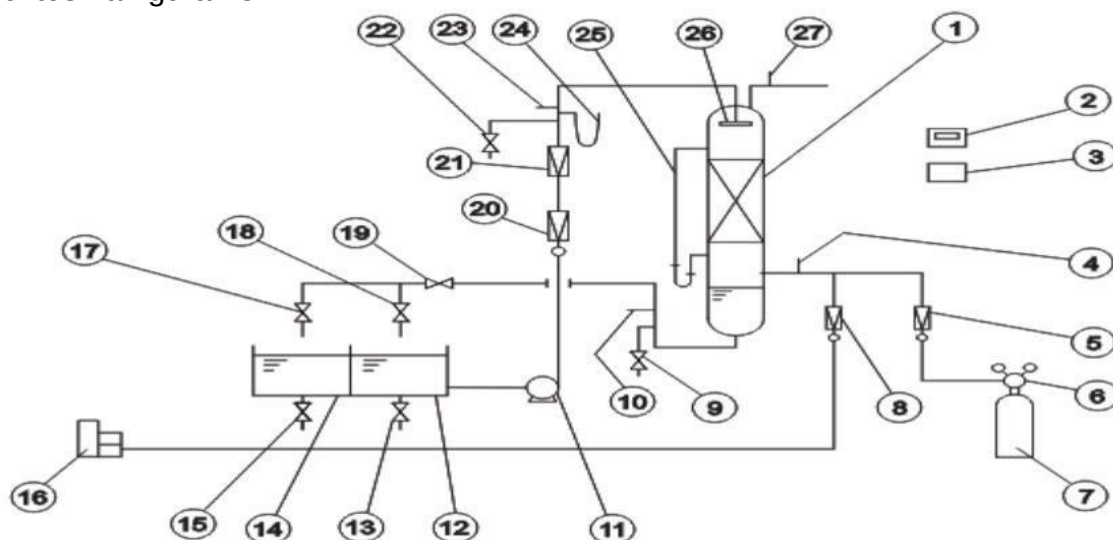
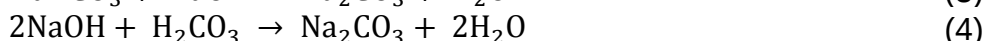
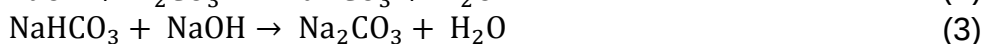
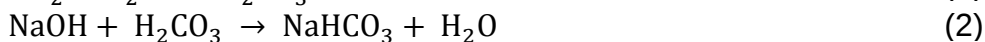


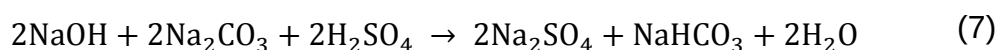
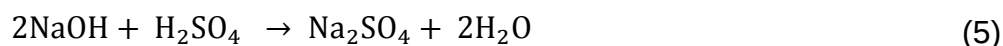
Figura 13 – Modelo esquemático da coluna de absorção 1) Coluna de recheio; 2) Indicador de temperatura 3) Seletor; 4) Termopar de entrada da mistura gasosa; 5) Rotâmetro da linha de CO₂; 6) Válvula redutora de pressão de gás; 7) Cilindro com CO₂; 8) Rotâmetro da linha de ar; 9) Válvula da linha da amostra de fundo; 10) Termopar da base; 11) Bomba centrífuga; 12) Caixa de alimentação da coluna com água destilada; 13) Válvula de descarga da caixa alimentação; 14) Caixa de coleta do líquido com o gás absorvido; 15) Válvula de descarga da caixa de coleta; 16) Soprador; 17) Válvula de entrada da caixa de coleta; 18) Válvula de entrada da caixa de alimentação; 19) Válvula de controle de nível do líquido na base da coluna; 20) Rotâmetro da linha de água; 21) Rotâmetro da linha de água ligado em linha com graduação menor; 22) Válvula da linha de amostra de topo; 23) Termopar da água de alimentação; 24) Manômetro em “U” da pressão do distribuidor; 25) Manômetro em “U” da perda de carga da coluna; 26) Distribuidor de água; 27) Termopar de saída da mistura gasosa. Fonte: (MORAES JR, 2014)

3.2 Método

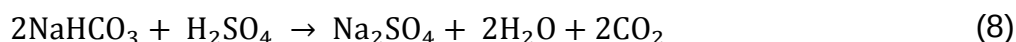
As vazões das correntes que passam pela coluna de absorção foram de 25 l/min de CO₂, 20 l/min de ar e 2 l/min de água destilada, com temperatura média de 21°C. Após todas as vazões serem ajustadas, a coluna de absorção permaneceu operando por 5 minutos (tempo determinado experimentalmente para alcançar estabilidade do equipamento e saturação da água referente à absorção do CO₂). Foram coletadas duas amostras com *erlenmeyers*, uma no topo antes da água entrar na coluna e uma na base após ter percolado pelo recheio e o consequente contato com o gás CO₂, provocando a reação de formação do ácido carbônico (Equação 1). Foi mantido no fundo da coluna um selo líquido para que a retirada de amostras mantivesse concentrações sem variação. Foi aplicado o Processo de Warder, que se baseia em um método analítico para determinação de carbonatos. Para tal foram transferidos 50ml de cada uma das amostras usando pipetas volumétricas para dois *erlenmeyers* contendo 25ml de hidróxido de sódio 0,15N transferidos previamente, o que provoca a reação de formação do hidrogênio carbonato de sódio e do carbonato de sódio, Equações 2 e 3 respectivamente. A neutralização total do hidróxido de sódio com o ácido carbônico é representada pela reação global (Equação 4).



Foram adicionadas 4 gotas de fenolftaleína em ambas as soluções, que passaram a possuir a coloração lilás indicando um pH alcalino proveniente do excesso de hidróxido de sódio. As soluções foram tituladas com ácido sulfúrico 0,15N, provocando a neutralização total entre o hidróxido de sódio excedente e o ácido (Equação 5), juntamente com a neutralização parcial de metade do carbonato de sódio presente (Equação 6). A titulação seguiu até a solução se tornar transparente o que indica o ponto de viragem da fenolftaleína com pH por volta de 8,3, o que indicando que todo o hidróxido de sódio foi neutralizado, conforme a reação global (Equação 7).



Em ambas as soluções foi adicionada 1 gota de alaranjado de metila, passando a solução de incolor para amarelada. Ocorreu nessa segunda titulação a reação da outra metade do carbonato de sódio, presente na solução, na forma de bicarbonato de sódio com o ácido sulfúrico neutralizando-o e formando sulfato de sódio (Equação 8), até o ponto de viragem na coloração laranja-amarelada com pH por volta de 3,8.



