

# METODOLOGIA DE DETECÇÃO DO PONTO DE EXTRAÇÃO DE ARGÔNIO DAS COLUNAS DE FRACIONAMENTO DAS UNIDADES 01 E 02 DA AMT <sup>1</sup>

*André Luiz Bonelar dos Santos <sup>2</sup>*

## **Resumo**

A área de produção de energia da ArcelorMittal Tubarão é composta por seis unidades de destilação fracionada do ar, sendo três próprias e três de empresas parceiras. Dentre as unidades próprias apenas a unidade 3 tem a capacidade de extrair o argônio do processo. Assim, foi iniciado um estudo para avaliar o potencial de produção de argônio que poderia ser obtido através do processo das unidades 01 e 02. Sendo a abordagem proposta para condução deste trabalho, identificar a região de maior concentração de argônio na coluna superior das unidades 01 e 02, o melhor local a ser instalado um ponto de retirada deste gás e a corrente máxima que poderia ser extraída através deste ponto.

**Palavras-chave:** Argônio; Destilação.

## **METODOLGY TO DETECT THE OPTMUM ARGON EXTRACTION POINT AT ARCELORMITTAL TUBARÃO #1 AND #2 AIR SEPARATION PLANT UNITS (ASU)**

## **Abstract**

The ArcelorMittal Tubarão Energy Production area has six units ASU, being three of them owned by ArcelorMittal and the other three owned by partners. Only the own unit 3 has the capacity to extract the argon from the process. Being so, it was initiated a study to evaluate the potential to produce argon from the units 01 and 02. With that, the approach proposed for this work is to identify the point of higher argon concentration in the superior column of this units, the best place to extract this gas and the maximum current that it could be extracted through this point.

**Key words:** Argon; Distillation.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 23º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 13 a 15 de agosto de 2008, Porto Seguro, BA*

<sup>2</sup> *Supervisor de Produção de Energia – ArcelorMittal Tubarão*

## 1 INTRODUÇÃO

A destilação fracionada do ar é um dos processos de separação mais empregado nas indústrias Siderúrgica, Química e Petroquímica. Apesar da sua larga utilização, o processo ainda apresenta um alto custo operacional devido ao consumo energético necessário para operação de uma unidade. A área de Produção e Energia da ArcelorMittal Tubarão tem instalado em seu parque industrial seis unidades de destilação fracionada do ar, que são responsáveis pela produção de oxigênio, nitrogênio e argônio utilizados ao longo da cadeia produtiva do processo siderúrgico.

Dentre as unidades instaladas apenas três são próprias, sendo as demais de empresas parceiras. Entretanto das três unidades próprias apenas a unidade 3 tem a capacidade de extrair o argônio do processo. Assim, foi iniciado um estudo para avaliar o potencial de produção de argônio que poderia ser obtido através do processo das unidades 1 e 2.

A abordagem proposta para condução deste trabalho tem por objetivo identificar a região de maior concentração de argônio na coluna superior das unidades 1 e 2, o melhor local a ser instalado um ponto de retirada deste gás e a corrente máxima que poderia ser extraída através deste ponto.

O presente trabalho justifica-se porque o conhecimento do potencial de produção de argônio possível de ser extraído do processo das unidades 1 e 2 nos proporcionará subsídios necessários para uma futura tomada de decisão, caso haja uma demanda extra deste produto. Além disso, ampliam-se os conhecimentos tecnológicos de um setor pouco difundido e de grande relevância para o Brasil.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritas as características da Unidade de Fracionamento do Ar numero 1 da ArcelorMittal Tubarão, tanto com relação aos aspectos de equipamentos, quanto aos aspectos da descrição do processo, bem como à metodologia de trabalho desenvolvida para o alcance dos objetivos propostos.

