



**Telma Luísa Parreira Mateus**

Licenciada em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica

**Simulação da eficiência energética da  
unidade Desisobutanizadora da Fábrica 2 da  
Refinaria de Sines**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Doutor Bruno Fonseca Santos, Galp Energia

Co-orientador: Professor Doutor Mário Eusébio, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Madalena Dionísio Andrade

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Mota

Vogal: Doutor Bruno Fonseca Santos



**Telma Luísa Parreira Mateus**

Licenciada em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica

**Simulação da eficiência energética da  
unidade desisobutanizadora da Fábrica 2 da  
Refinaria de Sines**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Doutor Bruno Fonseca Santos, Galp Energia

Co-orientador: Professor Doutor Mário Eusébio, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Madalena Dionísio Andrade

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Mota

Vogal: Doutor Bruno Fonseca Santos



Simulação da eficiência energética da unidade Desisobutanizadora da Fábrica 2 da Refinaria de Sines

Copyright © Telma Luísa Parreira Mateus, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa que proporcionou o espaço e as condições para que a minha aprendizagem fosse possível, bem como a todos os Professores que contribuíram para a mesma.

Ao Engenheiro Bruno Fonseca Santos, queria expressar um especial agradecimento por face à suspensão do meu estágio, na Fabrica II da Refinaria de Sines em consequência da greve que se manteve na Refinaria nos primeiros meses do ano, ter concordado em manter a realização desta dissertação. Pela ajuda crucial que me deu na fase final desta dissertação sempre na tentativa de eu poder melhorar o meu trabalho e os resultados a apresentar. Pelos seus comentários construtivos, partilha de conhecimentos e pela disponibilidade demonstrada para esclarecimento de dúvidas.

Ao Engenheiro José Góis Rodrigues, queria expressar o meu sincero agradecimento por ter aceitado coordenar inicialmente a realização desta dissertação, em virtude dos infortúnios que não possibilitaram a colaboração inicial do Engenheiro Bruno. Por amavelmente nos receber sempre na Refinaria de Sines, pelas preciosas horas que me disponibilizou para esclarecimento de dúvidas e transmissão de conhecimentos que foram muito importantes no desenvolvimento do trabalho e pelas suas palavras de incentivo.

Ao meu co-orientador, o Professor Doutor Mário Eusébio, queria expressar o meu agradecimento pelo facto de me ter acompanhado e orientado ao longo da elaboração deste trabalho, pela grande disponibilidade e boa vontade com que sempre arranjou forma de solucionar os contratempos e imprevistos que foram surgindo ao longo destes últimos meses. Pelas horas que me disponibilizou para esclarecimento de dúvidas, transmissão dos seus conhecimentos e que partilhamos à descoberta do Petro-SIM™. E agradecer ainda o contacto efetuado com a Galp Energia que possibilitou a realização desta dissertação.

Ao Engenheiro Luís Rodrigues, queria agradecer pela disponibilidade e paciência com que me esclareceu sempre todas as dúvidas de Petro-SIM™. Por partilhar e disponibilizar parte da documentação e informação necessária a realização deste trabalho, pelos emails com palavras de incentivo e dicas para o bom funcionamento das simulações em Petro-SIM™.

Aos meus colegas do Mestrado Integrado em Engenharia Química e Bioquímica, agradeço por todos os momentos e conhecimentos partilhados durante todo o curso.

Aos meus colegas e amigos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica agradeço por tornarem o meu percurso académico mais agradável e divertido com a sua amizade e companheirismo.

Aos meus amigos agradeço pelo carinho, motivação e compreensão essenciais ao longo de todo o meu percurso académico. Em especial aos que estiveram sempre presentes nestes últimos meses e partilharam esta etapa comigo e que sempre me incentivaram e apoiaram a seguir os meus sonhos.

Aos meus avós queria agradecer pelas palavras de incentivo, constante preocupação e pelo orgulho que sempre demonstraram ter em mim.

Por fim aos mais importantes, os meus pais e irmã, a quem dedico esta dissertação, embora nunca tenha maneira suficiente de lhes mostrar o quanto estou agradecida. Aqui fica o meu mais sincero obrigada! Obrigada pela educação e valores transmitidos que me fizeram ser a pessoa que sou hoje, por terem investido na minha formação e por acreditarem sempre em mim. Por terem sonhado e percorrido estes caminhos comigo, afinal sem vocês nada disto seria possível.

Obrigada!



## Resumo

O trabalho realizado nesta dissertação foi desenvolvido no âmbito de um estudo de eficiência energética para a Fábrica II da Refinaria de Sines, da Galp Energia.

Este trabalho teve como objetivo principal otimizar a eficiência energética da Fábrica II, através da otimização das condições de operação da Desisobutanizadora.

Foi implementada a simulação da unidade de Desisobutanizadora em Petro-SIM™ para o caso design, usando as condições de operação da unidade que o licenciador forneceu.

Posteriormente foi efetuada a simulação de 4 casos reais de operação da Desisobutanizadora, entre eles a realidade corrente da refinaria, com o intuito de validar o modelo de simulação.

Na otimização da Desisobutanizadora, foram feitos dois casos de estudo, pureza baixa e pureza alta na carga, em que se fez variar a carga a unidade para as diferentes percentagens de produção de alquilado

Do ponto de vista energético verificou-se então que as condições ótimas de operação correspondem à minimização do calor ao Reebulidor, operando a razões de refluxo altas, sem inundar a unidade, e minimizando as perdas de Isobutano pelo fundo da unidade. O regime de operação nestas condições é de 81-82% de pureza em Isobutano na corrente de topo, para alimentações de pureza alta e baixa. Este ponto de operação corresponde ao mínimo de consumo específico de vapor.

A variável que tem mais influência no consumo energético da unidade é a pureza da corrente rica em Isobutano, ou seja, segundo as conclusões deste estudo operar a unidade a purezas próximas dos 90%, usando como referência apenas o consumo da Desisobutanizadora, não é vantajoso sob o ponto de vista energético, no entanto, este estudo de otimização precisa de ser complementado incorporando nele a unidade de Alquilação, o que poderá fazer com que o ótimo se desloque para valores superiores a 81%.

Palavras-chave: Desisobutanizadora, Petro-SIM™, Otimização, Eficiência energética, Isobutano



## Abstract

The work done in this thesis has been developed as part of an energy efficiency study for the Factory II Refinery Sines, Galp Energia.

This work aimed to optimize the energy efficiency of Factory II, through the optimization of the operating conditions of Deisobutanizer.

Deisobutanizer simulation in Petro-SIM™ for case design was implemented using the unit operating conditions that the licensor has provided.

Subsequently simulation was performed 4 cases of real operation Deisobutanizer, including the current reality of the refinery, in order to validate a simulation model.

In Deisobutanizer optimization we were made two cases of study, low purity and high purity in feed, wherein the unit was varied for different load percentages for the production of alkylated.

From the energy point of view, it is then found that the optimal operating conditions correspond to minimizing the heat reboiler operating at high reflux ratios, without flooding the unit, and minimizing the losses of the drive Isobutane background. The operating system in these conditions is 81-82% purity Isobutane in the overhead stream to high purity and low feeds. This operating point corresponds to the minimum of specific steam consumption.

The variable that has more influence on the energy consumption of the unit is the purity of the rich stream Isobutane, in the conclusions of this study operate the unit to purities close to 90%, with reference to only the consumption of Deisobutanizer, is not advantageous under the energetic point of view, however, this optimization study needs to be supplemented by incorporating therein the alkylation unit, which may make the optimal moves to greater than 81%.

Keywords: Deisobutanizer, Petro-SIM™, Optimization, Energy efficiency, Isobutane



# Índice

1.Enquadramento e Motivação .....	1
1.1.Refinaria de Sines .....	2
1.1.1.Descrição Processual .....	3
2.Introdução.....	5
2.1.Obtenção de Isobutano por destilação de frações leves .....	6
2.2.Alquilação .....	8
2.3.Influência do grau de pureza do Isobutano na produção de Alquilado pela via HF .....	9
2.4.Unidade de Alquilação - Desisobutanizadora.....	10
3 Metodologia.....	13
Petro-SIM™ .....	13
Seleção do Modelo Termodinâmico .....	13
4.Simulação Desisobutanizadora.....	19
4.1.Caso Design .....	19
4.2.Casos Reais: Validação.....	21
4.2.1.Caso 1 - Alimentação pobre em Isobutano - Carga alta, pureza baixa (80%) .....	21
4.2.2.Caso 2 - Alimentação rica em Isobutano - Carga alta, pureza > 90%.....	22
4.2.3.Caso 3 - Alimentação pobre em Isobutano - Carga baixa, pureza baixa (80%) .....	24
4.2.4.Caso 4 - Alimentação rica em Isobutano - Carga baixa, pureza > 90%.....	25
4.2.5.Conclusões sobre a implementação dos Casos Reais .....	26
4.3.Casos de Estudo .....	27
4.3.1.Caso A - Alimentação pobre em Isobutano, Pureza baixa (80%) no topo .....	27
4.3.2.Caso B - Alimentação rica em Isobutano, Pureza > 90% no topo.....	46
5.Resultados e Discussão.....	65
6.Conclusões.....	71
Referências Bibliográficas.....	73
Anexos.....	75
Anexo A - PFD da Implementação da Unidade Desisobutanizadora em Petro-SIM™ .....	77



## Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema da destilação fracionada do Petróleo .....	5
Figura 2 - Representação esquemática de uma Desisobutanizadora .....	7
Figura 3 - <i>Flowsheet</i> Desisobutanizadora com dois condensadores em série .....	7
Figura 4 - <i>Flowsheet</i> Desisobutanizadora com autorrecuperação de calor. ....	8
Figura 5 - Papel da unidade de Alquilação na refinação .....	8
Figura 6 - Esquema simplificado de uma unidade de Alquilação segundo o processo Phillip's HF. .....	9
Figura 7 - <i>Process Flow Diagram</i> Desisobutanizadora, correspondente a simulação realizada neste trabalho usando o software Petro-SIM™ .....	10
Figura 8 - Diagrama de decisão do melhor modelo termodinâmico .....	14
Figura 9 - Escolha do <i>Property Package</i> no Petro-SIM™ .....	17
Figura 10 - PFD do Petro-SIM™ .....	17
Figura 11 - <i>Sub-Flowsheet</i> da Coluna Desisobutanizadora implementada, em Petro-SIM™ ...	19
Figura 12 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC <sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado .....	28
Figura 13 - Representação Gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC <sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado .....	28
Figura 14 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado .....	29
Figura 15 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado .....	29
Figura 16 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC <sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado .....	30
Figura 17 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da De iC <sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado .....	30
Figura 18 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado .....	31
Figura 19 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado .....	31
Figura 20 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC <sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado .....	32

Figura 21 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado .....	32
Figura 22 - Representação gráfica da percentagem volumétrica iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado .....	33
Figura 23 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado .....	33
Figura 24 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado .....	34
Figura 25 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado .....	34
Figura 26 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado .....	35
Figura 27 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado .....	35
Figura 28 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado .....	36
Figura 29 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado .....	36
Figura 30 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado .....	37
Figura 31 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado .....	37
Figura 32 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado .....	38
Figura 33 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado .....	38
Figura 34 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado .....	39



Figura 35 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado .....	39
Figura 36 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado .....	40
Figura 37 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado .....	40
Figura 38 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado .....	41
Figura 39 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado .....	41
Figura 40 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado .....	42
Figura 41 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado .....	42
Figura 42 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado .....	43
Figura 43 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado .....	43
Figura 44 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado .....	44
Figura 45 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado .....	44
Figura 46 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado .....	45
Figura 47 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado .....	45
Figura 48 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado .....	46

Figura 49 - Representação Gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado .....	47
Figura 50 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado .....	47
Figura 51 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado .....	48
Figura 52 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado .....	48
Figura 53 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado .....	49
Figura 54 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado .....	49
Figura 55 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado .....	50
Figura 56 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado .....	50
Figura 57 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado .....	51
Figura 58 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado .....	51
Figura 59 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado .....	52
Figura 60 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado .....	52
Figura 61 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado .....	53
Figura 62 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado .....	53

Figura 63 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado .....	54
Figura 64 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado .....	54
Figura 65 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado .....	55
Figura 66 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado .....	55
Figura 67 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado .....	56
Figura 68 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado .....	56
Figura 69 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado .....	57
Figura 70 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado .....	57
Figura 71 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado .....	58
Figura 72 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado .....	58
Figura 73 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado .....	59
Figura 74 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado .....	59
Figura 75 - Representação gráfica da percentagem de $iC_4$ perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado .....	60
Figura 76 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de $iC_4$ obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado .....	60

Figura 77 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado .....	61
Figura 78 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado .....	61
Figura 79 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado .....	62
Figura 80 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> obtida no topo da DeiC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado .....	62
Figura 81 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado .....	63
Figura 82 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC <sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado .....	63
Figura 83 - Representação gráfica da percentagem de iC <sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado .....	64
Figura 84 - Representação gráfica do consumo específico para os ótimos de operação em função da produção de alquilado .....	66
Figura 85 - Representação gráfica da pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora nos pontos ótimos para as várias percentagens de produção de alquilado .....	66
Figura 86 - Representação gráfica da concentração de Água em ppm na corrente de topo da DeiC4 nos pontos ótimos para as varias percentagens de produção de alquilado.....	69

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Alimentação considerada para o Caso Design da Desisobutanizadora.....	11
Tabela 2 - Gama de condições em que a Equação de <i>Peng Robinson</i> é aplicável.....	15
Tabela 3 - Comparação entre as equações de estado <i>Soave Redlich Kwong</i> e <i>Peng Robinson</i> . .....	16
Tabela 4 - Caracterização da Alimentação ao Caso Design em percentagem volumétrica.....	20
Tabela 5 - Variáveis manipuladas no Caso Design .....	20
Tabela 6 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor do Caso Design .....	20
Tabela 7 - Caracterização da Alimentação do Caso 1 .....	21
Tabela 8 - Variáveis manipuladas no Caso 1 .....	22
Tabela 9 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 1 .....	22
Tabela 10 - Caracterização da Alimentação do Caso 2 .....	23
Tabela 11 - Variáveis manipuladas no Caso 2 .....	23
Tabela 12 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 2 .....	23
Tabela 13 - Caracterização da Alimentação do Caso 3 .....	24
Tabela 14 - Variáveis manipuladas no Caso 3 .....	24
Tabela 15 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 3 .....	25
Tabela 16 - Caracterização da Alimentação do Caso 4 .....	25
Tabela 17 - Variáveis manipuladas no Caso 4 .....	26
Tabela 18 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 4 .....	26
Tabela 19 - Condições de operação para cada ponto ótimo, para produções de Alquilado de [85-125]% .....	46
Tabela 20 - Condições de operação para cada ponto ótimo, para produções de Alquilado de [85-125]% .....	64
Tabela 21 - Pontos ótimos de operação da Desisobutanizadora para produções de Alquilado de [85-125]% .....	65
Tabela 22 - Consumo específico da Desisobutanizadora nos pontos ótimos de operação para produções de Alquilado de [85-125]% .....	65
Tabela 23 - Valores de pureza em Isobutano, na corrente de topo, para o caso A com uma produção de 100% de alquilado .....	67
Tabela 24 - Valores de pureza em Isobutano, na corrente de topo, para o caso B com uma produção de 100% de alquilado .....	68
Tabela 25 - Consumo específico para o Caso A com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90] % .....	68
Tabela 26 - Consumo específico para o Caso B com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90]% .....	69
Tabela 27 - Água na corrente de topo da DeiC4 no Caso A com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90]% .....	70
Tabela 28 - Água na corrente de topo da DeiC4 no Caso B com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90]% .....	70



## Abreviaturas

% vol	Percentagem volumétrica
DeiC4	Desisobutanizadora
EUA	Estados Unidos da America
FCC	Fluidic Catalytic Cracking
GPL	Gás de Petróleo liquefeito
HF	Ácido fluorídrico
iC <sub>4</sub>	Isobutano
LP	Low Pressure
nC <sub>4</sub>	n-Butano
PR	Peng Robinson
QR	Calor fornecido ao Reebulidor
RR	Razão de refluxo
SRK	Soave Redlich Kwong





# 1. Enquadramento e Motivação

A indústria petroquímica é cada vez mais confrontada com a necessidade de redução de custos operacionais no seu processo produtivo, no sentido de aumentar a margem do negócio. É neste seguimento que a questão da eficiência dos equipamentos que constituem o processo produtivo das indústrias adquire especial importância intervindo diretamente na produtividade, desenvolvimento e competitividade das indústrias, ou seja, interfere diretamente no aproveitamento dos recursos energéticos.

A evolução do conhecimento científico, que se traduz em avanços tecnológicos, permite fornecer constantemente novas soluções aos equipamentos existentes no processo produtivo das empresas com vista a melhorar o seu rendimento.

Em paralelo, com o aumento de rendimento dos equipamentos procura-se sempre reduzir os custos associados ao equipamento em questão, quer ao nível da alteração dos seus consumos energéticos, procedimentos de manutenção ou de mudanças no projeto existente. É no seguimento desta linha de pensamento que surge o trabalho a realizar nesta dissertação.

A quando da construção da unidade de Alquilação da Fábrica II da Refinaria de Sines, ficaram previstas a construção de algumas unidades a montante da mesma, entre elas a Desisobutanizadora. Cujas principais funções são melhorar a qualidade da corrente de butanos saturados que alimenta a Alquilação, isto é, promover a separação entre o Isobutano e n-Butano e diminuir a quantidade de n-Butano enviada para a unidade de Alquilação.

Principalmente durante os meses de verão em que a procura de gasolina aumenta, é necessário maximizar a produção de alquilado e como o n-Butano é um composto inerte acaba por limitar a capacidade de produção de alquilado ao “roubar espaço” no reator com a sua presença. O que provoca grandes consumos de vapor e conseqüentemente graves perdas energéticas. O investimento anteriormente realizado na Desisobutanizadora permitiu aumentar a produção de alquilados nos períodos de maior procura.

O principal objetivo deste trabalho consiste em maximizar a eficiência energética da Desisobutanizadora, minimizando o consumo de vapor e simultaneamente fornecer à Alquilação uma alimentação rica em Isobutano e pobre em n-Butano. Apontando o *target* de Isobutano a fornecer à Alquilação ou a Razão de Refluxo a que a unidade deve operar na situação ideal.

Foi usado, como ferramenta auxiliar ao desenvolvimento deste trabalho, o *software* Petro-SIM™ 6.0 da KBC.