Os indicadores fenolftaleína e alaranjado de metila foram escolhidos através da curva característica de pH do carbonato de sódio quando neutralizado com ácido forte. Para comprovar que um ácido diprótico como o ácido sulfúrico não alteraria o comportamento da curva de neutralização foram pesados 0,208 gramas de carbonato de sódio, transferidos para um *erlenmeyer* e dissolvidos em água, adicionaram-se 4 gotas de fenolftaleína tornando a solução lilás. Titulou-se com ácido sulfúrico 0,15N até o ponto de viragem na coloração incolor, por volta de pH 8,3, consumindo 12,5ml. Gotejou-se 1 gota de alaranjado de metila e continuou-se com a titulação até o ponto de viragem na coloração laranja-amarelada com pH em 3,4 consumindo mais 12,5ml, confirmando o comportamento padrão da reação de neutralização do carbonato descrita na curva de pH (Figura 13).

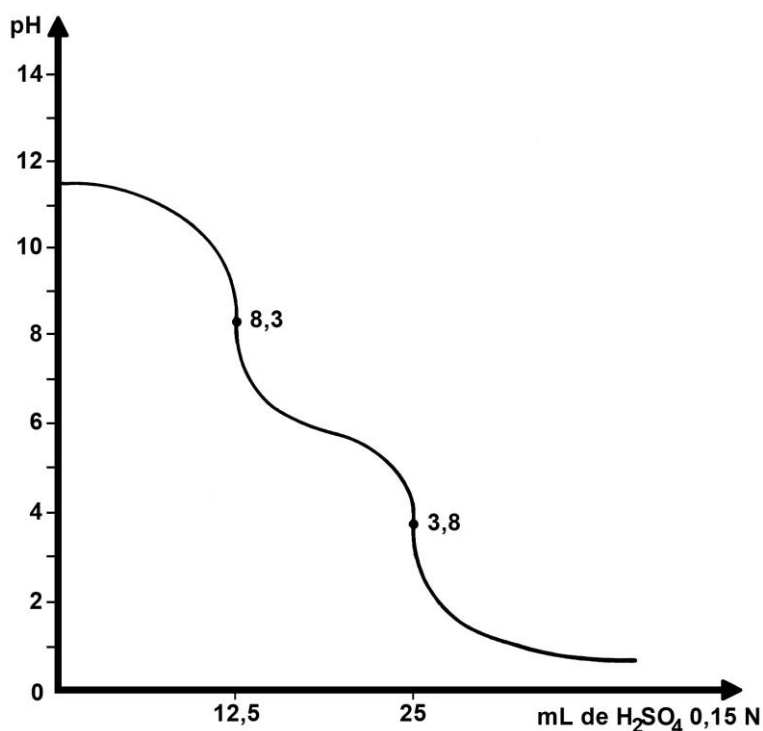


Figura 14 – Curva de pH do carbonato de sódio.

Os valores dos volumes consumidos para neutralização na titulação permitiram determinar através da equação 9, a concentração de gás carbônico presente nas soluções iniciais a partir do carbonato de sódio formado.

$$C_{CO_2} = \frac{(V_2 - V_1) * 2 * N * MM_{CO_2} * Eq * 10^3}{V_m * MM_{Na_2CO_3}} \quad (9)$$

Sendo:

$MM_{Na_2CO_3}$ a massa molar do carbonato de sódio

MM_{CO_2} a massa molar do CO_2

Eq o equivalente grama do carbonato de sódio

V_2 o volume gasto na titulação até o término da reação do alaranjado em ml

V_1 o volume gasto na titulação até o término da reação da fenolftaleína em ml

V_m o volume da amostra de água enriquecida de CO_2

N a Normalidade do titulante

C_{CO_2} Concentração de CO_2 em $\frac{mg}{l}$

3.3 Planejamento dos ensaios

As vazões foram fixadas para a operação longe do ponto de inundação em 25 l/min de CO_2 , 20 l/min de ar e 2 l/min. Foram realizados experimentos em 12 combinações de parâmetros, com triplicata e em 3 blocos, totalizando 108 ensaios, variando os parâmetros da altura do recheio em 1 e 2 diâmetros (interno da coluna), a distância do distribuidor ao recheio em 0, 0,5 e 1 diâmetro e o tipo de distribuidor, ramificado (espinha de peixe) e tubo reto. Todas as combinações foram feitas em triplicatas e em três blocos. Os resultados foram agrupados separadamente conforme as combinações dos parâmetros (Quadro 1).

Quadro 1 – Combinação dos parâmetros avaliados.

Descrição da combinação dos parâmetros	Identificação do arranjo
Altura do recheio 1 diâmetro, distância do distribuidor 0 diâmetro e distribuidor tubo único	A
Altura do recheio 1 diâmetro, distância do distribuidor 1/2 diâmetro e distribuidor tubo único	B
Altura do recheio 1 diâmetro, distância do distribuidor 1 diâmetro e distribuidor tubo único	C
Altura do recheio 1 diâmetro, distância do distribuidor 0 diâmetro e distribuidor ramificado	D
Altura do recheio 1 diâmetro, distância do distribuidor 1/2 diâmetro e distribuidor ramificado	E
Altura do recheio 1 diâmetro, distância do distribuidor 1 diâmetro e distribuidor ramificado	F

Continua

Quadro 1 continuação – Combinação dos parâmetros.

Descrição da combinação dos parâmetros	Identificação do arranjo
Altura do recheio 2 diâmetros, distância do distribuidor 0 diâmetro e distribuidor ramificado	G
Altura do recheio 2 diâmetros, distância do distribuidor 1/2 diâmetros e distribuidor ramificado	H
Altura do recheio 2 diâmetros, distância do distribuidor 1 diâmetro e distribuidor ramificado	I
Altura do recheio 2 diâmetros, distância do distribuidor 0 diâmetro e distribuidor tubo único	J
Altura do recheio 2 diâmetros, distância do distribuidor 1/2 diâmetros e distribuidor tubo único	K
Altura do recheio 2 diâmetros, distância do distribuidor 1 diâmetros e distribuidor tubo único	L

Cada um dos 12 arranjos teve os ensaios realizados em triplicata para maior confiabilidade dos resultados e ajuste dos desvios padrão e em 3 blocos (3 dias diferentes) para reduzir erros sistemáticos e contornar interferências como temperatura e concentração de CO₂ inicial dissolvido na água. Os arranjos e suas devidas posições antes dos ensaios podem ser visto na figura 15A e na figura 15B.