### 2.1 Descrição do Processo

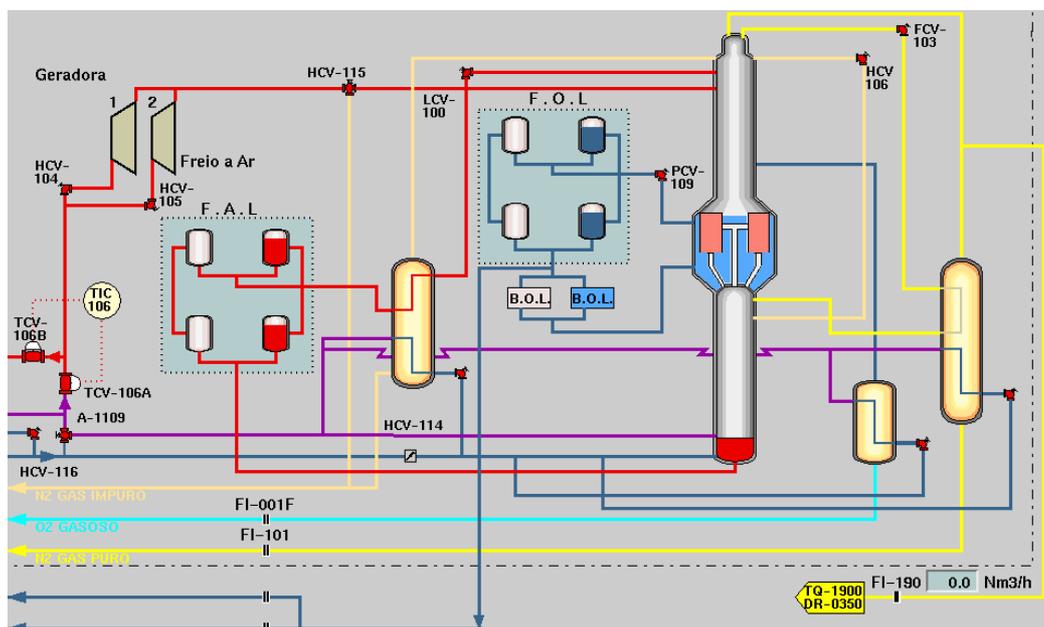
Segundo Evans et al.,<sup>(1)</sup> a destilação fracionada ou retificação é uma operação multiestágios em contracorrente. Na destilação fracionada opera-se com vaporizações e condensações sucessivas em uma coluna de fracionamento. A separação dos componentes da mistura está baseada nas diferenças de temperaturas de ebulição dos componentes puros. Na destilação, uma fase vapor entra em contato com uma fase líquida e ocorre transferência de massa do líquido para o vapor e deste para aquele. O líquido e o vapor contêm, em geral, os mesmos componentes, mas em quantidades relativas diferentes. O efeito final é o aumento da concentração do componente mais volátil no vapor e do componente menos volátil no líquido.

O processo de fracionamento de ar da unidade 01 compreende em captar o ar ambiente, filtrar e comprimir a uma pressão de 5,2 Kg/cm<sup>2</sup>. Logo após este processo o ar é resfriado pelo DCA, antes de ir para próxima etapa do processo. O ar então passa pelo trocador primário (RHX), onde o vapor d'água e CO<sub>2</sub> são removidos, o ar também é resfriado a aproximadamente -172°C pelas correntes

gasosas de Oxigênio, Nitrogênio produto e Nitrogênio *Whaste* produzida pela planta, tornando a corrente de ar que alimenta a coluna inferior e liquefadores limpa, fria e seca. Na saída do RHX o ar se divide em quatro correntes. Três das correntes que correspondem apenas a uma pequena parte da vazão total (~13%), alimenta os liquefadores, onde é liquefeita e subresfriada contra o aquecimento das correntes de oxigênio, nitrogênio produto e *Whaste*. Após esta etapa a três correntes se unem a quarta corrente, alimentando a coluna inferior.

A coluna inferior destila as correntes de alimentação de ar líquido e vapor, gerando no topo uma corrente gasosa de nitrogênio puro (*shelf*) e, no fundo, uma corrente líquida de ar enriquecido (*Kettle*), com aproximadamente 38% de oxigênio. A corrente de nitrogênio o gasoso é condensado no condensador principal pela vaporização do oxigênio líquido proveniente do fundo da coluna superior. Parte do nitrogênio condensado volta como refluxo para coluna inferior, enquanto o restante é sub-resfriado no liquefador de nitrogênio contra o aquecimento do nitrogênio produto. O nitrogênio líquido subresfriado é expandido e alimenta o topo da coluna superior. Uma fração mínima deste nitrogênio é direcionada para um tanque de estocagem, o qual alimenta o sistema de emergência da usina.