## 1.1. Refinaria de Sines

A refinaria de Sines iniciou a sua laboração a 15 de Setembro de 1978. A génese do projeto enquadra-se nas grandes mudanças nos tecidos político, económico e social que se operaram em Portugal, durante as décadas de 70 e 80, assistindo-se ao arranque de grandes empreendimentos [1].

A construção desta refinaria integrava-se numa estratégia de exportação para o mercado dos EUA numa conjuntura internacional de expansão do consumo de produtos petrolíferos. Após as crises do petróleo, a refinaria de Sines acomodou a sua produção às necessidades do mercado doméstico, atualizando o nível tecnológico do seu aparelho por forma a torná-lo competitivo em cenário de crise [1].

A sua localização foi escolhida por se tratar de um porto de águas profundas – 50 metros de profundidade, o que tornou este porto na mais movimentada rota mundial de petroleiros, sendo hoje um dos mais modernos polos de desenvolvimento nacional e internacional.

A refinaria da Galp Energia em Sines constitui uma unidade industrial estratégica, muito importante na atividade económica do país. A refinaria está apetrechada com a mais sofisticada tecnologia da indústria petrolífera, quer em termos operacionais, quer no que concerne à proteção do meio ambiente e possui um rigoroso sistema de segurança de pessoas e bens. Atualmente, além de abastecer dois terços do mercado nacional, a refinaria é um dos maiores exportadores de produtos petrolíferos em Portugal [1].

A refinaria de Sines é uma das maiores da Europa, com uma capacidade de destilação de 10,9 milhões de toneladas por ano, ou seja, 220 mil barris por dia.

Ocupa uma área de 320 hectares, com uma capacidade de armazenagem de 3 milhões de m<sup>3</sup>, dos quais 1,5 milhões de petróleo bruto e o restante de produtos intermédios e finais, como o gás, a gasolina, o gasóleo, etc.. A refinaria compreende um total de 34 unidades processuais [1].

A refinaria de Sines dispõe de uma configuração processual que permite a elevada produção de gasolinas dispondo, para isso, de uma unidade de FCC (Fluidic Catalytic Cracking), bem como a maximização da produção de gasóleos, através da sua mais recente unidade Hydrocracker, que iniciou produção em janeiro de 2013 [1].

A refinaria de Sines produz:

- Gasolina;
- Gasóleo;
- GPL (gás de petróleo liquefeito);
- Fuelóleo;
- Nafta (usada pela indústria petroquímica para fazer polímeros de onde são feitos os plásticos, as fibras para os tecidos e até a pastilha elástica);
- Jet fuel (combustível para aviões);
- Betume (para asfaltos e isolante);

- Enxofre (para produtos farmacêuticos, agricultura e branqueamento da pasta de papel).

Estes combustíveis são produzidos com os mais recentes padrões de exigência ambiental, de onde se destacam gasolinas e gasóleos de muito baixo teor de enxofre (10 ppm).

### 1.1.1. Descrição Processual

A Refinaria é constituída por Unidades Processuais que envolvem operações de separação física, tratamento químico e conversão da estrutura molecular de algumas famílias de hidrocarbonetos. As operações químicas de conversão molecular, ocorrem normalmente em presença de catalisadores, e nalguns casos numa atmosfera de hidrogénio.

Atualmente a Refinaria de Sines integra diversas unidades, as quais se encontram distribuídas por três áreas processuais principais designadas por Fabricação I, Fabricação II e Fabricação III.

O trabalho a desenvolver nesta dissertação irá se centrar sobre a Fabricação II, mais concretamente a unidade Desisobutanizadora a montante da unidade de Alquilação.

A unidade de Alquilação tem por objetivo a produção de alquilado, que é utilizado como componente de gasolinas. Uma vez que se trata de um componente de elevada qualidade devido essencialmente ao elevado teor de octanas, ausência de olefinas e aromáticos.

A carga à unidade é constituída por butileno proveniente da unidade FCC e Isobutano produzido nas unidades da fábrica I: destilação Atmosférica e *isomax*.

O butileno depois de previamente tratado na unidade de *hydrisom*, mistura-se com o Isobutano vindo da secção de secagem, os quais reagem na presença de um catalisador dando origem ao alquilado. Este catalisador é constituído por ácido fluorídrico (HF) na fase líquida e é continuamente regenerado na secção de regeneração [1].



## 2.Introdução

Do ponto de vista químico o petróleo corresponde a uma complexa mistura de hidrogénio e carbono, cuja formação teve origem há centenas de milhões de anos a partir de restos vegetais e animais. Nos nossos dias, o petróleo assume uma importância impar no âmbito dos recursos estratégicos mais importantes.

Dado que o petróleo bruto é uma mistura muito complexa, para ele poder ser usado como combustível é necessário proceder à sua refinação. Dessa refinação resultam diversas frações, constituindo algumas delas os vários combustíveis que normalmente se usam (combustível de avião, gasóleo, gasolina, fuelóleo, etc.), como é demonstrado na Figura 1.

O processo de refinação consiste numa sucessão de operações de destilação fracionada (que tiram partido das diferenças de volatilidade dos vários componentes do petróleo para obter produtos, frações, com composição diferente) e de operações de “*cracking*”.

A destilação é uma operação de separação (operação unitária, como se designam em Engenharia Química) largamente utilizada na Industria Petroquímica, na separação do petróleo (crude) em frações de hidrocarbonetos com diferentes gamas de peso molecular [2].

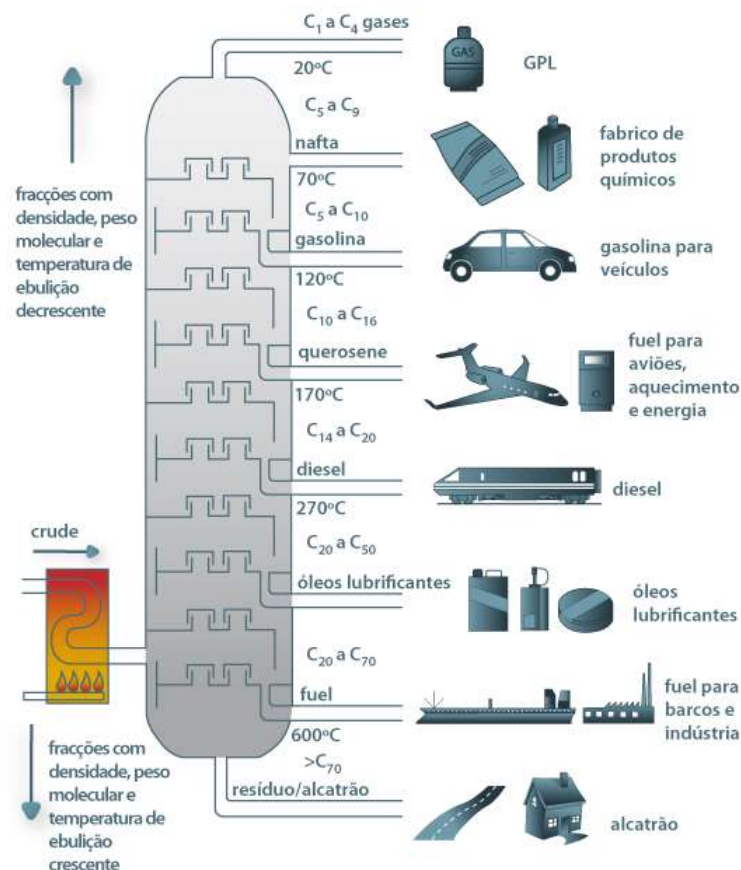


Figura 1 - Esquema da destilação fracionada do Petróleo [2].

A Separação de componentes em unidades de destilação representa a maior parte dos gastos energéticos da industria petroquímica e como se trata do processo de separação mais

utilizado é recorrente a realização de estudos que permitam minimizar os gastos energéticos deste processo e conseqüentemente aumentar a sua rentabilidade.

Atualmente, a simulação assistida por computador é uma das mais importantes ferramentas tecnológicas de processos químicos, a qual é amplamente utilizada não só na fase de projeto, mas também durante a fase de operação das unidades. Com os softwares de simulação podemos criar modelos estáticos ou dinâmicos rigorosos, para projetos de fábricas, monitorização de desempenhos, resolução de problemas operacionais, elaboração de planos de negócio e gestão de cativos. Sem ser necessário efetuar os testes nas unidades reais [3].

A gasolina é o segundo combustível mais consumido entre os combustíveis que são utilizados no transporte rodoviário. A gasolina é um combustível de alta densidade energética, sendo muito adequado para motores de ciclo Otto (o ciclo de Otto é um ciclo termodinâmico, que idealiza o funcionamento de motores de combustão interna de ignição por centelha. Importa referir que a gasolina que abastece os motores de combustão é normalmente o resultado da mistura de mais do que uma fração da refinação do petróleo, em particular de frações provenientes de matérias-primas (petróleos) diferentes, com vista a obter um combustível com o índice de octanas desejado.

O Alquilado é um componente de alta qualidade devido principalmente ao seu elevado índice de octanas ausência de olefinas e aromáticos, que é muito procurado em certos mercados com maior consumo per capita de gasolina, como é o caso dos EUA.

No caso concreto da Refinaria de Sines a unidade de Alquilação opera com uma unidade Desisobutanizadora a montante que têm como função a purificação e separação da mistura de butanos saturados proveniente da armazenagem, da despropanizadora de LPG e do *Hydrocracker* da fábrica I.

## 2.1.Obtenção de Isobutano por destilação de frações leves

A mistura de Isobutano e n-Butano pode ter origem no fracionamento do gás natural ou na refinação do petróleo A separação da mistura de Isobutano e n-Butano é dos processos de destilação industrial mais importantes, pois estes componentes têm pontos de ebulição bastante próximo pelo para que ocorra a sua separação é necessário uma coluna com elevado número de pratos e que opere a razões de refluxo altas [4,5]. O Isobutano é o primeiro a evaporar e sai como produto de topo enquanto que o n-Butano é o produto de fundo resultante da separação que ocorre na coluna, como é ilustrado na Figura 2.

Nas ultimas décadas têm surgido diversos estudos, realizados com o intuito de otimizar o consumo energético das unidades Desisobutanizadoras, através da implementação e simulação da unidade em softwares de simulação que é possível encontrar na literatura são adotadas diversas estratégias para minimizar os gastos energéticos. Desde alterações de variáveis de operação, alterações ao design da coluna ou mesmo substituição de equipamentos [3,4,6,].

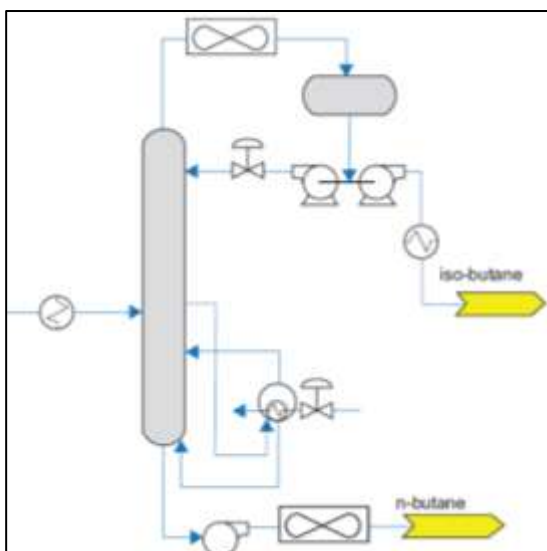


Figura 2 - Representação esquemática de uma Desisobutanizadora [3]

O trabalho realizado por *William L. Luyben* em 2013, mostra que a maioria das colunas de destilação usa condensadores arrefecidos com *cooling water*, por ser o método de arrefecimento mais barato. No caso da Desisobutanizadora a forma mais rentável de fazer o sistema de arrefecimento na coluna é através de dois condensadores em série com *cooling water* como utilidade, ver Figura 3 [4]. No entanto com o passar do tempo e a evolução tecnológica a utilização de Aeroarrefecedores como sistema de refrigeração da Desisobutanizadora têm vindo a revelar a opção mais rentável e que permite minimizar significativamente os gastos energéticos da unidade na separação de frações leves.

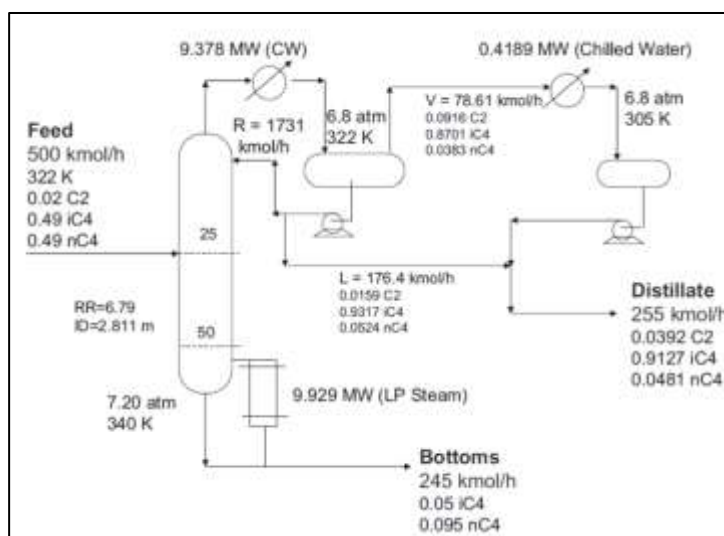


Figura 3 - Flowsheet Desisobutanizadora com dois condensadores em série [4].

Simultaneamente têm sido testados sistemas de autorrecuperação do calor libertado pela Desisobutanizadora, Figura 4. Que permitem reduzir o consumo de energia por compressão da corrente de efluente, cuja temperatura foi aumentada para proporcionar a diferença de

temperatura mínima para o permutador de calor, e fazer circular o fluxo de calor no processo. Estes estudos propõem ainda a integração de calor no processo para melhorar o desempenho de autorrecuperação de calor. Os resultados obtidos mostraram que estas alterações permitem diminuir as necessidades de energia do condensador e os custos operacionais, em comparação com um sistema de uma coluna convencional [6].

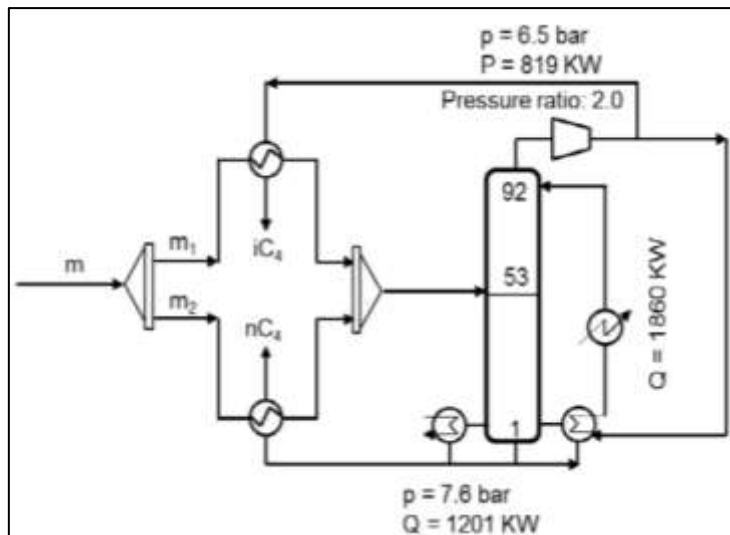


Figura 4 - Flowsheet Desisobutanizadora com autorrecuperação de calor [6].

Minimizando o consumo de vapor pelo Reebulidor (ou equivalentemente, a razão de refluxo) é possível minimizar os custos de operação e levar a coluna perto do ótimo de operação [6].

## 2.2. Alquilação

Uma refinaria é composta por um conjunto diversificado de unidades, entre as quais a Alquilação, como se pode ver na Figura 5. A unidade de Alquilação, tem como objetivo maximizar a produção de gasolina de alta qualidade.

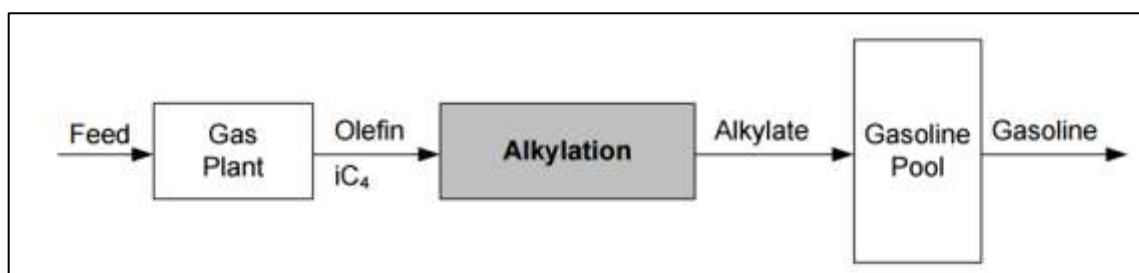


Figura 5 - Papel da unidade de Alquilação na refinação [7].

A máxima rentabilidade de uma unidade de Alquilação ocorre quando esta opera num ponto onde a sua carga é a maior possível, a octanagem do alquilado é compatível com as necessidades da refinaria e com os altos rendimentos de alquilado (em relação as olefinas).

Uma unidade de Alquilação catalítica em que o ácido fluídico é o catalisador opera de acordo com a representação esquemática da Figura 5, a grande vantagem do processo Phillip's



é a de não ser necessário agitação mecânica no reator devido à elevada solubilidade do Isobutano e baixa viscosidade do ácido fluorídrico.

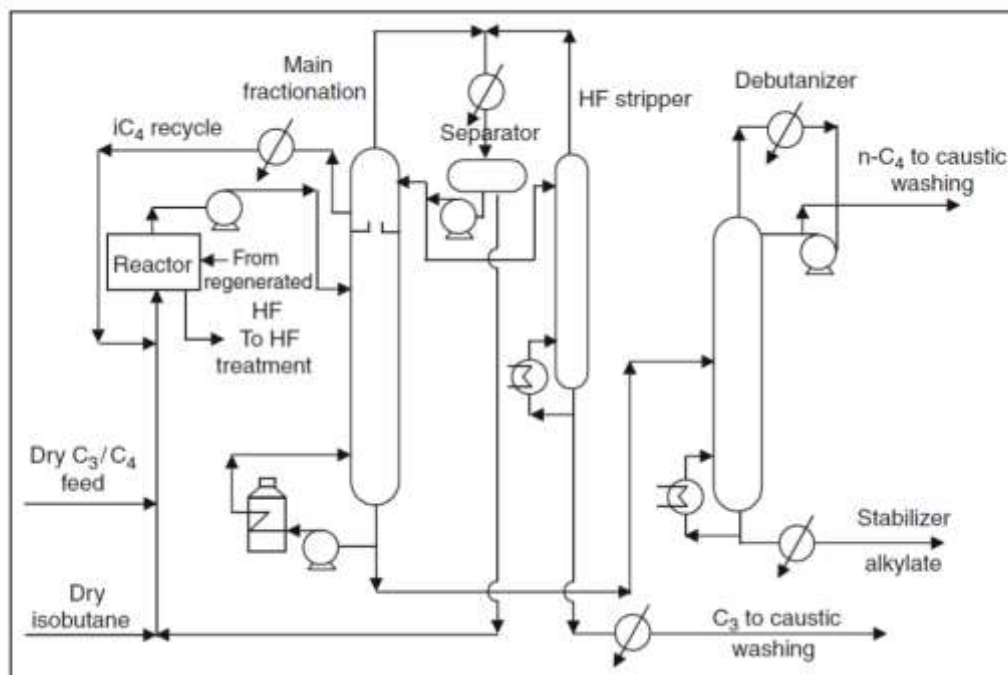


Figura 6 - Esquema simplificado de uma unidade de Alquilação segundo o processo Phillip's HF [7].