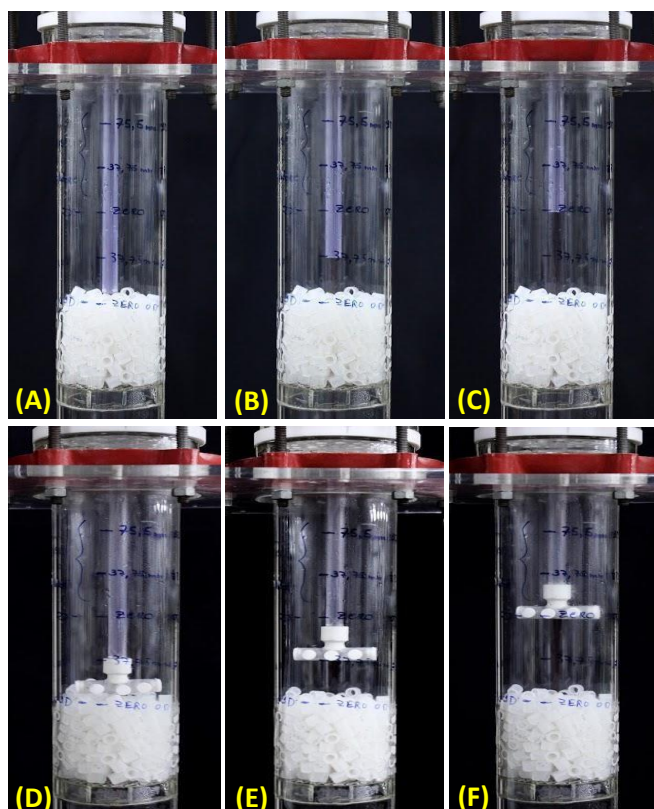


Figura 15A – Variações no desing da coluna com altura de recheio de 1 diametro; A) Arranjo tipo A, B) Arranjo tipo B, C) Arranjo tipo C, D) Arranjo tipo D, E) Arranjo tipo E, F) Arranjo tipo F.

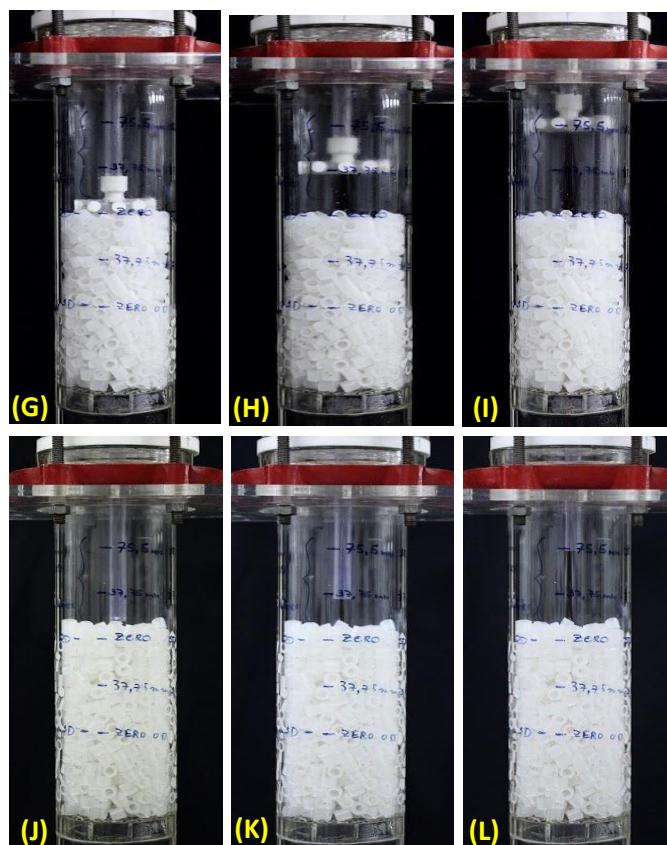


Figura 15B – Variações no desing da coluna com altura de recheio de 2 diâmetro;
 A) Arranjo tipo G, B) Arranjo tipo H, C) Arranjo tipo I, D) Arranjo tipo J, E) Arranjo
 tipo K, F) Arranjo tipo L

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição e organização das respostas

As análises estatísticas foram realizadas com o *software* Minitab, e foram feitos os estudos de principais efeitos, interação dos efeitos, curva normal e análise de resíduos.

Os resultados foram avaliados sobre um grau de confiança de 95%, de forma conjunta e em combinações separadas, para verificar as influências individuais e coletivas de cada parâmetro, evitando assim que algum parâmetro fosse mascarado por decorrência de outro.

Os valores das concentrações encontradas em cada ensaio estão descritos e agrupados nos quadros (Apêndice A). Os resultados da recuperação média de CO₂ estão disponíveis na Tabela 1 em função dos arranjos descritos no Quadro 1 e do bloco de análise (seqüência de triplicata executada no mesmo dia).

Tabela 1 – Resultados da Recuperação Média de CO₂ (RMC).*

Arranjo	Recuperação média de CO ₂ (%)		
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
A	75,51	73,58	72,84
B	74,78	72,77	69,61
C	75,53	75,53	72,44
D	72,50	77,59	80,05
E	68,70	67,06	73,55
F	68,70	81,19	78,37
G	78,67	81,58	79,97
H	76,23	83,06	76,95
I	85,83	86,40	84,36
J	77,47	75,69	80,3
K	77,73	73,96	76
L	75,42	77,2	75,28

*RMC definido como $[\text{CO}_2 \text{ topo} / (\text{CO}_2 \text{ topo} + \text{CO}_2 \text{ base})] * 100$

Todos os parâmetros foram estudados em triplicatas e em 3 blocos (3 dias seguidos), para aumentar a confiabilidade dos valores e minimizar o erro sistemático, o que possibilitou ajustar resultados discrepantes e gerar dados

suficientes para uma curva de desvio padrão bem definida e gráficos de resíduos espelhados (Figura 16) .

4.2 Resultados estatísticos

O gráfico de resultados comparados e combinados revelou um aumento na capacidade de recuperação do CO₂ quando alterado o tipo de distribuidor para ramificado, assim como quando a altura de recheio e a distancia do distribuidor foram aumentadas para 2 diâmetros e 1 diâmetro respectivamente (Figura 17).