A coluna superior produz nitrogênio de baixa pressão no topo, nitrogênio de baixa pureza "*Waste*" um pouco abaixo. Na parte inferior da coluna é extraído o oxigênio gasoso e no fundo o oxigênio líquido de alta pureza. As correntes de oxigênio, nitrogênio produto e *Whaste* produzido pela planta são aquecidas no liquefador e no RHX. Após o RHX, a corrente de nitrogênio produto é enviada ao sistema de compressão da FOX.



Fonte: PROCOM

Figura 1 – Fluxograma simplificado do processo de fracionamento do ar.

## 2.2 Dados do Processo

Nas Tabelas 1 e 2 são fornecido alguns dados técnicos dos principais equipamentos da planta em estudo, utilizados na simulação do processo.

**Tabela 1** – Dados de Projeto das Colunas

DADOS	COLUNA INFERIOR	COLUNA SUPERIOR
Nº DE PRATOS	30	67
ENTRADA DE CARGA: Prato N°	FUNDO	42, 43, 55 e 67
COMPRIMENTO (mm)	8.230	12.746
TIPO DE RECHEIO	BANDEIJA	BANDEIJA
PRESSÃO DE PROJETO (Kg/cm <sup>2</sup> )	6,27	0,77
TEMPERATURA DE PROJETO (°C)	-196 a +60	-196 a +60

**Tabela 2** – Dados de Projeto do Condensador.

DADOS	LADO CASCO	LADO TUBO
FLUIDO	OXIGÊNIO LIQUIDO	NITROGÊNIO LIQUIDO
PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,7	5,7
TEMPERATURA (°C)	-196 a +60	-196 a +60
EEFICIÊNCIA	1.0	1.0

## 2.3 Simulação do Processo

A principal atividade realizada antes de iniciar a construção do modelo de simulação foi o estudo prévio do processo, no caso específico do fracionamento de ar, o que possibilitou o conhecimento das suas características básicas e seleção das principais variáveis de operação. Para tanto, foi realizado o estudo da teoria termodinâmica do processo a partir de diversas bibliografias e artigos, bem como o estudo dos manuais de operação da planta, manuais da teoria do processo, etc. O conhecimento dessas variáveis atende a fase inicial de montagem da simulação e posteriormente para a comparação dos resultados qualitativos do modelo com os da planta real.

### 2.3.1 Definição do modelo termodinâmico

Para a definição do modelo termodinâmico a ser utilizado na modelagem foi escolhido a equação de estado de Peng-Robinson (PR), pois descreve satisfatoriamente a separação dos componentes do ar a baixas pressões. A equação de estado de Peng-Robinson (PR) é uma equação cúbica definida como:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2 - ubV + wb}$$

Onde as constantes de Peng-Robinson (PR) são:

$$u = 2$$

$$w = -1$$

$$b = \frac{0,07780RT_c}{P_c}$$

$$a = 0,45724 R^2 T_c^2 [1 + fw (1 - Tf^{1/2})]^2$$

$$fw = 0,37464 + 1,54226w - 0,26992w^2$$



correntes das fases vapor que chegam aos pratos, real e ideal, sejam idênticas em quantidade e em composição; 2º) Para o caso da eficiência com relação à fase líquida assume-se que: as correntes das fases vapor que deixam os pratos, real e ideal, sejam idênticas em quantidade e em composição; as correntes das fases líquidas que chegam aos pratos, real e ideal, sejam idênticas em quantidade e em composição.