A corrente de Isobutano proveniente da unidade Desisobutanizadora passa pelos secadores e entra na unidade de Alquilação onde vai sofrer a reação catalítica com o HF na presença das olefinas.

A qualidade dos produtos resultantes da Alquilação pode ser influenciada pelos tipos de olefinas existentes na alimentação, pela temperatura, pela força do ácido, pelo tempo de residência ou pela concentração de Isobutano [7].

### 2.3. Influência do grau de pureza do Isobutano na produção de Alquilado pela via HF

O processo de Alquilação usa-se para produzir hidrocarbonetos médios para gasolina, partindo de hidrocarbonetos de massa molecular inferior aos hidrocarbonetos da gasolina.

Na Alquilação procura-se não só transformar hidrocarbonetos saturados leves em hidrocarbonetos médios, mas ao mesmo tempo procura-se que os hidrocarbonetos médios sejam alifáticos ramificados para aumentar o índice de octano.

Nos processos de Alquilação faz-se reagir Isobutano com olefinas. O catalisador, ácido fluorídrico, tem que ter a propriedade de fazer reagir uma olefina com Isobutano, um hidrocarboneto alifático, em vez de reagir com outra olefina e produzir um polímero. Produz-se sempre uma certa quantidade de polímero que é removido no alquilado principal [8].

Para aumentar a capacidade de produção de alquilados estas unidades costumam aparecer acopladas a um processo de isomerização de n-Butano, por exemplo usando a tecnologia *Butamer*, da qual faz parte uma Desisobutanizadora. Quando não há reator de isomerização a alimentação ao Reator de Alquilação é a corrente de topo da Desisobutanizadora, que é previamente seca usando colunas de secagem. A presença de n-Butano nesta corrente, que é um inerte, ao ser alimentado ao reator de alquilação reduz a capacidade de produção de alquilados.

A presença excessiva de água na corrente de topo da Desisobutanizadora pode conduzir à saturação prematura dos secadores, e à presença de água na corrente de alimentação à unidade de Alquilação, o que provoca problemas graves de corrosão nesta unidade.

## 2.4. Unidade de Alquilação - Desisobutanizadora

O objetivo da Unidade Desisobutanizadora é aumentar a concentração de Isobutano alimentado à unidade de Alquilação, de modo a aumentar a capacidade de produção da mesma.

A Desisobutanizadora fraciona uma mistura saturada de butanos em duas correntes, uma corrente de Isobutano no topo que irá alimentar a unidade de Alquilação e outra de n-Butano no fundo que será armazenada.

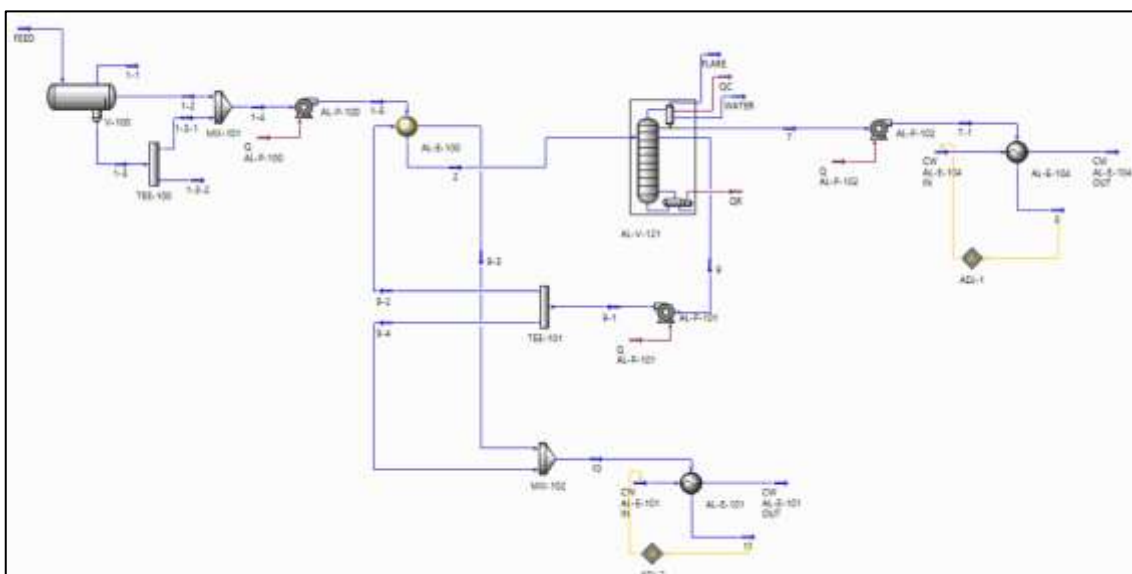


Figura 7 - *Process Flow Diagram* Desisobutanizadora, correspondente a simulação realizada neste trabalho usando o software Petro-SIM™.

O *Process Flow Diagram* da Desisobutanizadora apresentado na Figura 7 em escala reduzida, pode ser consultado no Anexo A em formato A4.

A alimentação à Desisobutanizadora apresentada na Tabela 1, trata-se uma mistura de três correntes de butanos, provenientes da armazenagem, da Despropanizadora de LPG e do *Hydrocracker* da fábrica I, coletadas num balão de carga. De onde é bombeada até um

permutador onde ocorre um pré-aquecimento da mesma até à temperatura desejada, 62°C. A unidade esta projetada para uma alimentação de 863,1 ton/dia.

Tabela 1 - Alimentação considerada para o Caso Design da Desisobutanizadora [9].

<b>Composição</b>	<b>%vol</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,8699
<b>C<sub>3</sub></b>	2,0948
<b>iC<sub>4</sub></b>	36,1433
<b>nC<sub>4</sub></b>	59,5350
<b>nC<sub>5</sub></b>	1,3569
<b>Rate (Kmol/h)</b>	641,2
<b>Total (Kg/h)</b>	35963
<b>Massa Molecular</b>	56,1

A corrente pré-aquecida é então alimentada a Desisobutanizadora, no prato 30, onde ocorre a separação dos butanos. Na base da Deisobutaniadora o Reebulidor, opera com vapor de baixa pressão, 3.5 barg. No topo da unidade esta instalado um aeroarrefecedor onde os vapores, Isobutano, é totalmente condensado e segue para o balão. Parte do líquido coletado no balão é bombeado sob a forma de refluxo para a Desisobutanizadora. O restante líquido é arrefecido até a temperatura de 38°C por forma a ser enviado para a Alquilação.

Na parte inferior da Deisobutanizadora são removidos os componentes mais pesados juntamente com o n-Butano. Esta corrente de fundo serve de utilidade ao permutador, que existe no início do processo para pré aquecer a alimentação. Após a sua passagem no permutador para troca de calor com a corrente de alimentação é finalmente conduzida a um condensador onde arrefece até a temperatura de 38°C e segue para armazenagem.

O Isobutano alimentado à unidade de Alquilação deve apresentar-se dentro das especificações, que é de 80% mol de Isobutano. Enquanto que o resíduo de n-Butano presente na corrente de alimentação a Alquilação deve passar no ensaio ASTM D2158 [9].



## 3. Metodologia

### Petro-SIM™

O Petro-SIM™ é o primeiro e único simulador de processo capaz de modelar verdadeiramente todas as vertentes de processamento de hidrocarbonetos, incluindo os aspetos de produção e de geração de energia através do gás natural, processos de instalações de topo de petróleo e gás, através de uma detalhada e rigorosa simulação de refinaria, incluindo todos os principais sistemas de reação [10].

O Petro-SIM™ *Production* é adequado para modelar instalações a montante ou a produção incluindo plantas de gás, instalações de GNL e plataformas básicas de petróleo e de separação de gás. Fornece uma inovadora tecnologia para apoiar avaliações comparativas, tornando-se uma vantagem competitiva para aumentar a rentabilidade, reduzir os erros [10].

O Petro-SIM™ *Refining* é o software mais adequado para processos de refinação uma vez que vem equipado com uma ampla gama de operações e reações, uma extensa lista de métodos de identificação de hidrocarbonetos e ainda uma vasta gama de operações de controlo na petroquímica. Propriedades todas elas capazes de suportar e a ajudar a construir modelos completamente rigorosos das instalações [10].

Trata-se de um *software* que mantém o seu foco no *upstream*, *midstream*, e *downstream*. E permite aos seus utilizadores quebrar as barreiras do desempenho e melhorar a rentabilidade de várias formas [10].

A execução da simulação da unidade em estudo exigiu a aplicação de diversas operações unitárias. Cada uma destas foi selecionada de modo a desempenhar, o mais aproximado da realidade possível, a função do equipamento correspondente.

A simulação foi baseada nos valores do balanço de massa e condições chave de operação, definidos no projeto Design da unidade Desisobutanizadora da Alquilação, pela empresa de engenharia Técnicas Reunidas.

É importante salientar que as especificações de convergência atribuídas aos equipamentos foram pensadas de modo a que ao ser alterada a carga da unidade a simulação respondesse automaticamente a esta mudança e não fosse necessária a intervenção manual na mesma.

### Seleção do Modelo Termodinâmico

A seleção do modelo termodinâmico adequado ao caso em estudo é uma das etapas mais importantes numa simulação, uma vez que este afeta os resultados finais da mesma. Pelo que é necessário assegurar que as propriedades dos componentes puros ou de misturas são estimadas de forma adequada.

Não existe nenhum modelo termodinâmico universal que permita reproduzir rigorosamente o comportamento de todas as espécies, em todas as condições e para todas as transformações. Na seleção do *fluid package* mais adequado é necessário ter em consideração as especificidades particulares de cada modelo e ponderar a sua aplicabilidade ao processo que pretendemos construir.

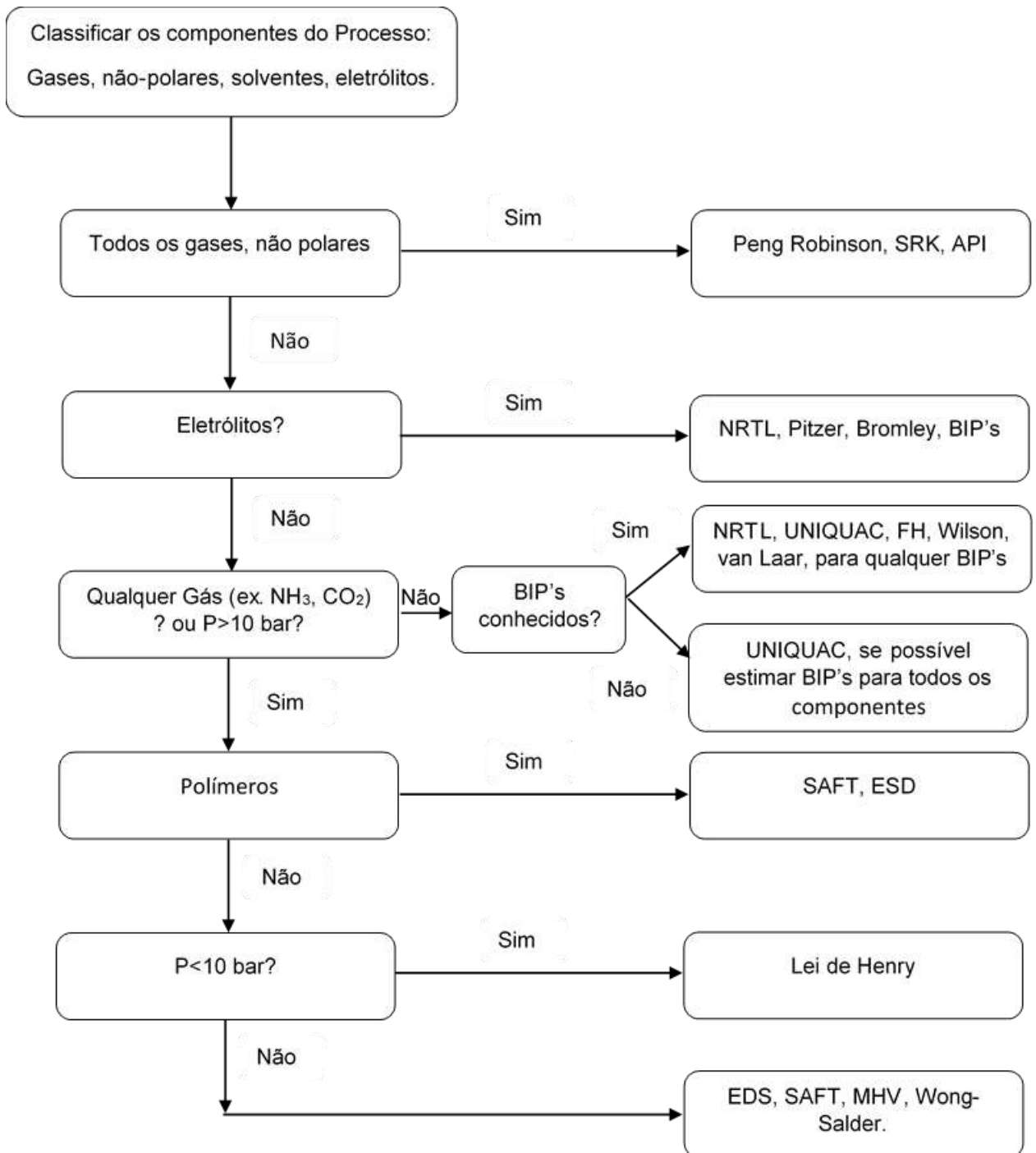


Figura 8 - Diagrama de decisão do melhor modelo termodinâmico, adaptado [11].

Tendo por base o Diagrama de decisão da Figura 8 e uma pesquisa pela literatura existente, obtemos como modelo termodinâmico mais adequado para o caso a ser simulado o Peng-Robinson [12,13].

Sendo que para óleos, gases e aplicações petroquímicas, a equação de estado Peng Robinson (PR) é geralmente o *Property Package* recomendado numa larga gama de condições, como descrito na Tabela 2. Esta equação descreve rigorosamente a maior parte dos sistemas mono, bi e trifásicos com elevado grau de eficiência e rigor.

Tabela 2 - Gama de condições em que a Equação de *Peng Robinson* é aplicável [10,11]

Método	Temperatura (°C)	Pressão (KPa)
PR	>-271	<100
SRK	>-143	<35

A equação *Peng Robinson* tem como principais características:

- Intervalo mais amplo de condições de operação;
- Maior número de componentes, tanto hidrocarbonetos como não-hidrocarbonetos.
- Em condições de misturas utiliza coeficientes de interação binários ( $k_{ij}$ ), obtidos em dados experimentais;
- Gera diretamente, tal como a equação SRK, todos os valores das propriedades termodinâmicas e dados de equilíbrio;
- Não possibilita a utilização de misturas líquidas não-ideais de compostos polares.

Este modelo tem sido implementado para diferentes funções alfa e tem sido estendido de modo a incluir regras avançadas para misturas assimétricas. A equação de Peng-Robinson apresenta ainda um segundo parâmetro,  $b$ , que é função da temperatura e pressão críticas.

De uma forma geral, com esta equação, podemos estabelecer as seguintes conclusões:

- Os parâmetros devem ser expressos em termos de propriedades críticas, como a temperatura e a pressão, bem como o fator acêntrico de *Pitzer*;
- O modelo deve apresentar um melhor desempenho, comparado com o modelo anterior, na vizinhança do ponto crítico, nomeadamente quanto ao cálculo do fator de compressibilidade e da densidade de líquido;
- Nas regras de misturas não se deve empregar mais de um coeficiente de interação binário. Este coeficiente deve ser independente da temperatura, da pressão e da composição.

A equação de estado *Peng Robinson* surgiu quatro anos depois da publicação da equação *Soave Redlich Kwong (SRK)* apresentando alterações adicionais em relação a esta, na

intenção de melhorar o ajuste dos valores experimentais na zona crítica e em volumes molares de líquidos. Como é possível observar na Tabela 3 onde se comparam estas duas equações.

A Figura 9 mostra o separador do software que permite selecionar o *property package* pretendido para a simulação.

Após a seleção dos compostos existentes no processo e do pacote de propriedades adequado ao mesmo é então possível iniciar o *Process Flow Diagram*, PFD do simulador, Figura 10.

Tabela 3 - Comparação entre as equações de estado *Soave Redlich Kwong* e *Peng Robinson* [10,11].