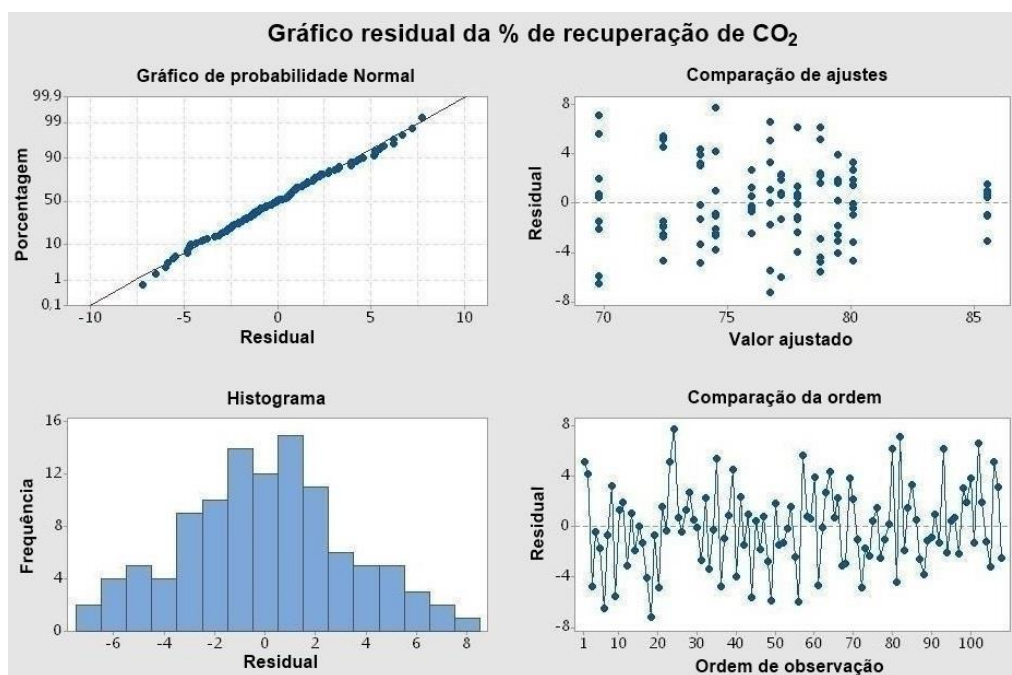


Figura 16 – Curva normal e Resíduos

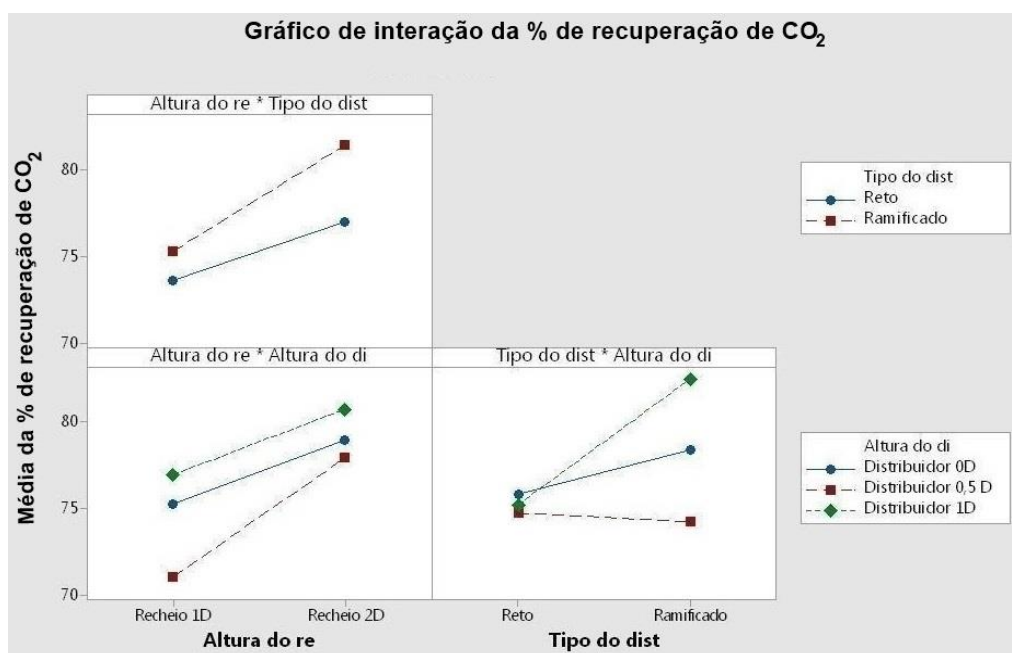


Figura 17– Efeitos combinados dos parâmetros

Em uma análise dos parâmetros com o agrupamento reduzido, estudado de dois em dois parâmetros, avaliou-se o percentual de recuperação a partir da interação entre diferentes alturas de recheio, distância do distribuidor ao recheio e o tipo de distribuidor, foi possível identificar a única combinação dos fatores a qual não se obteve ganhos na capacidade de absorção de CO_2 na coluna (Figura 18) e a intensidade do efeito através do coeficiente angular em comparação (Figura 19).

A análise de efeitos, combinando o tipo de distribuidor com a distância deste ao recheio, demonstrou que o distribuidor tubo reto não contempla melhorias ao se alterar a distância a qual se encontra do recheio.

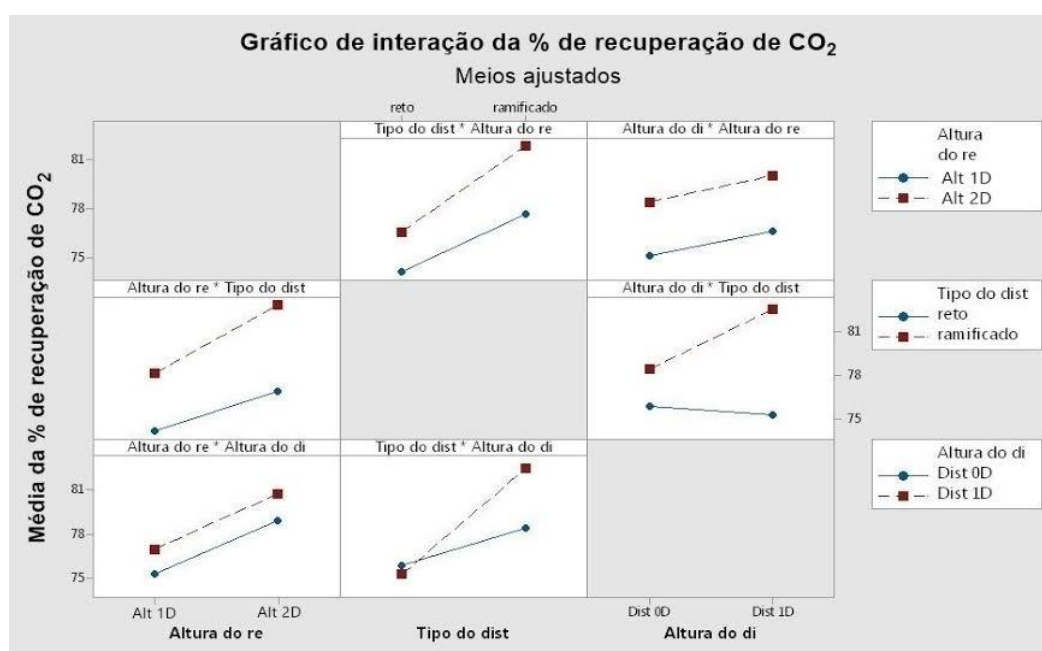


Figura 18 – Efeitos dos parâmetros, combinados dois a dois.