Segundo McCabe e Smith,<sup>(3)</sup> as eficiências de Murphree<sup>(2)</sup> típicas para colunas de pratos perfurados ficam em torno de 0,65 a 0,75. No caso aqui representado, a eficiência dos pratos foi considerada 0,8. O arquivo de simulação, representando a modelagem da planta, foi então sendo ajustado para se aproximar da planta real em estado estacionário. Em seguida, foram implementadas as outras configurações específicas de cada coluna (refluxo total, pressão de topo e de fundo etc.). Os resultados estão mostrados na Figura 5 para coluna inferior e na Figura 6 para coluna superior.

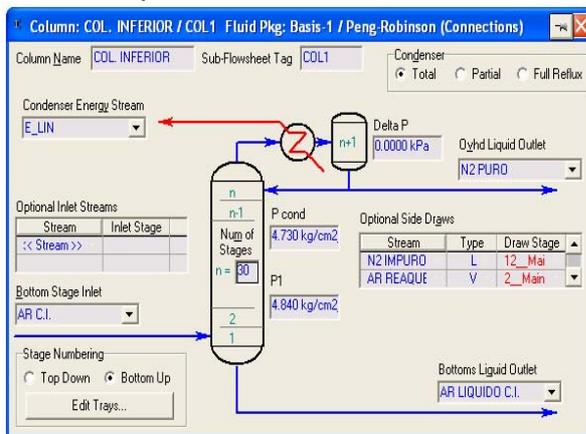


Figura 5: Especificação Coluna Inferior.

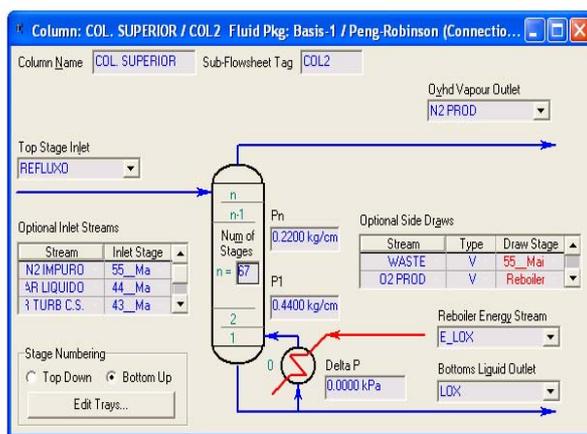


Figura 6: Especificação Coluna Superior.

### 2.3.3 Definição dos graus de liberdade

Concluído a montagem da simulação, foram definidas em cada coluna as variáveis de operação necessárias à operação da mesma. Para as colunas inferior e superior, são necessários três graus de liberdade. Sendo que, para a construção do caso base, as variáveis definidas da coluna inferior foram à vazão de ar líquido, do ar de aquecimento e a razão de refluxo. As vazões de nitrogênio produto, *boilup ratio* e a pureza de oxigênio foram definidas para a análise da coluna superior, ambas são apresentados nas Figuras 7 e 8.

Specifications	Specified Value	Current Value	Wt. Error	Active	Estimate	Current
VAZÃO N2 IMPURO	2.728e+004 Nm3/h(gas)	3.32e+004	0.2164	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAZÃO AR LIQUIDO	4.300e+004 Nm3/h(gas)	4.30e+004	0.0001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA AR LIQUIDO	0.3900	0.387	-0.0150	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA NE IMPURO	0.9800	0.842	-3.1583	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DISTILLATE RATE N2	2.600e+004 Nm3/h(gas)	2.60e+004	0.0004	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Reflux Ratio	3.800	3.05	-0.1972	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Reflux Rate	<empty>	7.94e+004	<empty>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAZÃO AR REAQUEC.	1.600e+004 Nm3/h(gas)	1.60e+004	0.0000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA N2 PROD.	0.9999	1.00	3.0198	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TEMP. LIN2 W.	-177.0 C	-176	0.0023	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA AR TURBINA	0.2500	0.204	-0.2758	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 7: Especificação Coluna Inferior.