	<b>Soave Redlich Kwong (SRK)</b>	<b>Peng Robinson (PR)</b>
	$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)}$ $Z^3 - Z^2 + (A - B - B^2)Z - AB = 0$	$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b) + b(V-b)}$ $Z^3 + (1-B)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z - (AB-B^2-B^3) = 0$
<b>b</b> =	$\sum_{i=1}^N x_i b_i$	$\sum_{i=1}^N x_i b_i$
<b>b<sub>i</sub></b> =	$0,08664 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}}$	$0,077796 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}}$
<b>a</b> =	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j (a_i a_j)^{0,5} (1 - k_{ji})$	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j (a_i a_j)^{0,5} (1 - k_{ji})$
<b>a<sub>i</sub></b> =	$a_{ci} \alpha_i$	$a_{ci} \alpha_i$
<b>a<sub>ci</sub></b> =	$0,42747 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}}$	$0,457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}}$
<b>α<sub>i</sub><sup>0,5</sup></b>	$1 + m_i (1 - T_{ri}^{0,5})$	$1 + m_i (1 - T_{ri}^{0,5})$
<b>m<sub>i</sub></b> =	$0,48 + 1,574\omega_i - 0,176\omega_i^2$	$0,37464 + 1,542264\omega_i - 0,26992\omega_i^2$ $\omega_i > 0,49$ $0,379642 + (1,48503 - (0,164423 - 1,016666\omega_i)\omega_i)\omega_i$
<b>A</b> =	$\frac{aP}{(RT)^2}$	$\frac{aP}{(RT)^2}$
<b>B</b> =	$\frac{bP}{RT}$	$\frac{bP}{RT}$



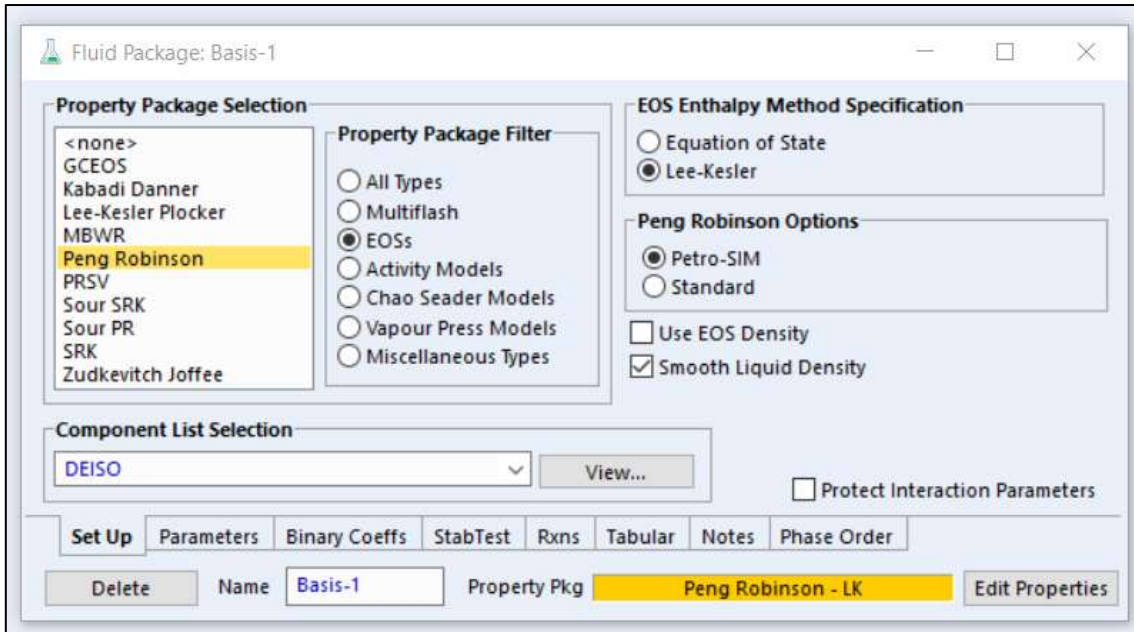


Figura 9 - Escolha do *Property Package* no Petro-SIM™

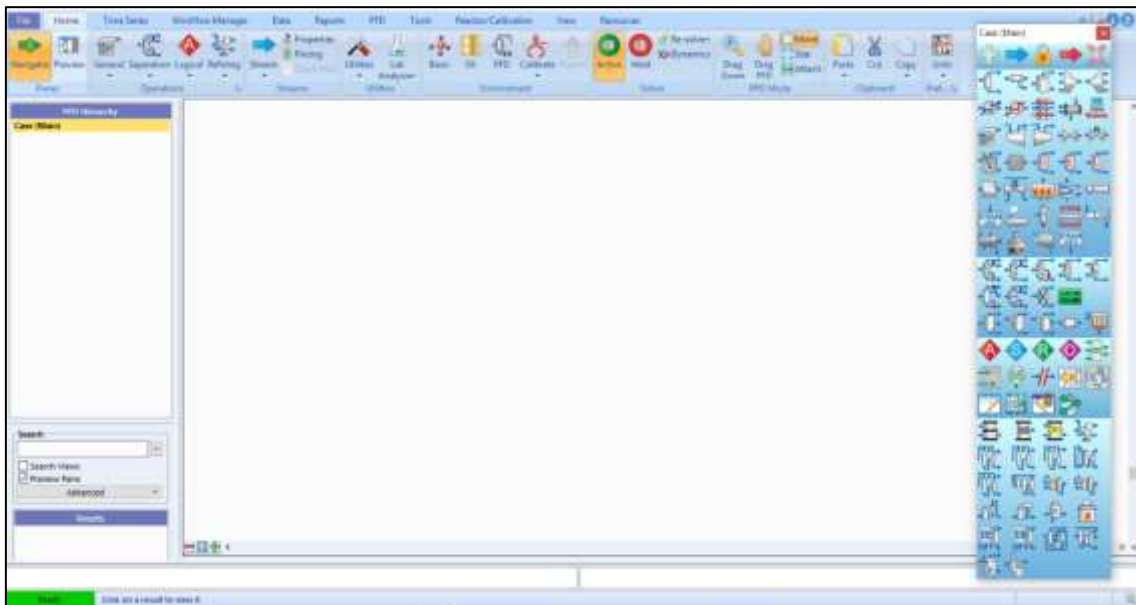


Figura 10 - PFD do Petro-SIM™



## 4. Simulação Desisobutanizadora

Para a implementação da Desisobutanizadora no simulador Petro-SIM™ foi necessário a recolha dos dados operacionais da unidade, recorrendo para isso à base de dados da Refinaria de Sines, pelo que para o caso de design foram utilizados os dados fornecidos pelo licenciador [9].

### 4.1. Caso Design

Para a implementação do Caso Design recorreu-se a utilização de uma coluna do tipo *Distillation Column Sub-Flowsheet*. Que é um modelo completo e adequado à destilação de fracções leves em contexto de refinação.

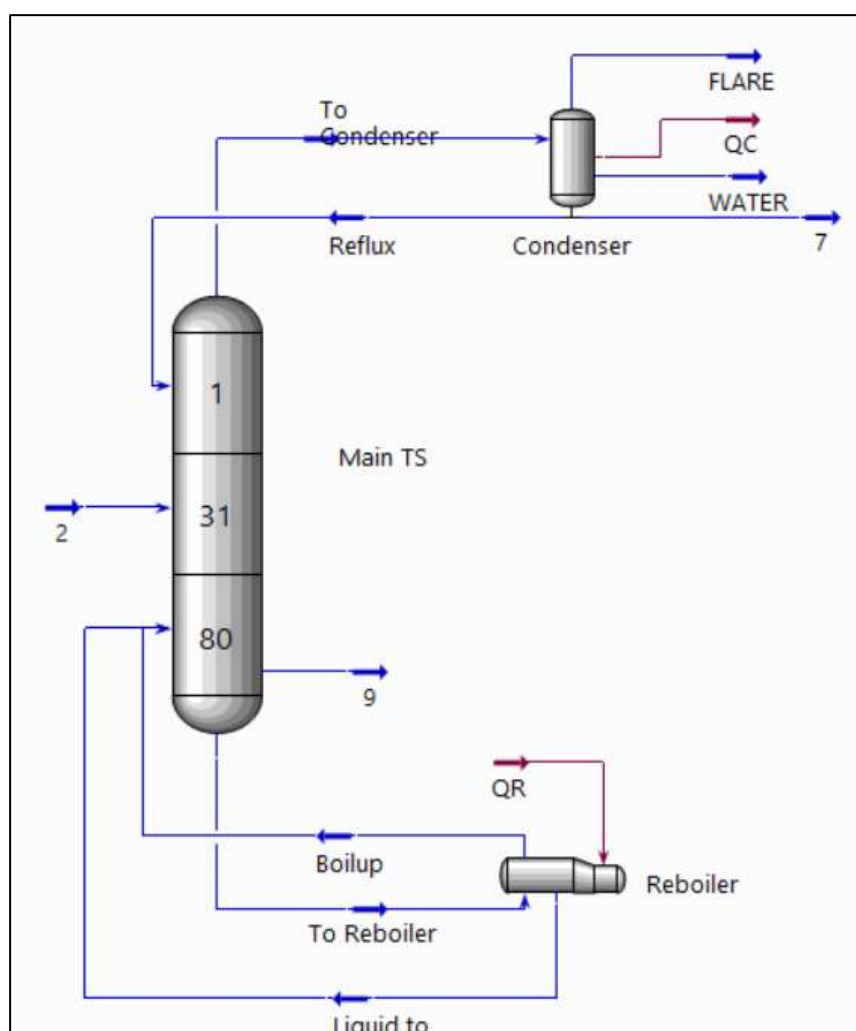


Figura 11 - *Sub-Flowsheet* da Coluna Desisobutanizadora implementada, em Petro-SIM™

Na Tabela 4 apresenta-se a alimentação característica presente na documentação de operação da Desisobutanizadora.

Tabela 4 - Caracterização da Alimentação ao Caso Design em percentagem volumétrica

<b>Composição</b>	<b>%vol</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,8699
<b>C<sub>3</sub></b>	2,0948
<b>iC<sub>4</sub></b>	36,1433
<b>nC<sub>4</sub></b>	59,5350
<b>nC<sub>5</sub></b>	1,3569
<b>Rate (Kmol/h)</b>	641,2
<b>Total (Kg/h)</b>	35963
<b>Massa Molecular</b>	56,1

Na Tabela 5 apresentam-se as variáveis de processo possíveis de manipular na unidade.

Tabela 5 - Variáveis manipuladas no Caso Design

<b>AL-V-121</b>	
<b>Temperatura FEED (° C)</b>	53
<b>Pressão FEED ( barg)</b>	5,5
<b>FEED (m<sup>3</sup>/h)</b>	62,2
<b>Temperatura entrada AL-V-121</b>	62
<b>Razão de Refluxo</b>	8,8
<b>QR Duty (Gcal/h)</b>	10,7

Na Tabela 6 Apresenta-se a percentagem volumétrica na corrente de topo de Isobutano e n-Butano e o consumo de vapor para o Caso Design propostos pelo licenciador.

Tabela 6 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor do Caso Design

<b>AL-V-121</b>	
<b>% vol iC<sub>4</sub></b>	85
<b>% vol nC<sub>4</sub></b>	11,5
<b>LP (ton/h)</b>	21

Após a implementação do caso design foi possível verificar que os valores registados de percentagem volumétrica na corrente de topo de Isobutano e n-Butano e o consumo de vapor eram coincidentes com os tabelados pelo licenciador da unidade.

## 4.2.Casos Reais: Validação

Após a implementação da simulação para o caso design, procedeu-se a simulação de quatro casos reais de operação da unidade:

- Caso 1 - Alimentação podre em Isobutano - Carga alta, pureza baixa (80%)
- Caso 2 - Alimentação rica em Isobutano - Carga alta, pureza > 90%
- Caso 3 - Alimentação podre em Isobutano - Carga baixa, pureza baixa (80%)
- Caso 4 - Alimentação rica em Isobutano - Carga baixa, pureza > 90%.

A implementação destes quatro casos tem como principal função validar a simulação criada em Petro-SIM™ e atribuir fiabilidade aos resultados obtidos posteriormente nos Casos de Estudo.

Os dados utilizados neste capítulo, tratam-se de dados reais de operação da unidade e foram selecionados segundo os critérios estabelecidos para irem de encontro aos objetivos do estudo.

Usaram-se, portanto, médias horárias de 12h para cada caso de estudo em que as análises laboratoriais foram feitas a meio desse período de 12h. Uma vez que as análises são efetuadas as 7h00, para cada caso estudou se o período entre as 23h59 e as 11h59.

### 4.2.1.Caso 1 - Alimentação podre em Isobutano - Carga alta, pureza baixa (80%)

No Caso 1 estava em estudo uma alimentação pobre em Isobutano com carga alta e pureza baixa no topo, pelo que na simulação da unidade foi utilizada a caracterização da alimentação presente na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização da Alimentação do Caso 1

<b>Alimentação (% vol)</b>	<b>CASO 1</b>
<b>H2O</b>	1,01
<b>Ethane</b>	0,00
<b>Propane</b>	0,40
<b>n-Hexane</b>	0,00
<b>cis2-Butene</b>	0,20
<b>i-Butene</b>	0,20
<b>i-Butane</b>	27,62
<b>i-Pentane</b>	0,59
<b>1-Butene</b>	0,10
<b>n-Butane</b>	69,49
<b>n-Pentane</b>	0,10
<b>Propene</b>	0,00
<b>tr2-Butene</b>	0,30

Para a implementação da unidade nas condições de estudo do Caso 1 e consequente convergência da mesma foi ainda necessário aplicar os inputs apresentados na Tabela 8, que correspondem às variáveis de processo que é possível manipular na simulação.

Tabela 8 - Variáveis manipuladas no Caso 1

<b>AL-V-121</b>	
<b>Temperatura FEED (° C)</b>	34,23
<b>Pressão FEED ( barg)</b>	2,67
<b>FEED (m<sup>3</sup>/h)</b>	53,21
<b>Temperatura entrada AL-V-121</b>	41,71
<b>Razão de Refluxo</b>	8,2
<b>QR Duty (Gcal/hr)</b>	8,8

O comparativo entre os valores de percentagem volumétrica na corrente de topo de Isobutano e n-Butano e o consumo de vapor obtidos na simulação e os valores reais facultados, está demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 1

<b>AL-V-121</b>	<b>Real</b>	<b>Simulação</b>
<b>% iC<sub>4</sub></b>	85	82
<b>% nC<sub>4</sub></b>	13	17
<b>LP (ton/h)</b>	17,4	17,4

Pode-se constatar que os valores para o primeiro caso simulado não apresentam diferenças muito significativa face aos valores reais, existindo apenas pequenos desvios sempre inferiores a 5%.

#### 4.2.2.Caso 2 - Alimentação rica em Isobutano - Carga alta, pureza > 90%

No Caso 2 estava em estudo uma alimentação rica em Isobutano com carga alta e pureza superior a 90% no topo, as características da alimentação utilizadas para efetuar a implementação da simulação da unidade estão apresentadas na Tabela 10.

Para a implementação da unidade nas condições de estudo do Caso 2 e consequente convergência da mesma foi ainda necessário aplicar os inputs apresentados na Tabela 11, que correspondem às variáveis de processo que é possível manipular na simulação.

Tabela 10 - Caracterização da Alimentação do Caso 2

<b>Alimentação (%vol)</b>	<b>CASO 2</b>
<b>H2O</b>	0,02
<b>Ethane</b>	0,00
<b>Propane</b>	0,20
<b>n-Hexane</b>	0,00
<b>cis2-Butene</b>	0,00
<b>i-Butene</b>	0,10
<b>i-Butane</b>	36,37
<b>i-Pentane</b>	0,20
<b>1-Butene</b>	0,00
<b>n-Butane</b>	63,12
<b>n-Pentane</b>	0,00
<b>Propene</b>	0,00
<b>tr2-Butene</b>	0,00

Tabela 11 - Variáveis manipuladas no Caso 2

<b>AL-V-121</b>	
<b>Temperatura FEED (° C)</b>	38,89
<b>Pressão FEED ( barg)</b>	3,25
<b>FEED (m³/h)</b>	48,74
<b>Temperatura entrada AL-V-121</b>	54,79
<b>Razão de Refluxo</b>	8,9
<b>QR Duty (Gcal/h)</b>	8,4

O comparativo entre os valores de percentagem volumétrica na corrente de topo de Isobutano e n-Butano e o consumo de vapor obtidos na simulação e os valores reais facultados, está demonstrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 2

<b>AL-V-121</b>	<b>Real</b>	<b>Simulação</b>
<b>% iC<sub>4</sub></b>	88	85
<b>% nC<sub>4</sub></b>	10	14,3
<b>LP (ton/h)</b>	16,6	16,7

Conclui-se então que os valores para o segundo caso simulado não apresentam diferenças muito significativa face aos valores reais, existindo apenas pequenos desvios sempre inferiores a 5%.

#### 4.2.3.Caso 3 - Alimentação pobre em Isobutano - Carga baixa, pureza baixa (80%)

No Caso 3 estava em estudo uma alimentação pobre em Isobutano com carga baixa e pureza baixa no topo, as características da alimentação utilizadas para efetuar a implementação da simulação da unidade estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Caracterização da Alimentação do Caso 3

<b>Alimentação (%vol)</b>	<b>CASO 3</b>
<b>H2O</b>	0,02
<b>Ethane</b>	0,00
<b>Propane</b>	0,60
<b>n-Hexane</b>	0,10
<b>cis2-Butene</b>	0,10
<b>i-Butene</b>	0,30
<b>i-Butane</b>	31,28
<b>i-Pentane</b>	0,50
<b>1-Butene</b>	0,10
<b>n-Butane</b>	66,71
<b>n-Pentane</b>	0,10
<b>Propene</b>	0,00
<b>tr2-Butene</b>	0,20

Para a implementação da unidade nas condições de estudo do Caso 3 e conseqüente convergência da mesma foi ainda necessário aplicar os inputs apresentados na Tabela 14, que correspondem às variáveis de processo que é possível manipular na simulação.

Tabela 14 - Variáveis manipuladas no Caso 3

<b>AL-V-121</b>	
<b>Temperatura FEED (° C)</b>	33,22
<b>Pressão FEED ( barg)</b>	2,55
<b>FEED (m<sup>3</sup>/h)</b>	46,51
<b>Temperatura entrada AL-V-121</b>	40,15
<b>Razão de Refluxo</b>	5,6
<b>QR Duty (Gcal/h)</b>	7,9



O comparativo entre os valores de percentagem volumétrica na corrente de topo de Isobutano e n-Butano e o consumo de vapor obtidos na simulação e os valores reais facultados, está demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 -Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 3

<b>AL-V-121</b>	<b>Real</b>	<b>Simulação</b>
<b>% iC<sub>4</sub></b>	80	80
<b>% nC<sub>4</sub></b>	17,9	16,7
<b>LP (ton/h)</b>	15,6	15,6

Pode-se constatar que os valores para o terceiro caso simulado não apresentam diferenças muito significativa face aos valores reais, existindo apenas pequenos desvios sempre inferiores a 5%.

#### 4.2.4.Caso 4 - Alimentação rica em Isobutano - Carga baixa, pureza > 90%

No Caso 4 estava em estudo uma alimentação rica em Isobutano com carga baixa e pureza superior a 90% no topo, as características da alimentação utilizadas para efetuar a implementação da simulação da unidade estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Caracterização da Alimentação do Caso 4

<b>Alimentação (%vol)</b>	<b>CASO 4</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,01
<b>Ethane</b>	0,00
<b>Propane</b>	0,40
<b>n-Hexane</b>	0,00
<b>cis2-Butene</b>	0,00
<b>i-Butene</b>	0,00
<b>i-Butane</b>	35,67
<b>i-Pentane</b>	0,30
<b>1-Butene</b>	0,00
<b>n-Butane</b>	63,62
<b>n-Pentane</b>	0,00
<b>Propene</b>	0,00
<b>tr2-Butene</b>	0,00

Para a implementação da unidade nas condições de estudo do Caso 4 e consequente convergência da mesma foi ainda necessário aplicar os inputs apresentados na Tabela 17, que correspondem às variáveis de processo que é possível manipular na simulação.