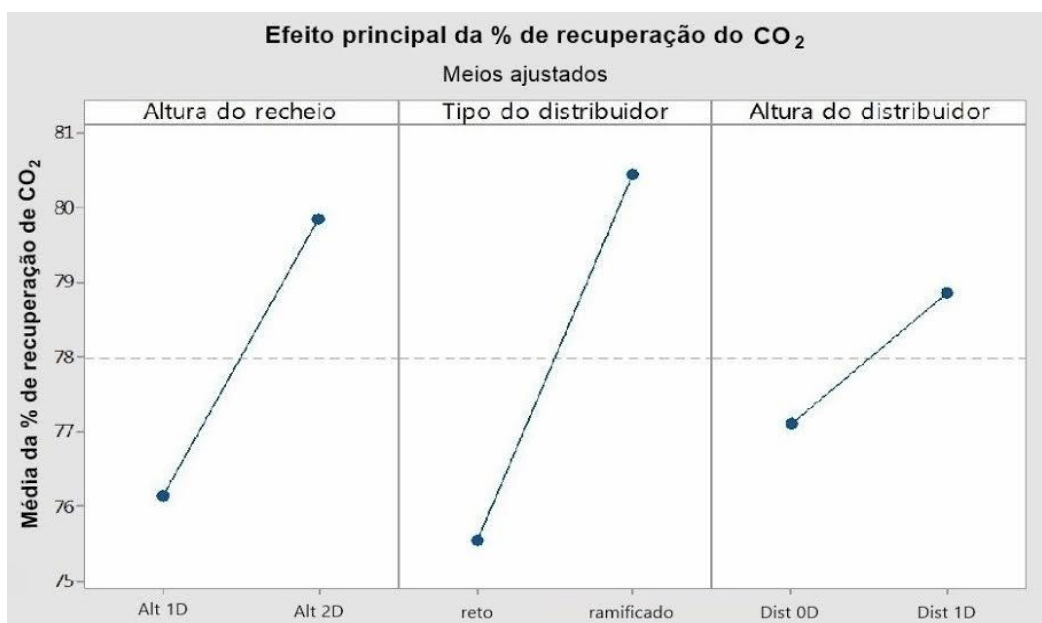


Figura 19 – Intensidade dos efeitos

Os parâmetros em combinação geraram diferentes graus de recuperação de CO₂, o que possibilita classificar a melhor combinação entre eles para se obter a maior recuperação possível, através do *cube plot* (Figura 20). Foi possível identificar que o arranjo de distribuidor ramificado, altura de recheio de 2 diâmetros (interno da coluna) e altura do distribuidor de 1 diâmetro (interno da coluna) teve o mais alto valor de recuperação, o qual foi de 85,5%.

Desta forma, a maior altura do recheio proporciona um maior tempo de contato, ou seja, uma maior área de interação entre o líquido e o gás.

Em relação ao distribuidor, como observado na figura 18, o tipo ramificado favorece uma maior uniformidade na distribuição do líquido na superfície do leito recheado, de tal forma que há uma redução na ocorrência de caminhos preferenciais e zonas mortas.

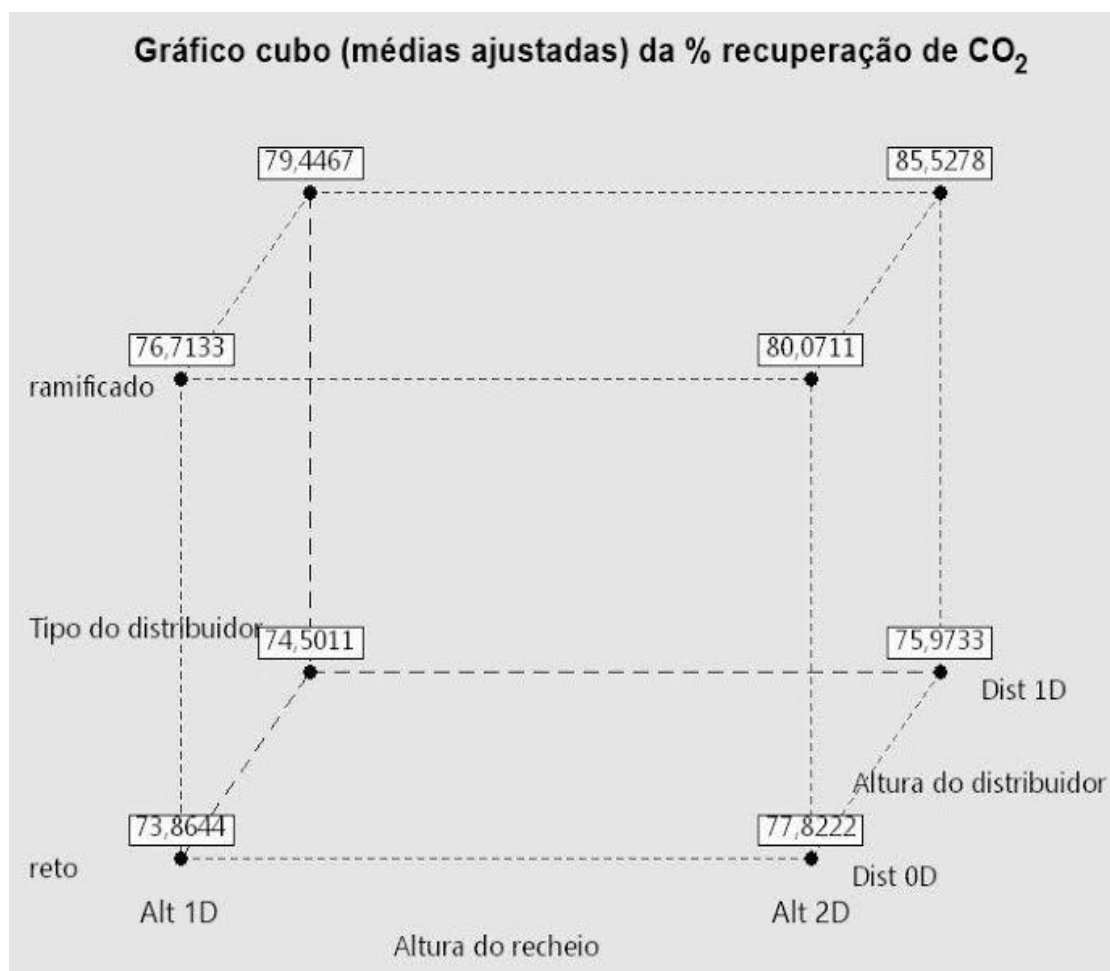


Figura 20 – Cubo com graus de recuperação

Os parâmetros que causam mais efeitos, individuais e agrupados, no percentual de recuperação são identificados através do gráfico de Pareto (Figura 21). Todos os parâmetros que atingirem valores acima de aproximadamente dois desvios padrão, na análise dos efeitos, são classificados como fatores significativos, na capacidade da coluna na recuperação de CO₂.

O gráfico de Pareto mostrou que os três principais fatores que mais influenciam na eficiência da coluna comparativamente são: o tipo de distribuidor, a altura do recheio e a combinação entre o tipo de distribuidor e sua distância do recheio respectivamente.