Specifications	Specified Value	Current Value	Wt. Error	Active	Estimate	Current
Dvhd Prod Rate	<empty>	1.80e+004	<empty>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Btms Prod Rate	<empty>	3.54	<empty>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Boilup Ratio	2.100e+004	2.10e+004	-0.0007	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAZÃO N2 WASTE	7.353e+004 Nm3/h(gas)	7.82e+004	0.0632	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAZÃO O2 PROD.	2.100e+004 Nm3/h(gas)	2.12e+004	0.0103	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAZÃO N2 PROD.	1.800e+004 Nm3/h(gas)	1.80e+004	-0.0000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA N2 WASTE	0.9800	0.935	-2.1414	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA O2 PROD.	0.9960	0.996	-0.0001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PUREZA N2 PROD.	1.000	1.00	-2.8779	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAZÃO O2 LIQ.	1500 Nm3/h(gas)	3.53	-0.9976	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 8: Especificação Coluna Superior.

### 2.3.4 Validação da simulação

A validação da simulação, foi realizada comparando-se os valores medidos no processo e os correspondentes valores simulados, esta análise é apresentada através da Tabela 3 para coluna inferior e da Tabela 4 para a coluna superior. O objetivo desta etapa é avaliar se o modelo implementado no simulador HYSYS poderá representar a planta real por completo. O erro relativo percentual foi calculado em relação ao valor real através da expressão:

$$\text{Err (\%)} = \frac{(V_{\text{real}} - V_{\text{simulado}})}{V_{\text{real}}} * 100$$

Onde:

$V_{\text{real}}$  = Valor real medido no processo.

$V_{\text{simulado}}$  = Valor obtido através da simulação do processo.

**Tabela 3:** Coluna Inferior – Comparação entre o valor real e o simulado.

DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	UNIDADE	MEDIDO	SIMULADO	ERRO
Vazão de Ar de Alimentação	Nm <sup>3</sup> /h	120.000	120.000	0,00%
Vazão de Ar Líquido	Nm <sup>3</sup> /h	55.000	54.000	1,82%
Vazão de Ar Reaquecimento	Nm <sup>3</sup> /h	16.000	16.000	0,00%
Vazão de Refluxo Impuro	Nm <sup>3</sup> /h	16.000	16.200	-1,25%
Vazão de Refluxo Puro	Nm <sup>3</sup> /h	33.000	33.000	0,00%
Temperatura de Topo	°C	-178	-178	0,00%
Temperatura de Fundo	°C	-173	-173	0,23%
Temperatura do Refluxo	°C	-178	-178	0,00%
Pressão da Coluna Inferior	Kgf/cm <sup>2</sup>	4,90	4,84	1,22%
Pureza Ar Líquido	% O <sub>2</sub>	38,50	38,00	1,30%
Pureza Refluxo Impuro	% O <sub>2</sub>	93,00	91,70	1,40%
Pureza Refluxo Puro	ppm O <sub>2</sub>	40	39	2,50%

**Tabela 4:** Coluna Superior – Comparação entre o valor real e o simulado

DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL		MEDIDO	SIMULADO	ERRO
Vazão de Oxigênio Produto	Nm <sup>3</sup> /h	21200	21000	0,94%
Vazão de Oxigênio Líquido	Nm <sup>3</sup> /h	0	0	0,00%
Vazão de Nitrogênio Produto	Nm <sup>3</sup> /h	18000	18000	0,00%
Vazão de Nitrogênio Waste	Nm <sup>3</sup> /h	80800	77700	3,84%
Temperatura de Topo	°C	-194	-194,1	-0,05%
Temperatura de Fundo	°C	-179	-179,6	-0,34%
Pressão da Coluna Superior	Kgf/cm <sup>2</sup>	4,90	4,84	1,22%
Pureza Oxigênio Produto	% O <sub>2</sub>	38,50	38,00	1,30%
Pureza Nitrogênio Produto	ppm O <sub>2</sub>	93,00	91,70	1,40%
Pureza Nitrogênio Waste	% O <sub>2</sub>	40	39	2,50%

### 2.3.5 Análise dos resultados da simulação

Com base no objetivo de realizar uma modelagem que represente de forma quantitativa e qualitativa o processo em estudo, foram implementadas algumas simplificações. Assim, algumas diferenças quantitativas pouco significativas foram obtidas, porém, sem prejuízo ao resultado final. Abaixo são relacionados os pareceres após conclusão da primeira etapa do trabalho.