Tabela 17 - Variáveis manipuladas no Caso 4

<b>AL-V-121</b>	
<b>Temperatura FEED (° C)</b>	36,16
<b>Pressão FEED ( barg)</b>	2,97
<b>FEED (m³/h)</b>	43,33
<b>Temperatura entrada AL-V-121</b>	45,15
<b>Razão de Refluxo</b>	9,7
<b>QR Duty (Gcal/h)</b>	7,8

O comparativo entre os valores de percentagem volumétrica na corrente de topo de Isobutano e n-Butano e o consumo de vapor obtidos na simulação e os valores reais facultados, está demonstrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Pureza na corrente de topo e consumo de vapor no Caso 4

<b>AL-V-121</b>	<b>Real</b>	<b>Simulação</b>
<b>% iC<sub>4</sub></b>	87,6	87,4
<b>% nC<sub>4</sub></b>	9,6	11,6
<b>LP (ton/h)</b>	15,5	15,4

Pode-se constatar que os valores para o terceiro caso simulado não apresentam diferenças muito significativa face aos valores reais, existindo apenas pequenos desvios sempre inferiores a 5%.

#### 4.2.5. Conclusões sobre a implementação dos Casos Reais

De uma forma geral na implementação dos casos reais verifica-se que para qualquer dos casos os valores simulados não são apresentas diferenças muito significativas face aos valores reais, existindo apenas pequenas variações sempre inferiores a 5%.

Podemos então afirmar que o modelo de simulação é valido e se comporta de acordo com o pretendido, devolvendo valores de simulação muito próximos e chegando mesmo a ser coincidentes com a realidade de operação da unidade.

### 4.3.Casos de Estudo

Para agilizar o processo de análise dos resultados obtidos pelo simulador utilizou-se a ferramenta *Databook* que permite realizar *Case Studies* onde é possível definir as variáveis dependentes e independentes que se pretende estudar. Iniciando o processo de cálculo o simulador vai, de forma sequencial, introduzir automaticamente valores nas variáveis independentes e registar os valores assumidos nas variáveis dependentes.

Na otimização da unidade, os quatro casos reais simulados reduzem-se a dois casos de estudo, dois tipos de alimentação:

- Caso A: Alimentação pobre em Isobutano, Pureza baixa (80%) no topo
- Caso B: Alimentação rica em Isobutano, Pureza > 90% no topo.

Para ambos os casos de estudo os *Case Studies* elaborados consistiram em fazer variar a alimentação à Desisobutanizadora, entre cargas baixas e cargas altas, variando simultaneamente o calor fornecido ao Reebulidor e a razão de refluxo [15].

O resultado da análise dos resultados dos Casos A e B será a combinação ideal das variáveis de operação da Desisobutanizadora. Que permitirão minimizar os gastos energéticos e coincidentemente fornecer a Alquilação uma corrente de Isobutano que satisfaz a produção de Alquilado.

O Ponto ótimo de operação para cada cenário dos dois casos em estudo, será a combinação de uma razão de refluxo e um calor fornecido ao Reebulidor (QR) que satisfaça completa e simultaneamente as seguintes condições:

- Maior percentagem volumétrica de Isobutano no topo da Desisobutanizadora;
- Perda mínima de Isobutano na base da Desisobutanizadora;
- Menor consumo de vapor no Reebulidor.

#### 4.3.1.Caso A - Alimentação pobre em Isobutano, Pureza baixa (80%) no topo

Este primeiro caso em estudo retrata o cenário mais aproximado da realidade corrente da refinaria, alimentação pobre em Isobutano, Cargas altas e Pureza baixa [80-85]% no topo.

Após uma análise cuidada e seleção dos dados gerados no *case study*, foi possível representar graficamente as relações entre as variáveis em estudo.

Através das representações gráficas das relações entre as variáveis em estudo, foi possível estabelecer correlações que nos permitem chegar ao ponto ótimo de operação para cada cenário. Por cenário entenda-se a produção de alquilado a variar entre os 85% e 125% da capacidade máxima, que é de 713 ton/dia.

- Para uma produção de alquilado de 85 %

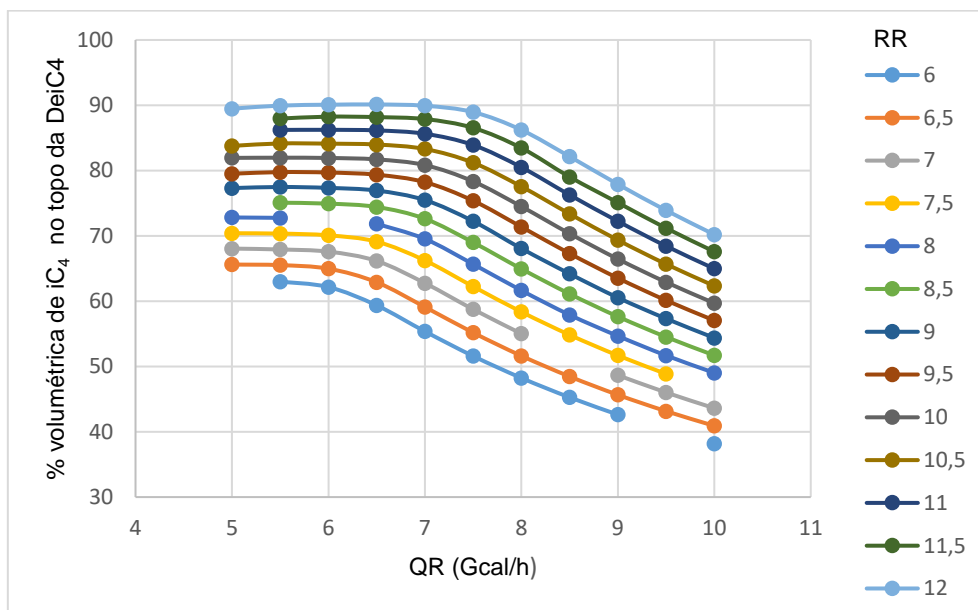


Figura 12 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado

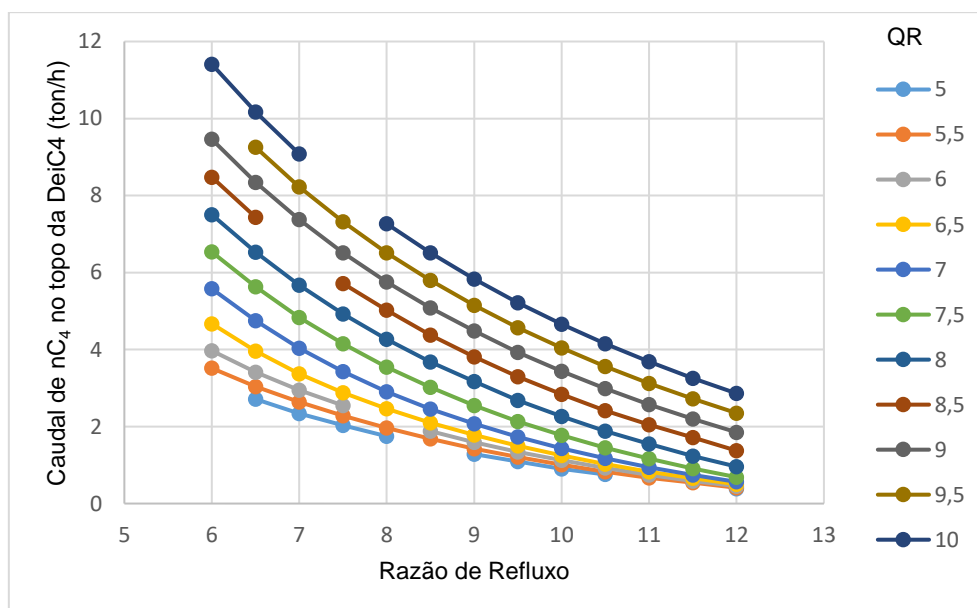


Figura 13 - Representação Gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 12 e 13 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

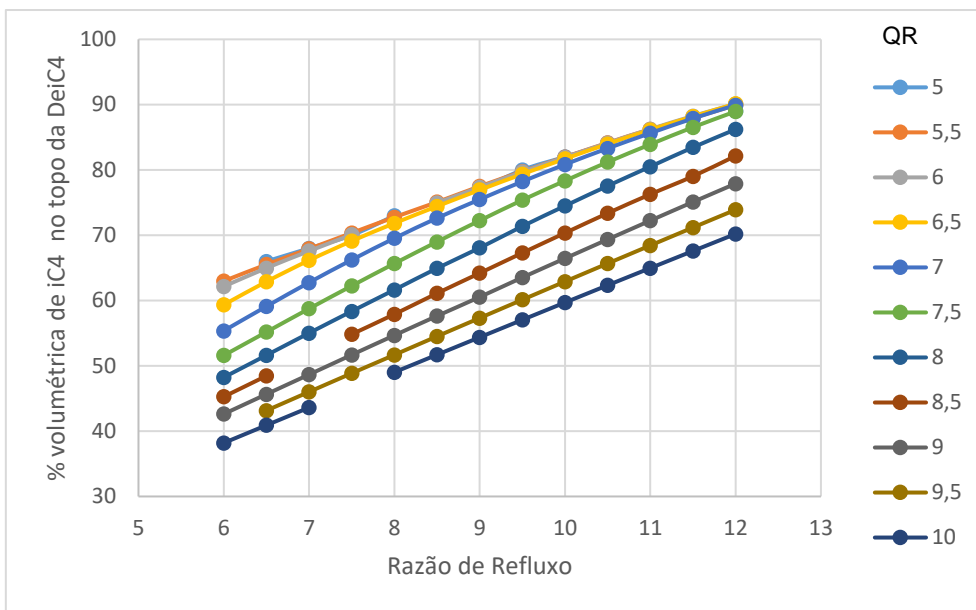


Figura 14 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado

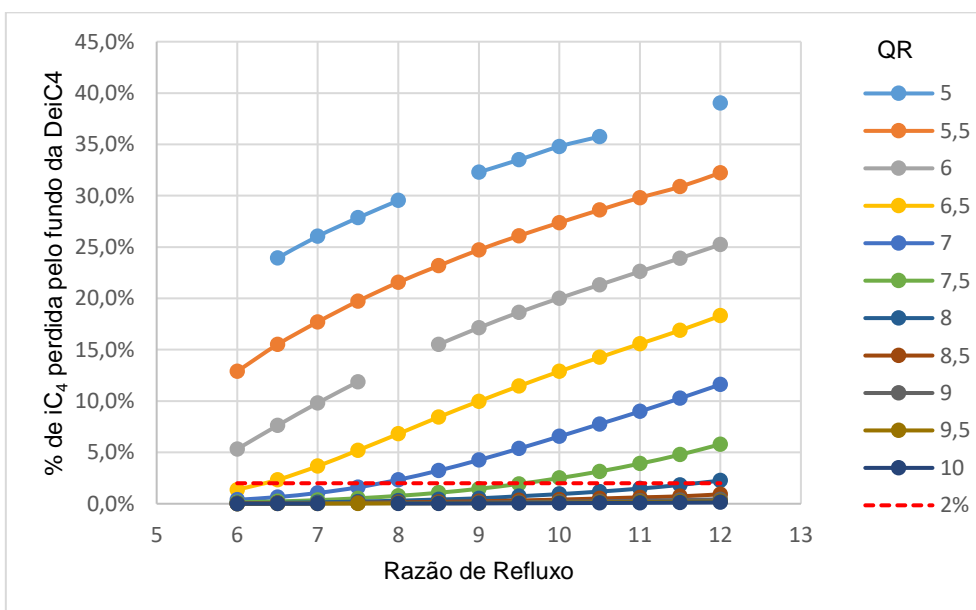


Figura 15 - Representação gráfica da porcentagem de iC<sub>4</sub> perdida na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 85% de produção de alquilado

A vermelho encontra-se traçada a reta de 2% de Isobutano, que segundo o caso design é a perda máxima de Isobutano pelo fundo aceitável. O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 85% de produção de Alquilado é fornecendo 6,5 Gcal/h ao Rebulidor, o equivalente a 12,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 90 %

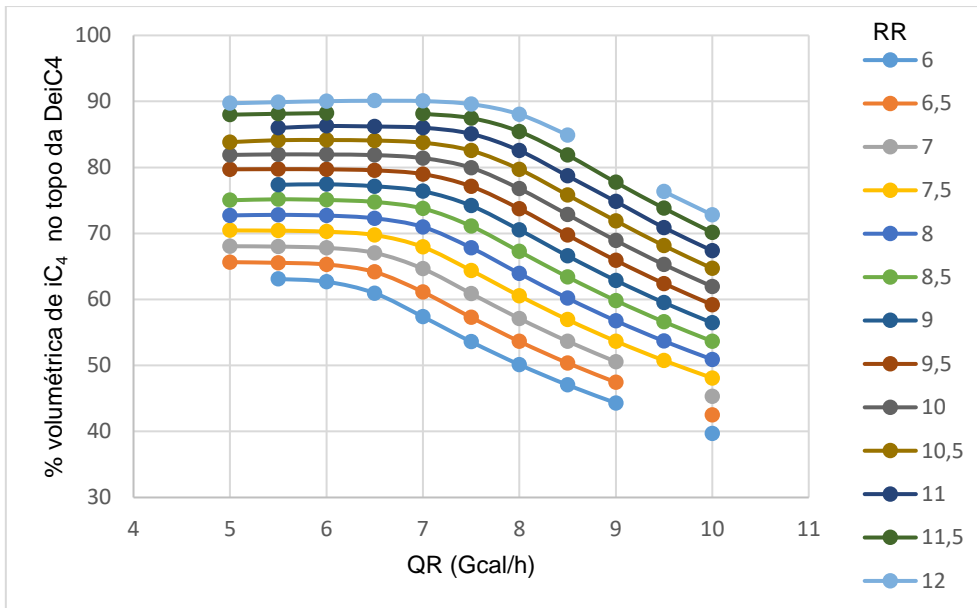


Figura 16 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da De  $iC_4$  em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado

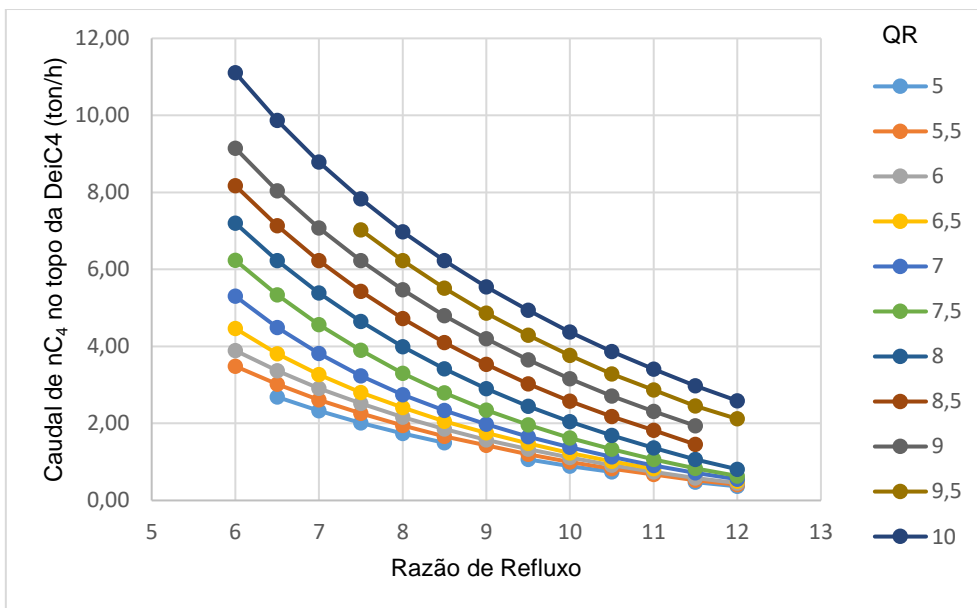


Figura 17 - Representação gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da De  $iC_4$  em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 16 e 17 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

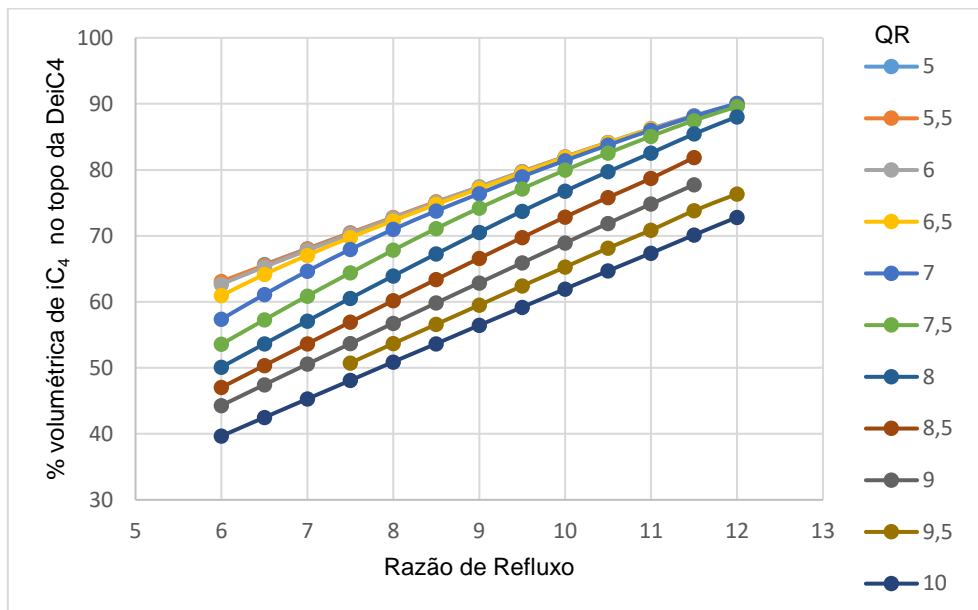


Figura 18 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado

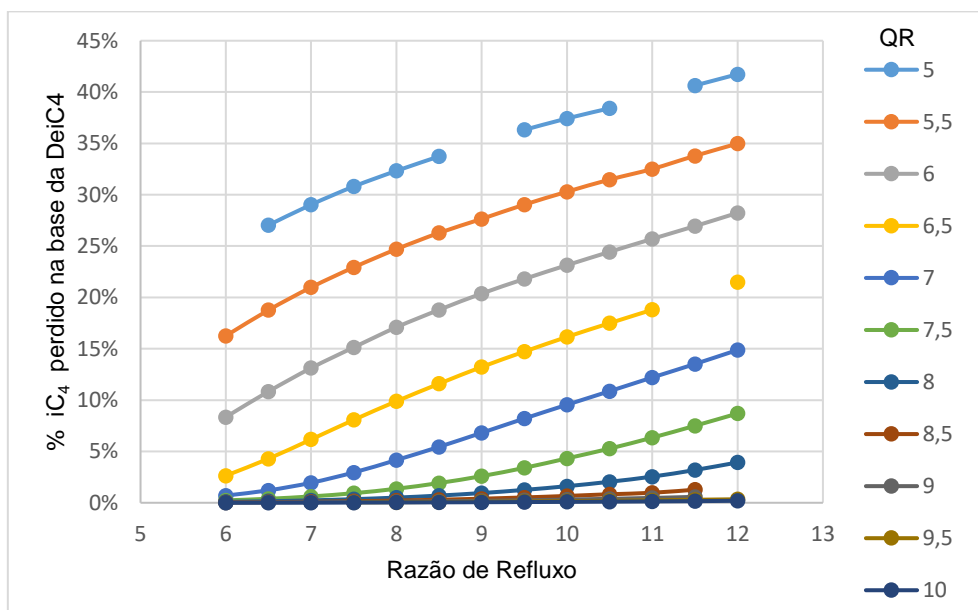


Figura 19 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 90% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 90% de produção de Alquilado é fornecendo 7 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 13,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10,5.