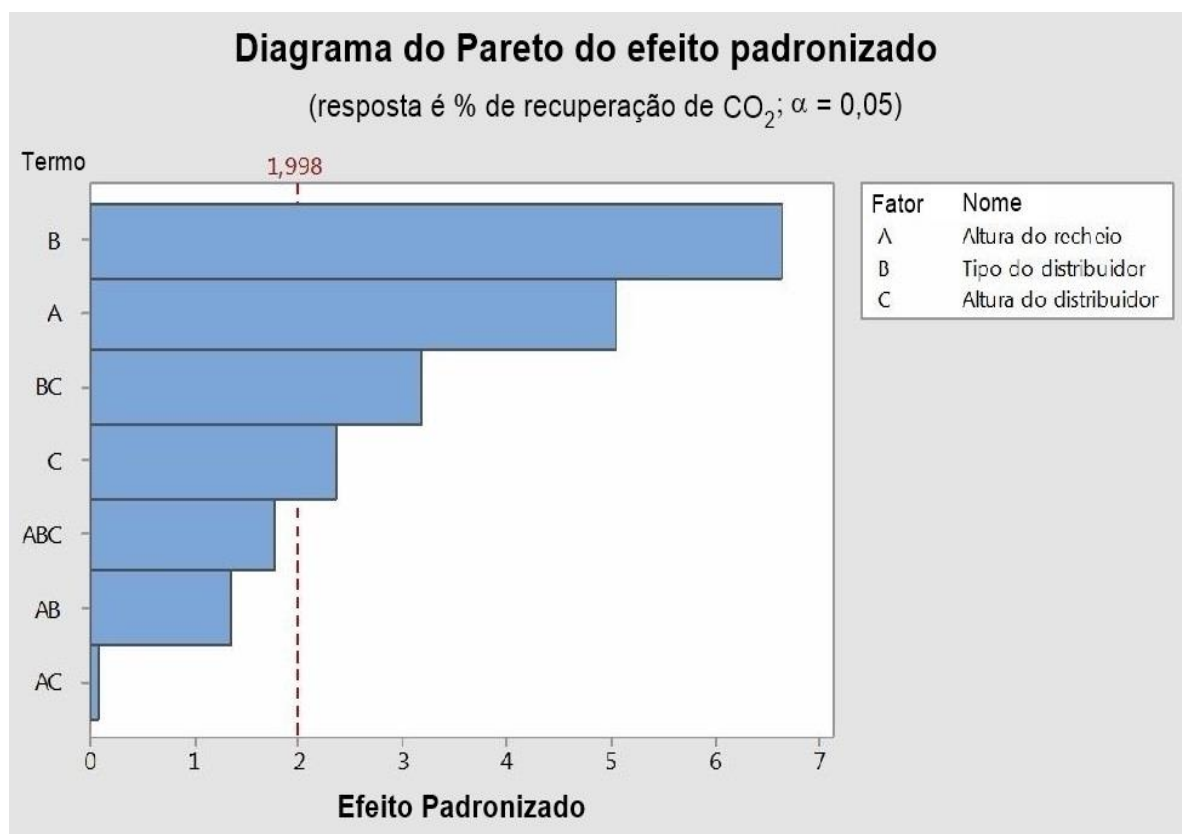


Figura 21 – Pareto dos parâmetros

5. CONCLUSÃO

O trabalho permitiu concluir que o arranjo da coluna (combinação dos parâmetros) que obteve o melhor resultado foi com a altura do recheio de 2 diâmetros, distância do distribuidor em 1 diâmetro e o tipo de distribuidor ramificado (Arranjo I) a qual seus valores estão descritos no tabela 9 do apêndice. Também foi possível comprovar que o método analítico, desenvolvido e sugerido para quantificar a recuperação de CO₂, mostrou-se estável e confiável, tendo a principal característica o baixo custo e a simplicidade tecnológica.

6. SUGESTÕES

Para trabalhos futuros sugere-se estudar as mesmas relações de arranjo em um novo tipo de recheio, assim como avaliar o comportamento de novos fluidos, tanto gasoso como líquido mantendo as mesmas condições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRIGHT, L. F. **Albright's Chemical Engineering Handbook**, 2009. Editora Taylor & Francis, ISBN 978-0-8247-5362-7, 2009. P. 1099

COHN, P. E.; **Analísadores Industriais: no processo, na área de utilidades, na supervisão da emissão de poluentes e na segurança**; Editora Interciência; Rio de Janeiro, 2006.

COKER, K. **Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants: Distillation, Packed Towers, Petroleum Fractionation, Gas Processing and Dehydration (4th Edition)**. Editora Elsevier Science & Technology, 2010. LC Call Number: TP155.7.L832010eb. ISBN: 9780750683661, 2010, pp.483.

COKER, A. K.; **Understanding the Basic of Packed-Column Desing**, *Chemical Engeneering Progress*, November 1991

DAMIN, O. C. B. **Sequestro de Dióxido De Carbono (CO₂) por Resíduo de Construção E Demolição**. Santos, SP. Universidade Santa Cecília. 2013.

GRAY, M. L., SOONG, Y., CHAMPAGNE, K. J., PENNLINE, H., BALTRUS, J. P., STEVENS, R. W., KHATRI, R. JR., CHUANG, S. S. C., FILBURN, T., **Improved Immobilized Carbon Dioxide Capture Sorbents**. *Fuel Processing Technology*, 86, 2005. (14-15):1449–1455.

HARRISON, MARK E., AND JOHN J. F., **“Distillation Column Troubleshooting, Part 2: Packed Columns”**, *Chemical Engineering*, April 1989, pp. 121-128.

IDEM, R., WILSON, M., TONTIWACHWUTHIKUL, P., CHAKMA, A., VEAWAB, A., AROONWILAS, A., GELOWITZ D., **Pilot plant studies Of the CO₂ capture performance of aqueous MEA and Mixed MEA/MDEA solvents** at the university of regina CO₂ capture technology development plant and the boundary dam CO₂ capture demonstration plant. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(8):2414–2420, 2006

IPCC - CLIMATE CHANGE 2013: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Climate Change. The Physical Science Basis **Part of the Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2013 ISBN 978-92-9169- 138-8

IPCC - CLIMATE CHANGE 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC - CLIMATE CHANGE 2007: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, ISBN 92-9169-122-4.

KLEMAS, L., BONILLA, J. A. - **Packed Columns: Design and Performance**, Academic Press, 2000.

KOBAL JUNIOR, J. **Química Analítica Quantitativa** 2ªed., São Paulo Ed. Moderna, 1982.

KOCH-GLITSCH. **Packed Tower Systems combine INTALOX**. Bulletin KGMTIG-1. Rev. 3-2010. Printed in USA. © 2003-2010. Koch-Glitsch, LP. All rights reserved. Disponível: <http://www.kochglitsch.com/Document%20Library/KGMTIG.pdf> - Acesso em 8 Dez. 2015.

KORDYLEWSKI, W.; SAWICKA, D.; FALKOWSKI, T. **Laboratory tests on the efficiency of carbon dioxide capture from gases in NaOH solutions**, Journal of ecological engineering Volume 14, No. 2 DOI: 10.5604/2081139X.1043185, April 2013, pp. 54–62

LUDWIG, E. E. **Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2 (3rd Edition)**, Editora Gulf Publishing Company. LC CallNumber: TP155.5 -- .L83 1997eb. ISBN: 9780080527376. ISBN:9780884151012. Dewey Decimal Number: 660/.283. OCLC Number: 181087675, 1997. P. 234.

MC CABE, W.L; SMITH, J.C; HARRIOTTI P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. McGraw – Hill's. Chemical Engineering Series. 7ª ed. 2005. 1140p.

MCINNES, R., K. JAMESON, AND D. AUSTIN, **“Scrubbing Toxic Inorganics”**, **Chemical Engineering**, September 1990, pp. 116-121.