- O perfil de temperatura, bem como as análises de composição, teve uma representação satisfatória em relação ao caso real;

- Os balanços de massa se mostraram adequados, apesar de algumas ressalvas, tais como a vazão de ar líquido e de refluxo impuro da coluna inferior, a vazão e a pureza do nitrogênio waste da coluna superior. Porém, estas variáveis historicamente não apresentam medição ou confiabilidade na medição (planta real);

- Manipulando-se as variáveis de operação das colunas, bem como ajustando os valores das vazões de carga, foi se observando o comportamento da simulação e se ajustando as variáveis para o mais próximo possível dos valores reais.

Como o resultado final de todas as variáveis, bem como o da configuração final da Unidade de Fracionamento de Ar simulada utilizada como caso base foi satisfatório, determinamos através dos dados fornecidos pelo simulador que o ponto ótimo de maior concentração de argônio situava-se na 39<sup>o</sup> Estágio (bandeja) da coluna superior, conforme Figura 9.

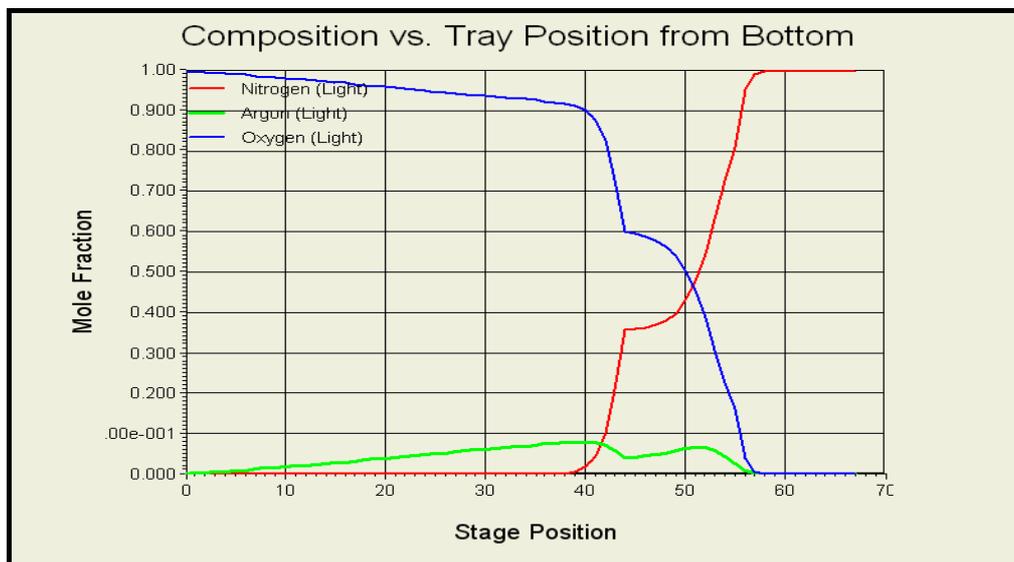


Figura 9: Concentração x Estágio

## 2.4 Análise da Região Rica em Argônio

Com a análise das concentrações e das correntes da coluna superior realizada via simulador, o próximo passo foi avaliar se o ponto ótimo de maior concentração de argônio situado na 39<sup>o</sup> bandeja da coluna superior representava a realidade do processo. Assim, foi iniciado o processo de análise dos estágios de destilação da coluna superior da Unidade de Fracionamento do Ar, composto das seguintes etapas: Mapeamento dos estágios e Análise dos estágios de destilação.

Para realização do mapeamento da unidade foi necessário a parada da unidade e a retirada da perlita do cold box das colunas superior e inferior. Após a retirada da perlita foi iniciado o processo de identificação dos estágios de destilação (Figura 10) e manutenção das tomadas de análises existentes ao longo da coluna (Figura 11).