- Para uma produção de alquilado de 95 %

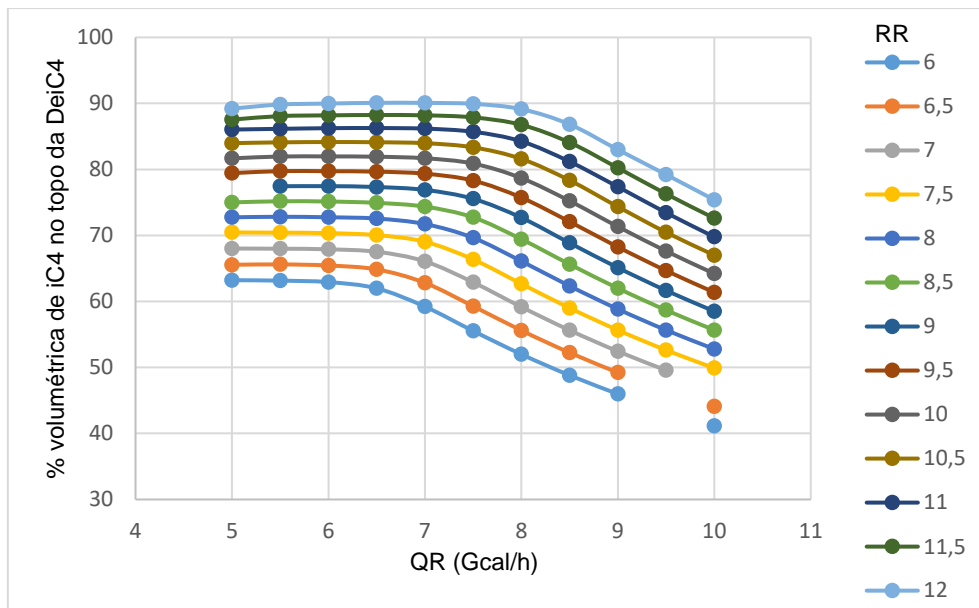


Figura 20 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da Deic<sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado

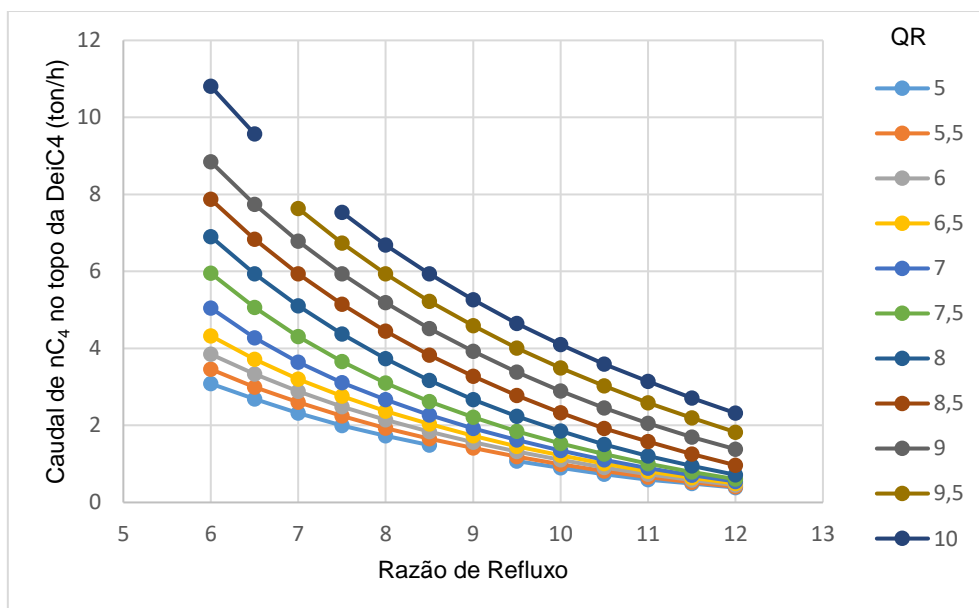


Figura 21 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da Deic<sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 20 e 21 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.



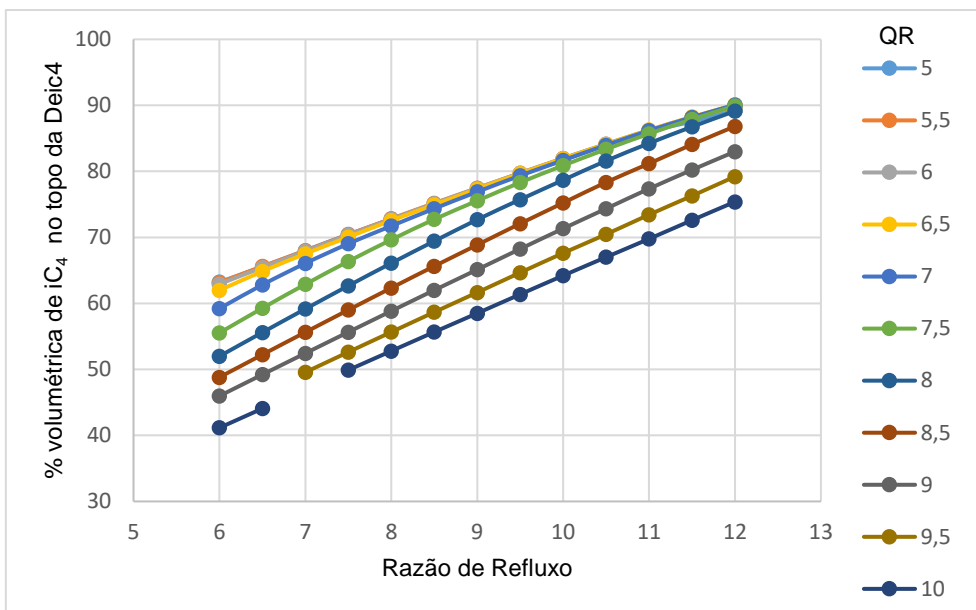


Figura 22 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado

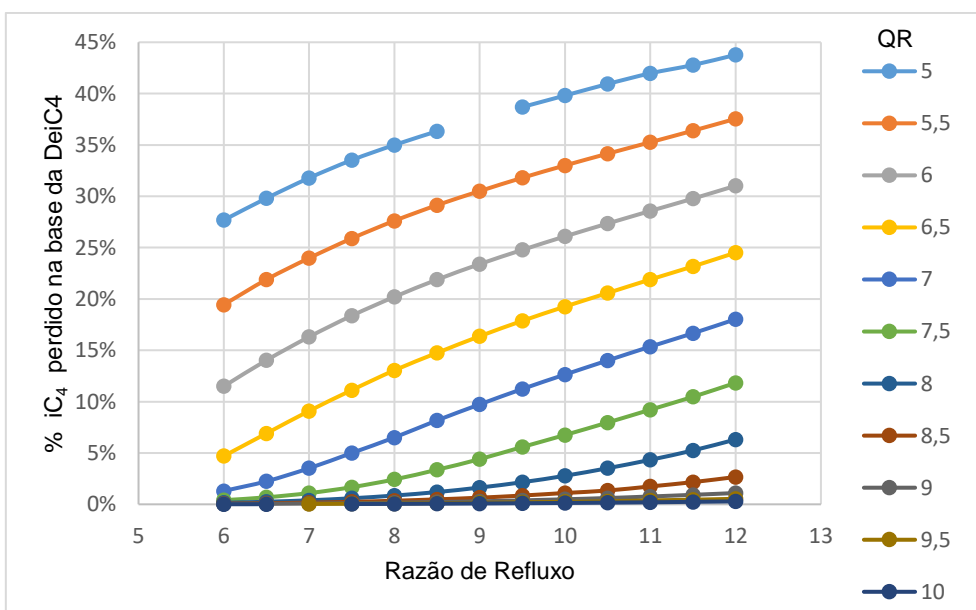


Figura 23 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 95% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 90 de produção de Alquilado é fornecendo 7 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 13,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 100 %

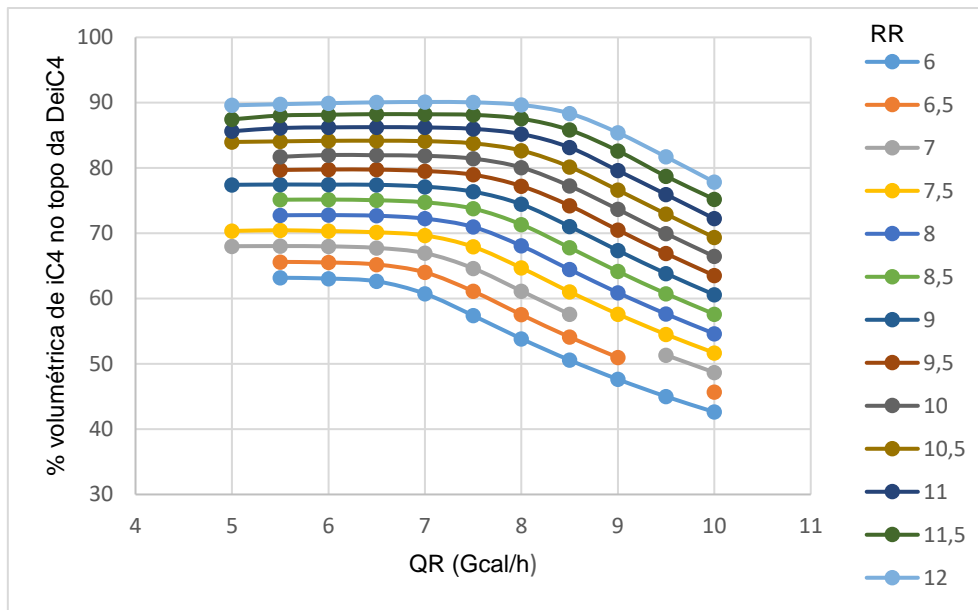


Figura 24 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado

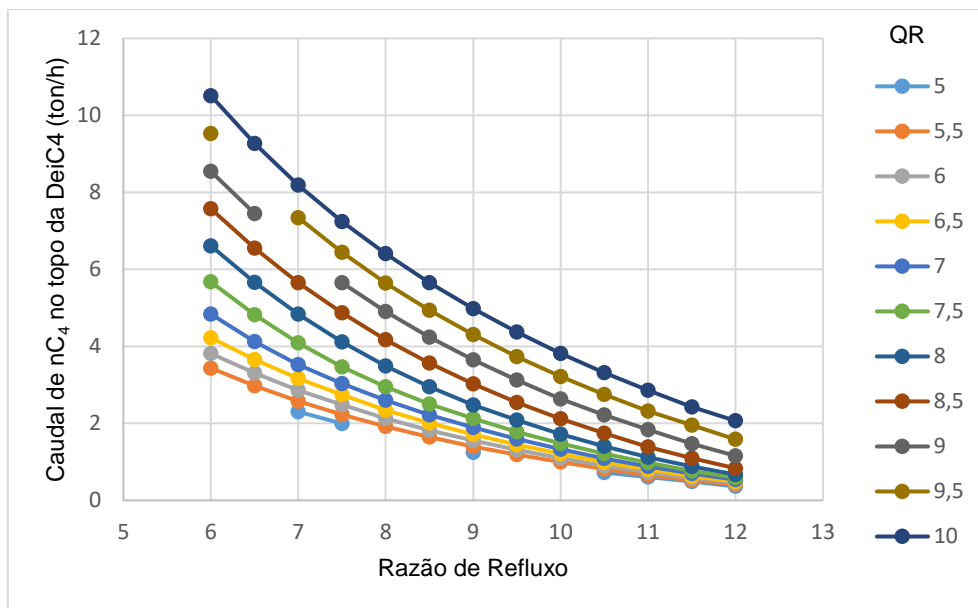


Figura 25 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras anteriores podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

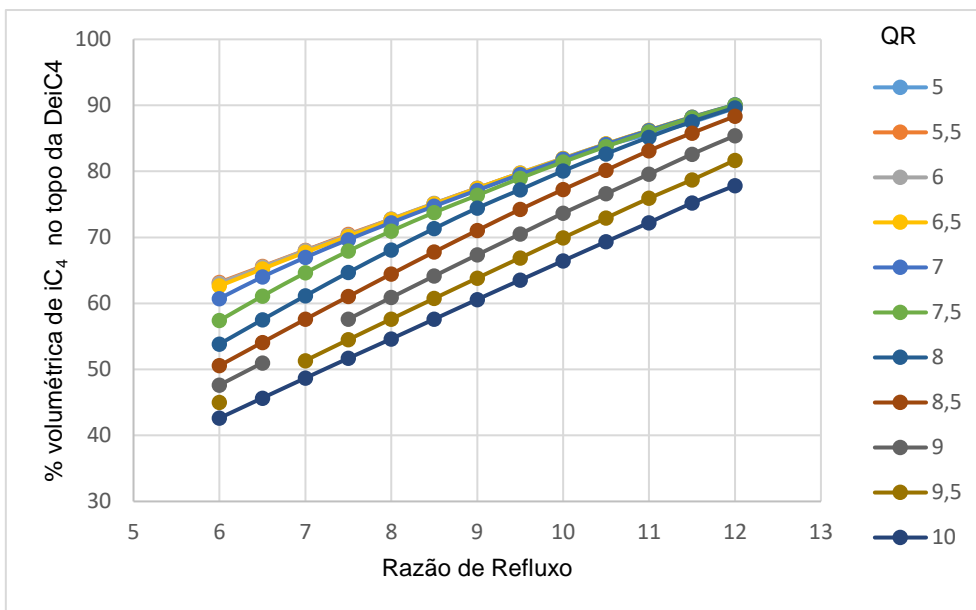


Figura 26 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado

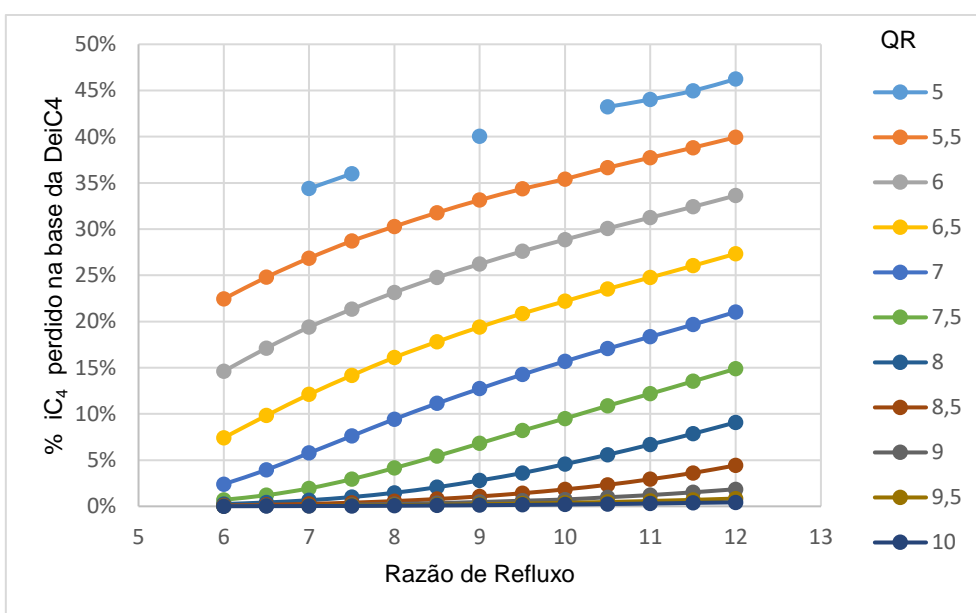


Figura 27 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 100% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 100% de produção de Alquilado é fornecendo 7,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 14,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 105 %

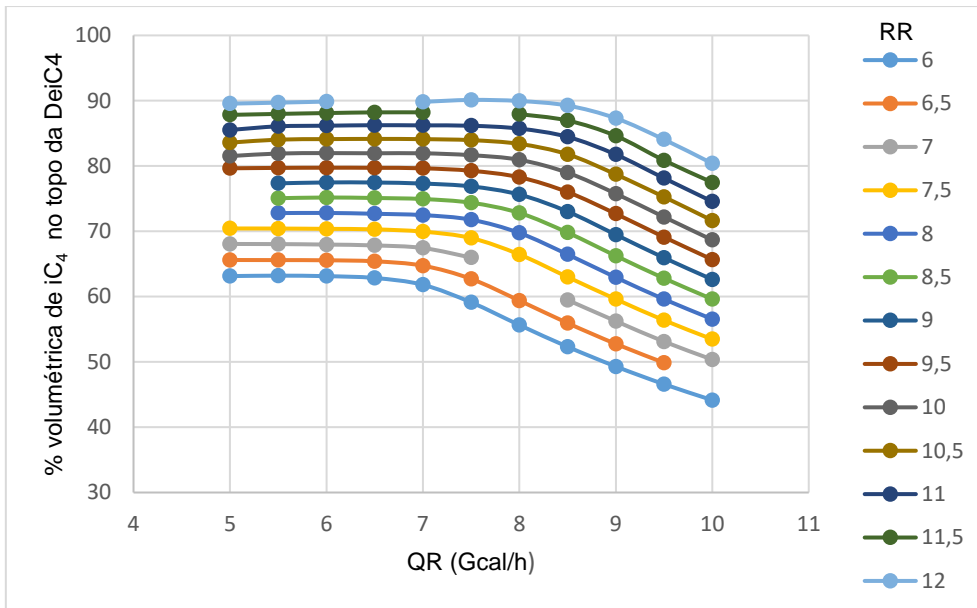


Figura 28 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado

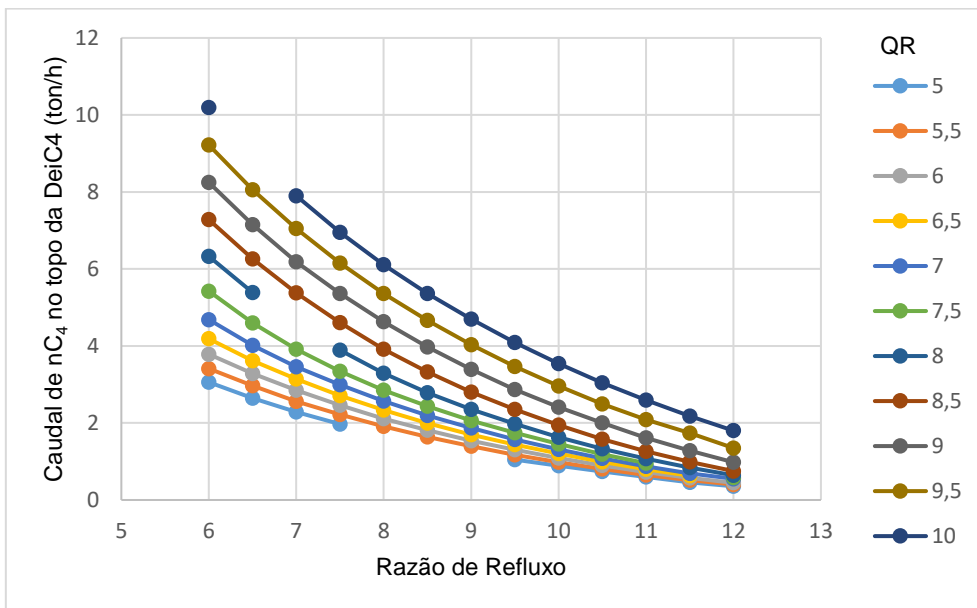


Figura 29 - Representação gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 28 e 29 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