MORAES JR., D.; MORAES, M. S. **Laboratório de Operações Unitárias III**. Santos, SP. Edição dos autores, 2014.

MORAES, M. S.; LIMA, J. R. B.; MORAES JR, D.; LIA, L. R. B.; PIZZO, S. M. **Experimento para quantificar a eficiência de aspersão de líquidos: aplicação em distribuidores espinha de peixe**. Artigo publicado na revista Esc. Minas, Ouro Preto, 61(1): 25-28, 2008.

NOBRE, C. A; REID, J; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP. Rede Clima/INPE. 2012.

Neto, B.B.; Scarminio, I.S.; Bruns, R.E **Como fazer experimentos** 4ªed., Porto Alegre, Bookman, 2010.

RAHMAN, K. A.; LOH, W. S.; CHOON, K, N. **Heat of Adsorption and Adsorbed Phase Specific Heat Capacity of methane/activated Carbon System**. Procedia Engineering 56, 118 – 125. 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. Department of Mechanical Engineering, Chittagong University of Engineering & Technology, Chittagong 4349, Bangladesh, 2013.

RAMSHAW, C. **Higee Distillations An Example of Process Intensification**. Chem. Eng. 1983, 389, p13.

SIERES, J.; SEARA, J. F. **Calculation Procedure to Determine Average Mass**

Transfer Coefficients in Packed Columns From Experimental Data for Ammonia–Water Absorption Refrigeration Systems. Artigo publicado na Revista Heat Mass Transfer. 44:1229–1239. DOI 10.1007/s00231-007-0358-0. Area de Maquinas y Motores Termicos, E.T.S. de Ingenieros Industriales, University of Vigo, Campus Lagoas-Marcosende No 9, 36310 Vigo, Spain 2008.

TREYBAL, R. E., **Mass Transfer Operations (Third edition)**, McGraw-Hill Book Company, New York, 1980.

U.S. EPA - Environmental Protection Agency Office of Research and Development, **Handbook Control Technologies for Hazardous Air Pollutants**, Research Triangle Park, North Carolina, Publication No. EPA 625/6-91-014. 1991.

U.S. EPA - Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, **EPA Pollution Control Cost Manual, Sixth Edition**, Research Triangle Park, North Carolina 27711. EPA/452/B-02-001. 2002.

VILELA, F. H. **Influência do Posicionamento do Distribuidor de Líquidos na Eficiência de Absorção de Dióxido de Carbono em Torre de Absorção.** Dissertação de Mestrado Fernando Henrique Vilela, Universidade Santa Cecília - 2014.108p.

APÊNDICE – Quadro de valores

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de arranjo A. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	22,00	22,50	23,00	24,00	23,00	24,00
	B	23,00	25,70	23,00	25,60	23,00	25,60
	C	26,50	26,70	26,60	26,60	26,60	26,60
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	462,00	132,00	475,00	132,00	475,20	132,00
	G	77,78		78,26		70,49	
2	A	21,50	22,00	22,00	22,50	21,50	22,00
	B	22,00	25,40	21,60	24,30	22,30	24,80
	C	26,70	26,80	26,50	26,40	26,50	26,30
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	620,40	184,80	646,80	277,00	554,40	198,00
	G	77,05		70,00		73,60	
3	A	22,50	22,50	22,00	22,50	22,00	22,50
	B	22,70	25,20	21,60	24,20	25,30	27,40
	C	26,70	26,40	26,50	26,40	29,80	29,10
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	528,00	158,40	646,80	290,40	594,00	224,40
	G	76,92		69,01		72,50	

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de arranjo B. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%)

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	19,50	20,50	20,50	20,00	20,50	21,00
	B	22,10	25,60	22,70	24,80	21,70	25,00
	C	26,30	26,80	26,60	26,50	26,70	26,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	554,40	158,40	514,80	224,40	660,00	198,00
	G	77,78		69,64		76,92	
2	A	18,00	19,00	18,00	18,50	19,00	19,50
	B	22,50	25,20	22,60	24,80	22,10	24,40
	C	26,30	26,30	26,50	26,40	26,50	26,30
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	501,60	145,20	514,80	211,20	580,80	250,80
	G	77,55		70,91		69,84	
3	A	21,00	20,50	21,00	20,50	21,50	21,00
	B	22,00	24,70	21,40	24,30	22,10	24,10
	C	25,60	26,20	25,70	26,10	26,30	26,10
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	475,20	198,00	567,60	237,60	554,40	264,00
	G	70,59		70,49		67,74	

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de arranjo C. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	18,00	19,00	19,00	20,00	18,50	19,50
	B	20,50	23,80	20,50	22,00	20,60	23,10
	C	24,20	24,60	24,60	24,50	24,80	24,60
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	488,40	105,60	541,20	224,40	554,40	198,00
	G	82,22		70,69		73,68	
2	A	18,50	19,50	19,00	18,50	20,00	19,50
	B	20,80	23,10	20,50	22,80	20,20	22,90
	C	24,50	24,10	24,50	24,10	24,40	24,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	488,40	132,00	528,00	171,60	554,40	211,20
	G	78,72		75,47		72,41	
3	A	20,00	20,50	20,50	21,00	21,50	21,00
	B	21,50	24,30	20,90	23,90	21,20	24,20
	C	26,20	26,00	26	25,90	26,10	26,10
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	620,40	224,40	673,20	264,00	646,80	250,80
	G	73,44		71,83		72,06	

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de arranjo D. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	21,50	21,00	22,00	21,00	22,00	20,50
	B	17,10	22,30	19,90	22,60	18,90	22,10
	C	24,70	24,60	24,60	24,50	24,60	24,60
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	1003,20	303,60	620,40	250,80	752,40	330,00
	G	76,77		71,21		69,51	
2	A	20,50	21,00	21,00	21,00	21,00	22,00
	B	20,60	23,60	20,30	23,40	20,00	23,00
	C	24,80	24,80	24,70	24,50	24,80	24,60
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	554,40	158,40	580,80	145,20	633,60	211,20
	G	77,78		80,00		75,00	
3	A	16,00	18,00	17,00	17,00	17,00	17,50
	B	21,60	23,50	20,20	23,50	21,90	23,60
	C	24,60	24,10	24,70	24,50	24,60	24,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	396,00	79,20	594,00	132,00	356,40	118,80
	G	83,33		81,82		75	

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de arranjo E. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	21,00	20,50	21,00	20,50	21,00	20,50
	B	21,40	23,20	20,50	22,70	19,50	21,50
	C	24,70	24,50	24,80	24,50	24,80	24,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	435,60	171,60	567,60	237,60	699,60	396,00
	G	71,74		70,49		63,86	
2	A	20,00	20,50	20,00	21,00	22,00	21,00
	B	19,60	21,70	18,60	20,90	20,00	22,20
	C	24,80	23,90	24,80	24,50	24,60	24,40
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	686,40	290,40	818,40	475,20	607,20	290,40
	G	70,27		63,27		67,65	
3	A	21,00	22,00	20,50	22,00	21,00	23,00
	B	20,60	23,10	20,60	22,50	20,00	23,00
	C	24,60	24,30	24,70	24,40	24,60	24,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	528,00	158,40	541,20	250,80	607,20	198,00
	G	76,92		68,33		75,41	