**Figura 10:** Identificação dos estágios



**Figura 11:** Manutenção tomadas de análises.

Após esta etapa foi iniciado o processo de análises do percentual de oxigênio dos pontos mapeados e realizado o comparativo do mesmo com os dados obtidos via simulação. Durante a realização desta etapa foi possível também identificar qual das tomadas apresentava as características necessárias para a implementação do procedimento de acompanhamento da zona de transição da planta.

**Tabela 5:** Comparação entre a análise real dos estágios e o simulado.

DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	VARIÁVEL	UNIDADE	MEDIDO	SIMULADO	ERRO
19° Bandeija	ZONA	% O <sub>2</sub>	94,63	96,70	-2,19%
	ARA -100	% O <sub>2</sub>	99,69	99,60	0,09%
	ARA -101	ppm O <sub>2</sub>	23,80	16,00	32,77%
	ARA -102	% O <sub>2</sub>	6,90	7,40	-7,25%
	ARA -103	% O <sub>2</sub>	1,66	1,86	-12,05%
30° Bandeija	ZONA	% O <sub>2</sub>	93,30	94,11	-0,87%
	ARA -100	% O <sub>2</sub>	99,40	99,60	-0,20%
	ARA -101	ppm O <sub>2</sub>	27,50	25,00	9,09%
	ARA -102	% O <sub>2</sub>	10,40	9,40	9,62%
	ARA -103	% O <sub>2</sub>	4,38	4,78	-9,13%
35° Bandeija	ZONA	% O <sub>2</sub>	92,45	92,81	-0,39%
	ARA -100	% O <sub>2</sub>	99,75	99,60	0,15%
	ARA -101	ppm O <sub>2</sub>	25,90	25,00	3,47%
	ARA -102	% O <sub>2</sub>	9,83	9,50	3,36%
	ARA -103	% O <sub>2</sub>	4,21	4,53	-7,60%

## 2.5 Vazão Máxima de Argônio

Conforme Coulson e Richardson<sup>(4)</sup> e McCabe e Smith<sup>(3)</sup> a condição mais importante para se obter eficiências satisfatórias da coluna após a extração de uma corrente lateral é manter a operação adequado dos pratos. Neste aspecto é fundamental que exista um íntimo contato entre o líquido e o vapor. Partindo do princípio de que o projeto de pratos, tal como a maior parte dos projetos de engenharia, é uma combinação de teoria e prática, qualquer operação defeituosa da coluna, tal como

excessiva formação de espuma ou arraste, má distribuição de vapor, gotejamento ou não retenção de líquido sobre os pratos, dão lugar a uma diminuição da eficiência dos pratos. A escolha da vazão máxima a ser extraída pelo ponto em estudo levou em consideração estas variáveis.

Para esta etapa de análise foi acrescentado a simulação da unidade 1 uma corrente lateral extraída da 39ª bandeja da coluna superior, e incluído uma corrente lateral de retorno, alimentando a mesma bandeja, conforme Figura 12.