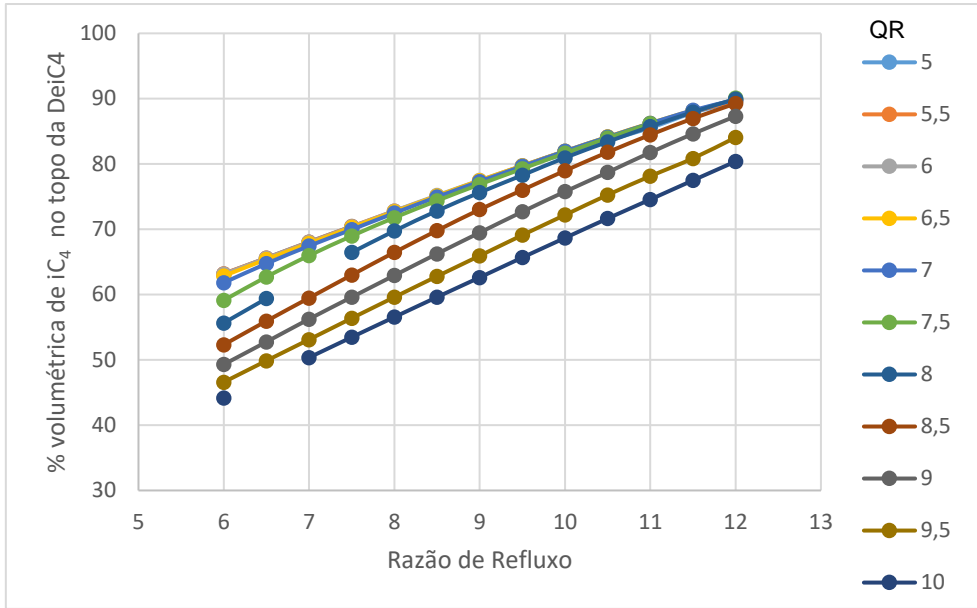


Figura 30 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado

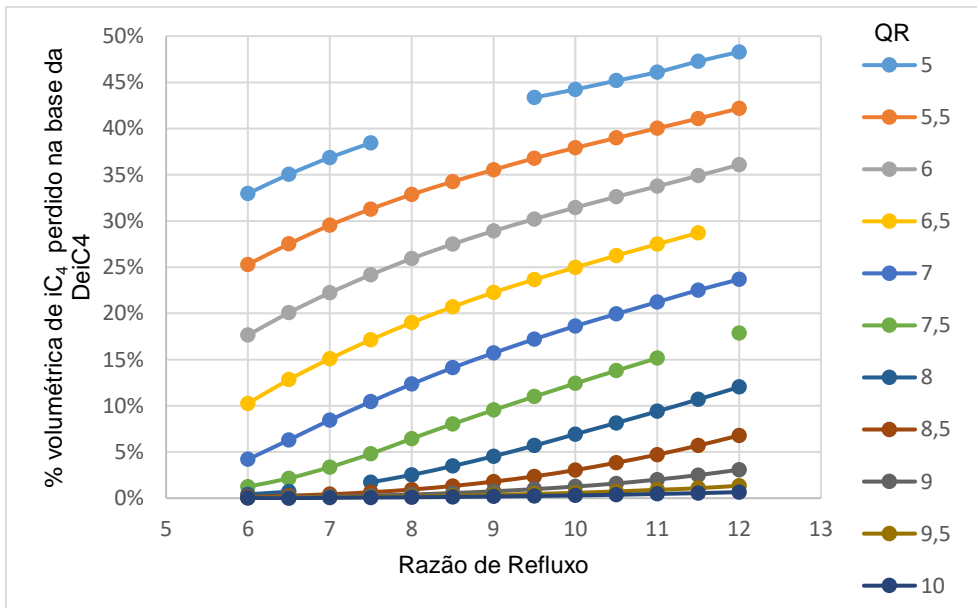


Figura 31 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 105% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 105% de produção de Alquilado é fornecendo 7,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 14,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 110 %

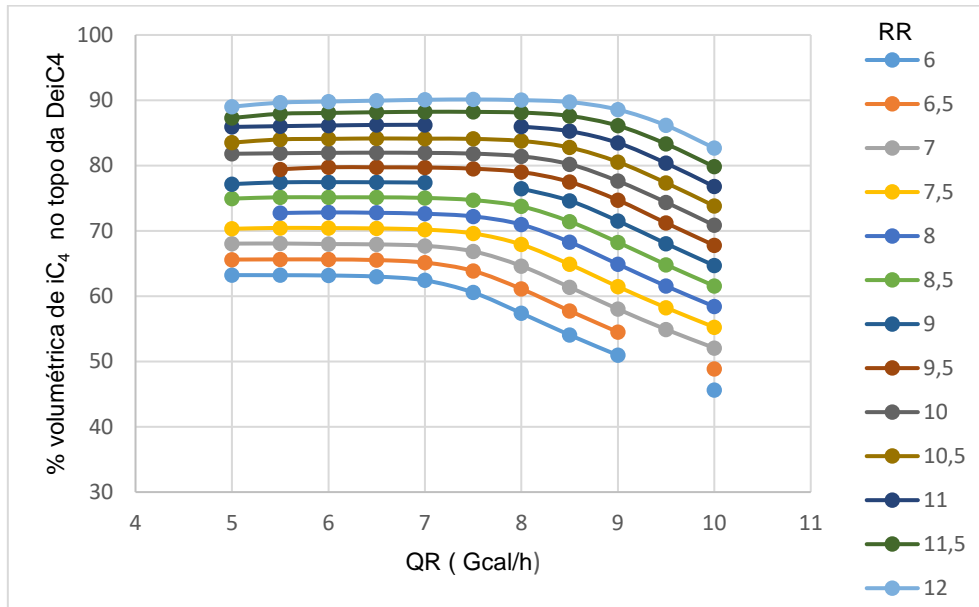


Figura 32 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado

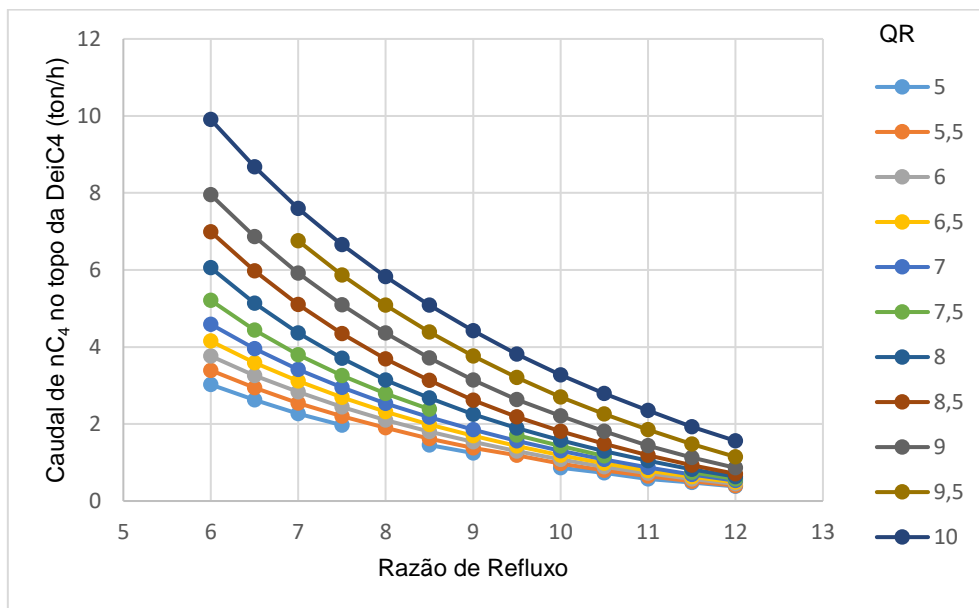


Figura 33 - Representação gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 32 e 33 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

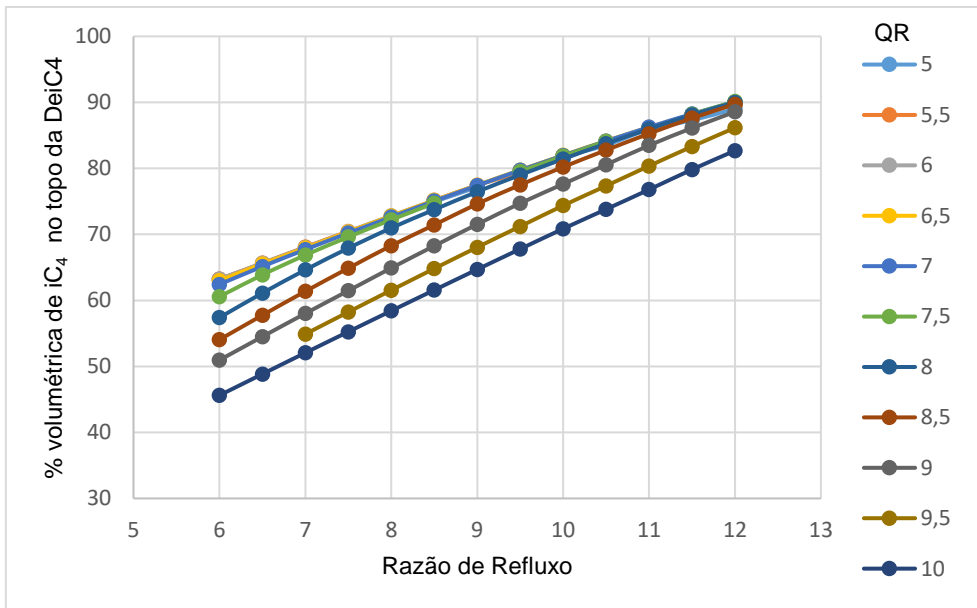


Figura 34 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado

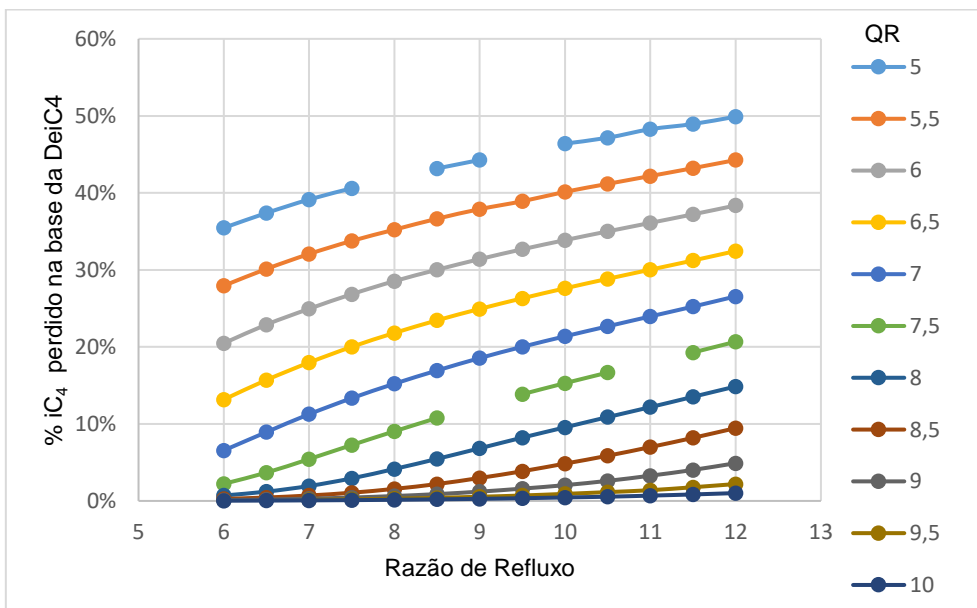


Figura 35 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 110% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 110% de produção de Alquilado é fornecendo 8 Gcal/h ao Rebulidor, o equivalente a 15,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 115 %

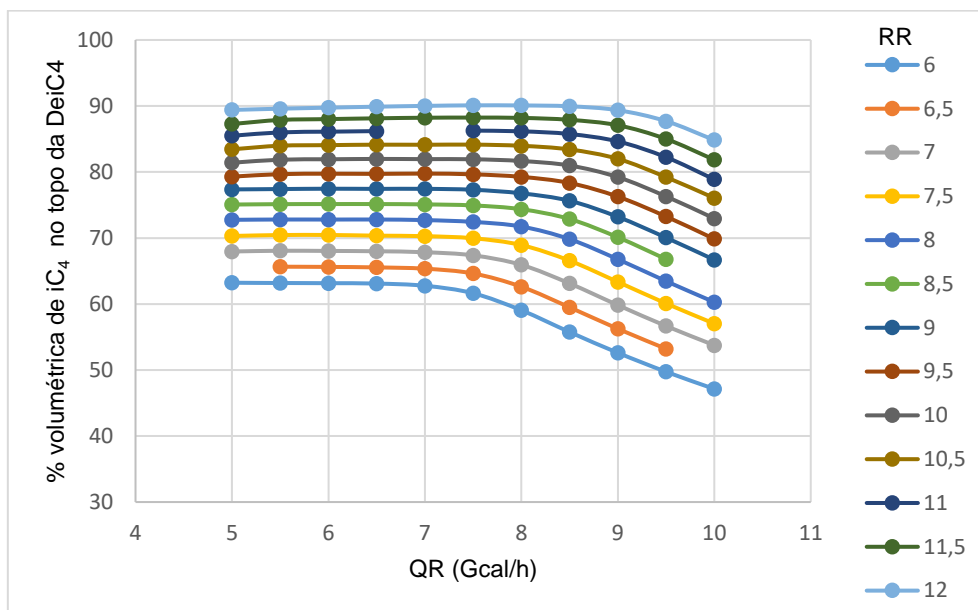


Figura 36 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado

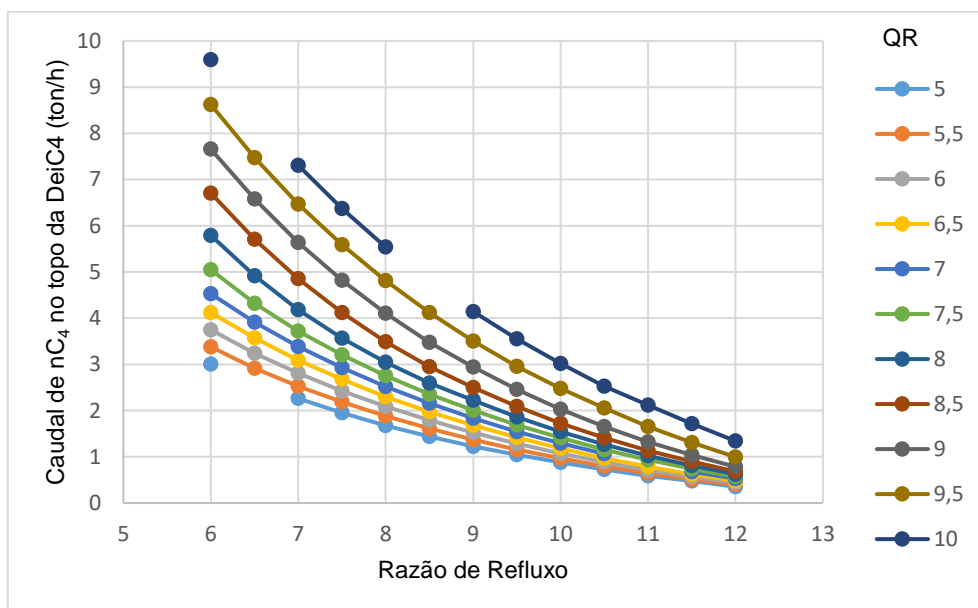


Figura 37 - Representação gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 36 e 37 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.