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de arranjo F. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	22,00	22,00	22,00	22,00	22,50	23,00
	B	19,70	22,90	19,70	23,30	20,40	23,60
	C	24,90	24,60	24,80	24,60	25,20	24,70
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	686,40	224,40	673,20	171,60	633,60	145,20
	G	71,74		70,49		63,86	
2	A	20,00	20,50	20,00	21,00	20,00	20,50
	B	20,50	23,70	20,70	23,30	20,40	23,70
	C	25,00	24,60	24,70	24,50	24,90	24,60
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	594,00	118,80	528,00	158,40	594,00	118,80
	G	83,33		76,92		83,33	
3	A	21,00	20,50	21,00	20,50	21,50	21,00
	B	19,80	23,40	19,40	23,10	19,10	22,80
	C	24,50	24,50	24,60	24,60	24,60	24,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	620,40	145,20	686,40	198,00	726,00	224,40
	G	81,03		77,61		76,39	

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de arranjo G. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	19,00	19,00	19,50	19,50	19,50	19,50
	B	20,10	24,50	20,20	23,90	20,30	24,10
	C	25,40	25,70	25,40	25,60	25,60	25,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	699,60	158,40	686,40	224,40	699,60	184,80
	G	81,54		75,36		79,1	
2	A	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
	B	20,30	24,20	20,40	24,00	20,60	24,30
	C	25,30	25,30	25,20	25,20	25,40	25,30
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	660,00	145,20	633,60	158,40	633,60	132,00
	G	81,97		80,00		82,76	
3	A	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
	B	20,00	23,50	20,30	23,90	20,30	23,80
	C	25,00	25,00	24,80	24,80	25,00	25,00
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	660,00	198,00	594,00	118,80	620,40	158,40
	G	76,92		83,33		79,66	

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de arranjo H. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	19,50	19,50	19,50	20,00	20,00	19,50
	B	19,90	24,10	19,70	23,60	19,50	23,30
	C	25,50	25,40	25,50	25,60	25,50	25,50
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	739,20	171,60	765,60	264,00	792,00	290,40
	G	81,16		74,36		73,17	
2	A	20,50	20,50	21,00	21,00	21,50	21,50
	B	20,80	24,50	20,50	24,40	20,30	24,00
	C	25,30	25,30	25,20	25,30	25,20	25,20
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	594,00	105,60	620,40	118,80	646,80	158,40
	G	84,91		83,93		80,33	
3	A	22,00	21,00	22,00	22,00	22,00	22,00
	B	19,60	23,10	20,30	24,00	20,60	23,60
	C	25,00	25,00	25,00	25,10	25,00	25,00
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	712,80	250,80	620,40	145,20	580,80	184,80
	G	73,97		81,03		75,86	

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de arranjo I. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	21,50	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
	B	20,40	24,30	20,50	24,40	20,20	24,20
	C	25,30	25,20	25,20	25,10	25,10	25,00
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	646,80	118,80	620,40	92,40	646,80	105,60
	G	84,48		87,04		85,96	
2	A	21,00	20,50	21,00	21,00	22,00	21,50
	B	20,30	23,80	19,80	24,00	19,70	24,00
	C	24,80	24,50	24,80	24,80	24,80	24,80
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	594,00	92,40	660,00	105,60	673,20	105,60
	G	86,54		86,21		86,44	
3	A	22,50	22,50	22,50	23,00	22	23,00
	B	20,60	24,30	20,50	24,20	20,1	23,90
	C	24,90	25,00	24,90	25,00	24,8	24,90
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	567,60	92,40	580,80	105,60	620,4	132,00
	G	86		84,62		82,46	

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de arranjo J. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	19,50	19,50	19,50	20,00	20,00	20,00
	B	22,00	24,70	21,70	24,70	21,80	24,50
	C	25,80	25,70	25,90	25,90	25,80	25,80
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	501,60	132,00	554,40	158,40	528,00	171,60
	G	79,17		77,78		75,47	
2	A	22,50	22,50	22,00	22,50	22,50	22,50
	B	23,50	26,50	19,60	23,00	19,50	22,60
	C	28,10	27,90	24,50	24,50	24,30	24,30
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	607,20	184,80	646,80	198,00	633,60	224,40
	G	76,67		76,56		73,85	
3	A	21,50	22,00	21,50	22,00	22,00	22,00
	B	20,30	23,90	20,40	23,40	20,00	23,40
	C	24,50	24,70	24,80	24,60	24,70	24,70
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	554,40	105,60	580,80	158,40	620,40	171,60
	G	84,00		78,57		78,33	

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de arranjo K. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	19,00	18,50	18,50	19,00	18,50	19,00
	B	21,10	24,10	21,30	24,30	20,70	24,40
	C	25,70	25,40	25,70	25,70	25,70	25,70
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	607,20	171,60	580,80	184,80	660,00	171,60
	G	77,97		75,86		79,37	
2	A	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
	B	21,00	24,50	20,60	24,00	20,60	23,80
	C	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	25,90
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	660,00	198,00	712,80	264,00	712,80	277,20
	G	76,92		72,97		72,00	
3	A	22,50	22,00	22,00	22,50	22,00	22,50
	B	19,80	23,40	19,90	23,40	20,80	23,20
	C	24,70	24,70	24,80	24,80	25,00	24,90
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	646,80	171,60	646,80	184,80	554,40	224,40
	G	79,03		77,78		71,19	

Tabela 12 – Resultados dos ensaios de arranjo L. A – Temperatura (°C); B – Volume consumido em ml no ponto de viragem com fenolftaleína; C – Volume consumido em ml no ponto de viragem com alaranjado de metila; D – Normalidade do NaOH (N) E – Normalidade do H₂SO₄ (N); F – Concentração de CO₂ em mg/l e G – Porcentagem de recuperação (%).

Bloco	Parâmetros	Base	Topo	Base (duplicata)	Topo (duplicata)	Base (triplicata)	Topo (triplicata)
1	A	18,50	20,00	19,00	20,00	19,00	20,00
	B	20,30	24,00	20,00	23,80	19,60	23,90
	C	25,80	25,80	25,80	25,70	25,80	25,90
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	726,00	237,60	765,60	250,80	818,40	264,00
	G	75,34		75,32		75,61	
2	A	21,50	21,00	21,50	21,00	21,50	22,00
	B	21,70	25,20	21,30	25,00	20,60	24,40
	C	26,50	26,50	26,40	26,50	26,20	26,20
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	633,60	171,60	673,20	198,00	739,20	237,60
	G	78,69		77,27		75,68	
3	A	22,00	22,00	22,50	22,50	22,00	22,50
	B	20,10	23,50	20,00	23,20	19,80	23,30
	C	25,00	25,00	25,00	25,00	24,80	24,9
	D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	F	646,80	198,00	660,00	237,60	660,00	211,20
	G	76,56		73,53		75,76	