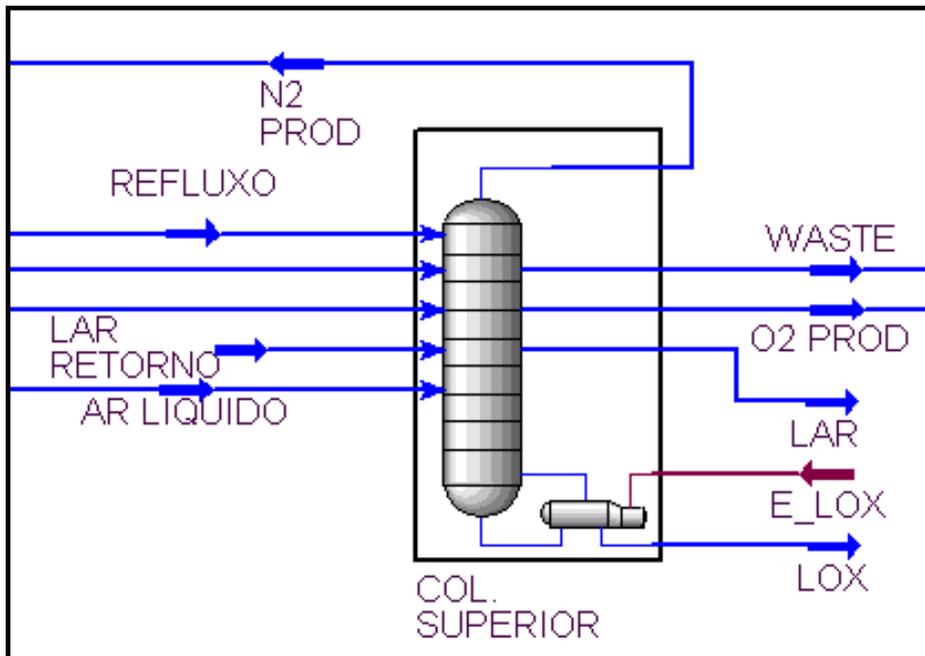


Figura 12: Novas correntes implementadas a simulação (LAR e LAR RETORNO)

Após alteração foi realizado diversas análises quanto ao comportamento da planta, sendo testados outros pontos de extração para a corrente de argônio pretendida. Ao termino dos testes concluímos que o estágio 39º realmente apresentava o melhor resultado para o processo caso a modificação fosse implementada, além disso foi possível observar que o comportamento apresentado pelo processo era típico de uma unidade de fracionamento de ar com extração de argônio. O produto de fundo foi impactado positivamente, alterando sua pureza de 99,60% de O<sub>2</sub> para 99,90% e a corrente máxima obtida através do ponto de extração pretendido foi de 15.000 Nm<sup>3</sup>/h.

### 3 CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou identificar a região de maior concentração de argônio na coluna superior das unidades 01 e 02, o melhor local a ser instalado um ponto de retirada deste gás e a corrente máxima que poderia ser extraída através deste ponto. Para tanto se utilizou o conceito de balanço de massa e energia desenvolvido por Foust et al.,<sup>(5)</sup> tendo o HYSYS<sup>TM</sup> como simulador de processo. Por meio da análise dos resultados da simulação e dos testes experimentais obtidos, chegou-se as seguintes conclusões:

- A extração da corrente lateral de argônio da coluna superior não ocasiona distúrbios termodinâmicos ou hidrodinâmicos na coluna superior, nem ultrapassa aos limites do balanço de massa total da coluna. Assim, mantém-

se a eficiência de separação e a transferência de massa e conseqüentemente os parâmetros de produção total;

- O estagio 39 demonstrou ser o ponto onde é possível obter com maior eficiência a corrente com maior concentração de argônio.
- A avaliação do comportamento do processo da unidade 01 de fracionamento do ar nos possibilita a extração de uma corrente lateral rica em argônio de 15.000 Nm<sup>3</sup>/h.

Portanto a identificação da região de maior concentração de argônio na coluna superior das unidades 01 e 02, nos permite concluir, com base nas taxas de recuperação de argônio de correntes similares a estas, que é possível produzir através de cada processo 420 Nm<sup>3</sup>/h de argônio. Capacitando os processos das unidades 1 e 2 para a produção de argônio líquido e conseqüentemente proporcionando uma maior disponibilidade de produtos para venda e tornando expressivos os ganhos financeiros com a venda de co-produtos para empresas terceiras.

## REFERÊNCIAS

- 1 EVANS, L.B. et al. *"ASPEN: An Advanced System for Process Engineering. Computers and Chemical Engineering"*, 1979.
- 2 MURPHREE, E. V. *"Rectifying column calculations with particular reference to N component mixtures"* Ind. Engng. Chem, Vol. 17, 1925
- 3 McCABE, W. L. SMITH, J.C. *"Operaciones de Ingeniería Química"*. Vol. 2, Editora Reverta, S.A, Espanha, 1987.
- 4 COULSON, J. M. RICHARDSON, J. F. *"Chemical Engineering - Particle Technology and Separation Process"*. Vol. 2, 4ª Edição, Editora Butterworth Heinemann, EUA, 1996.
- 5 FOUST, A. S. WENZEL, L. A. CLUMP, C.W. MAUS ANDERSEN, L.B. *"Princípios das Operações Unitárias"*. 2ª Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, 1982.