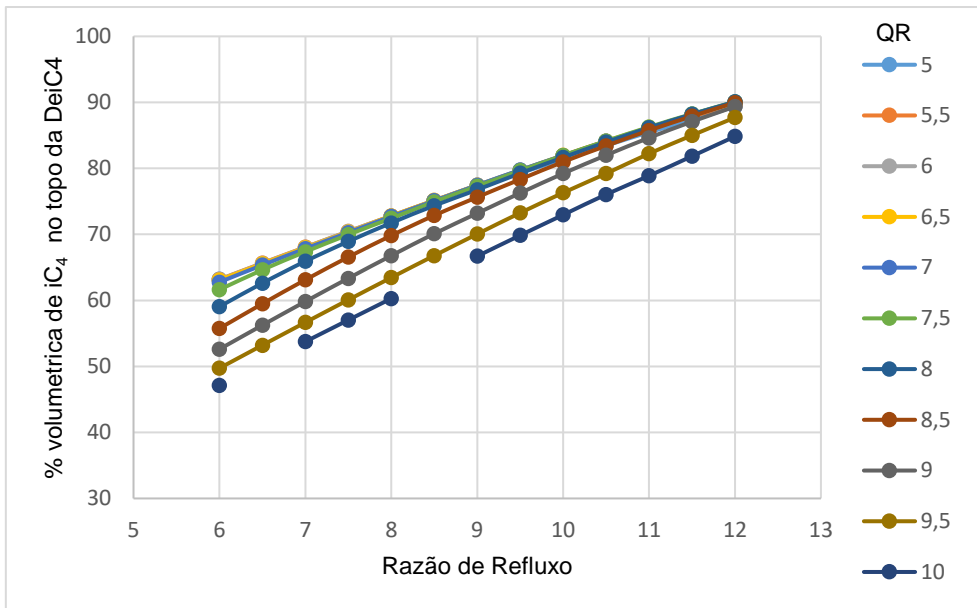


Figura 38 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado

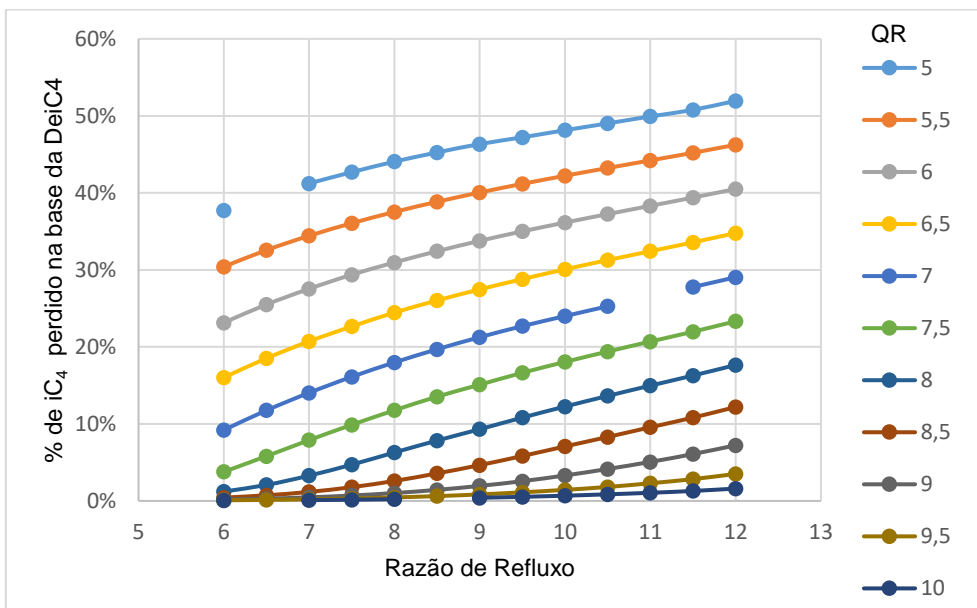


Figura 39 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 115% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 115% de produção de Alquilado é fornecendo 8 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 15,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 120 %

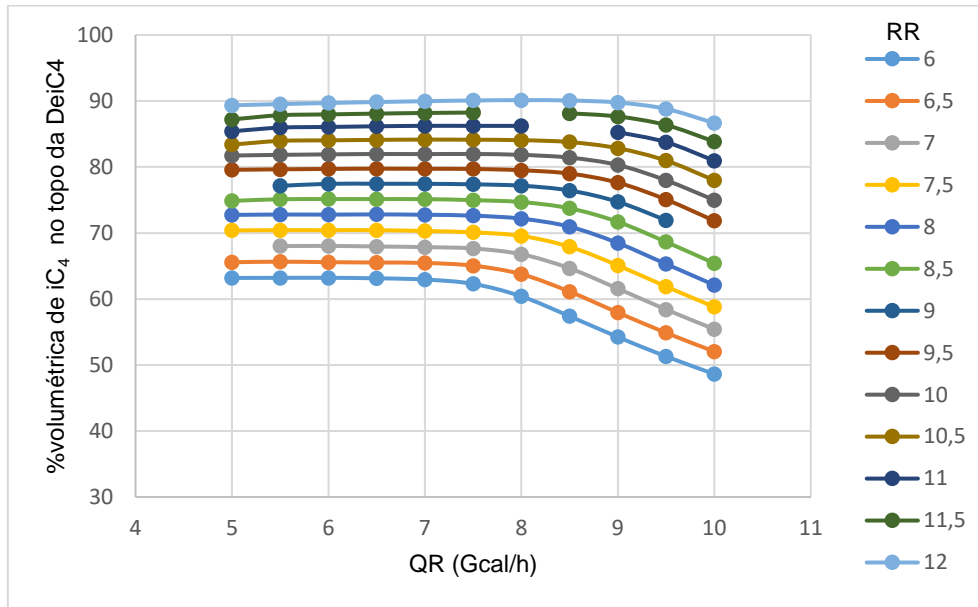


Figura 40 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado

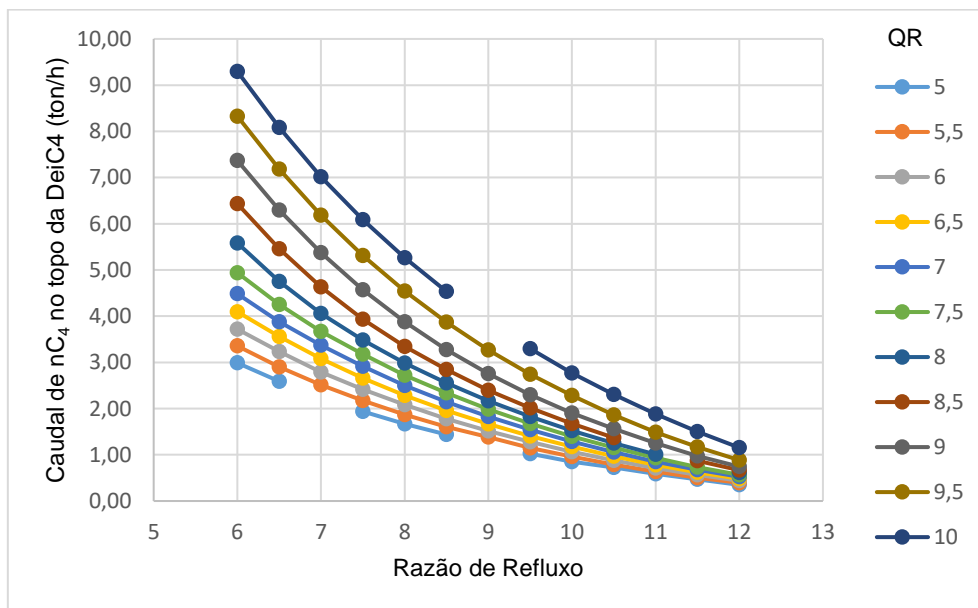


Figura 41 - Representação gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 40 e 41 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

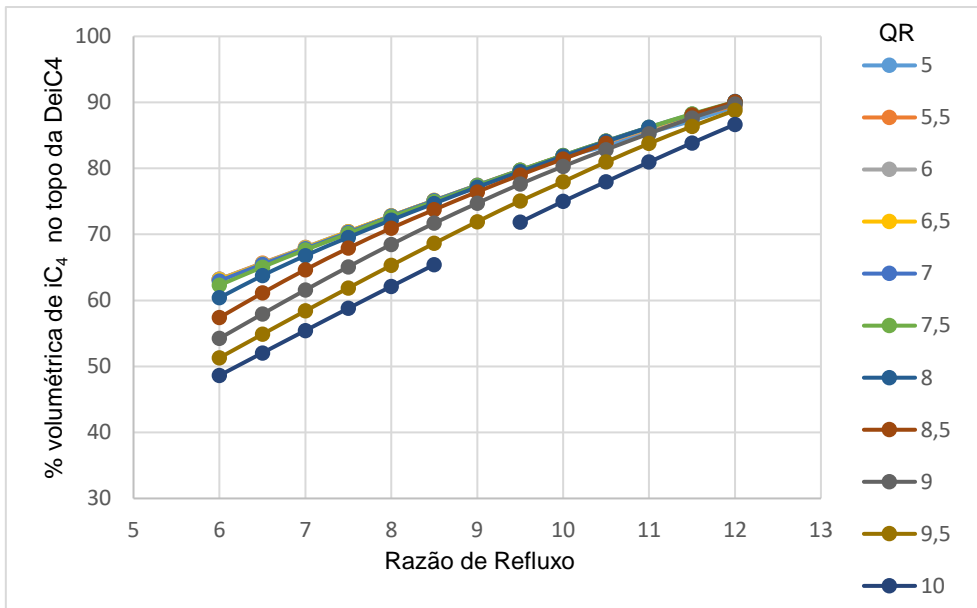


Figura 42 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado

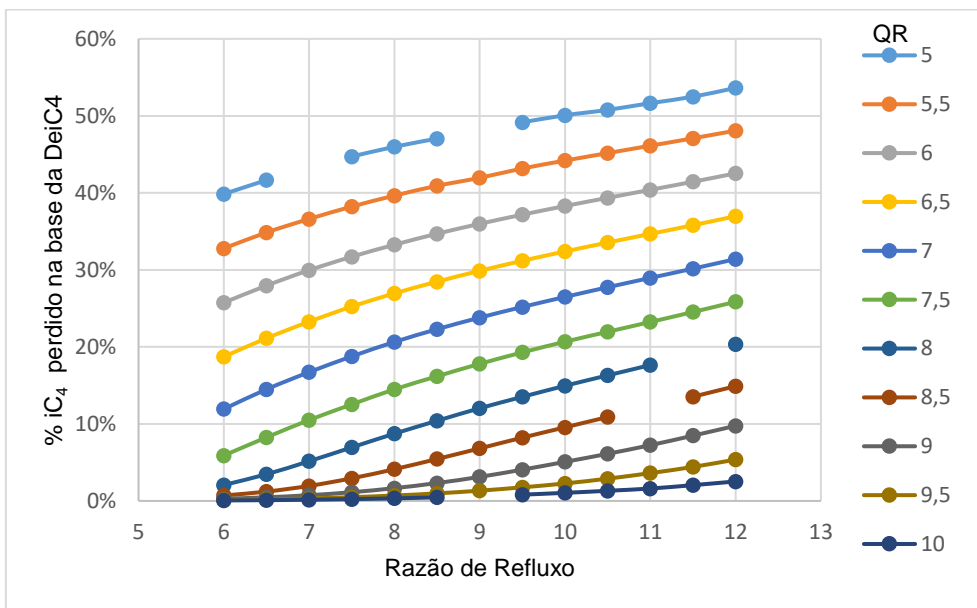


Figura 43 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 120% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 100% de produção de Alquilado é fornecendo 8,5 Gcal/h ao Rebulidor, o equivalente a 16,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

- Para uma produção de alquilado de 125 %

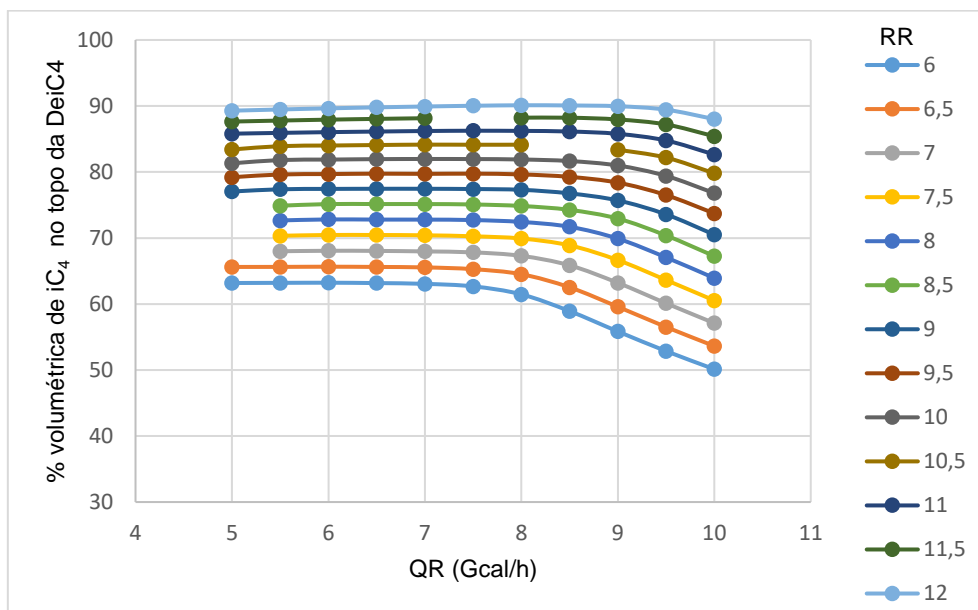


Figura 44 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado

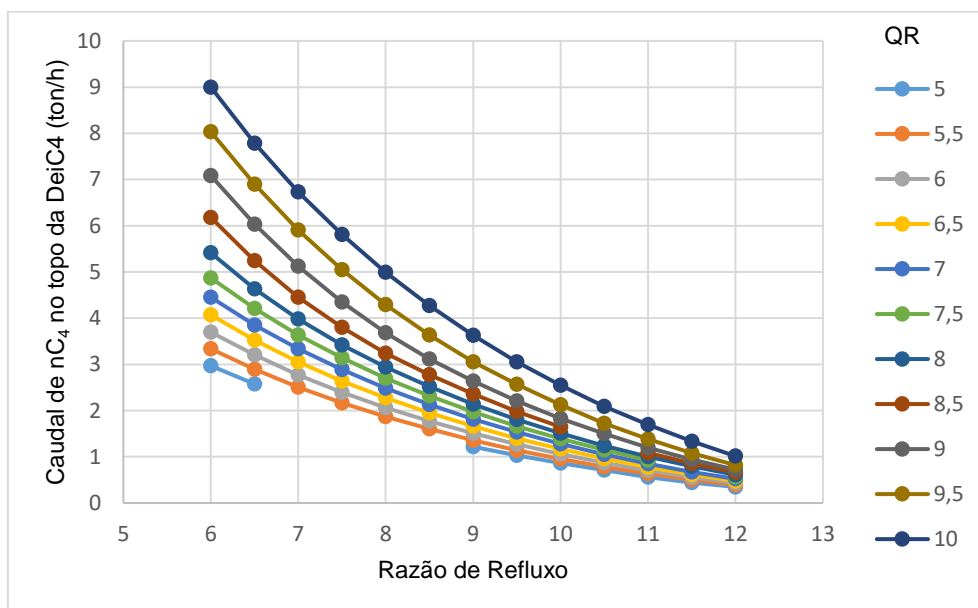


Figura 45 - Representação gráfica do Caudal de  $n$ -Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Rebulidor, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 44 e 45 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Rebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

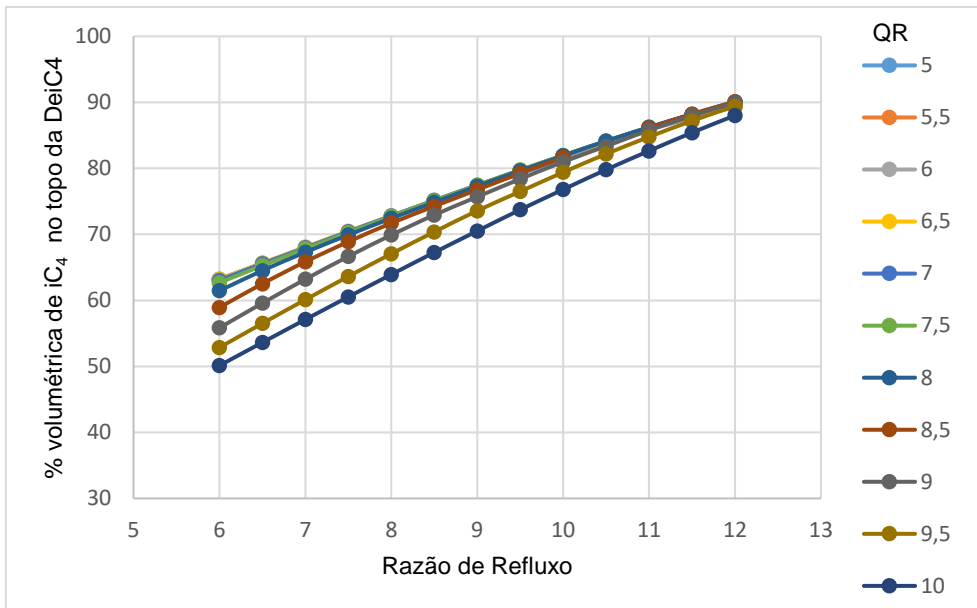


Figura 46 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado

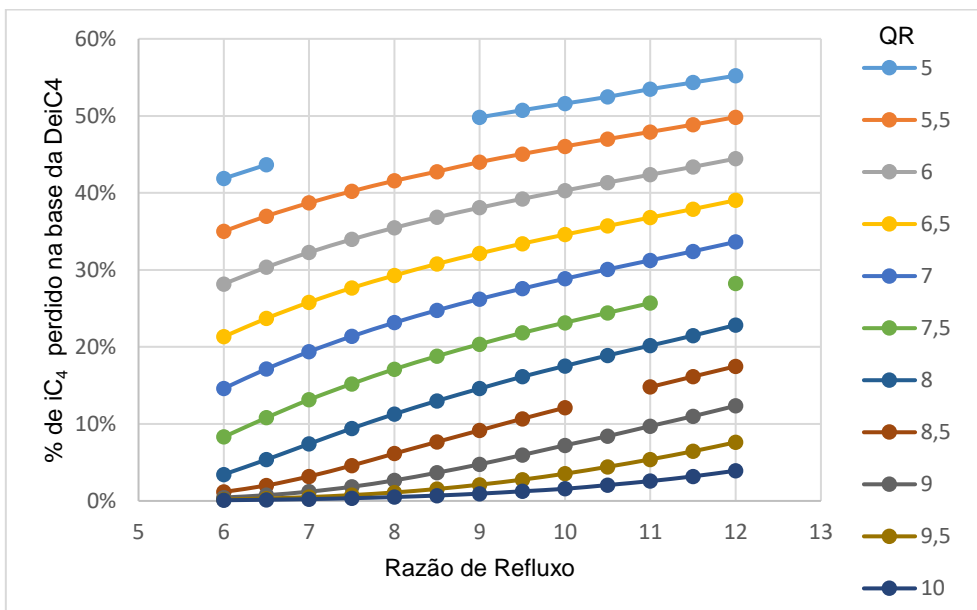


Figura 47 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso A - Cenário 125% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso A, para um cenário de produção de 100% de produção de Alquilado é fornecendo 8,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 16,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 10.

Tabela 19 - Condições de operação para cada ponto ótimo, para produções de Alquilado de [85-125]%<sup>1</sup>

		85%	90%	95%	100%	105%	110%	115%	120%	125%
<b>Caso A</b>	RR	10	10,5	10	10	10	10	10	10	10
	QR	6,5	7	7	7,5	7,5	8	8	8,5	8,5

#### 4.3.2.Caso B - Alimentação rica em Isobutano, Pureza > 90% no topo

Neste caso esta em estudo uma alimentação rica em Isobutano, em que a alimentação a Desisobutanizadora tem pureza superior a 90% no topo.

Após uma análise cuidada e seleção dos dados gerados no *case study*, foi possível representar graficamente as relações entre as variáveis em estudo, como já tinha sido feito para o caso A.

Através das representações gráficas das relações entre as variáveis em estudo, foi então possível estabelecer correlações que nos permitem chegar ao ponto ótimo de operação para cada cenário. Por cenário entenda-se a produção de alquilado a variar entre os 85% e 125% da capacidade máxima, que é de 713 ton/dia.

- Para uma produção de alquilado de 85 %

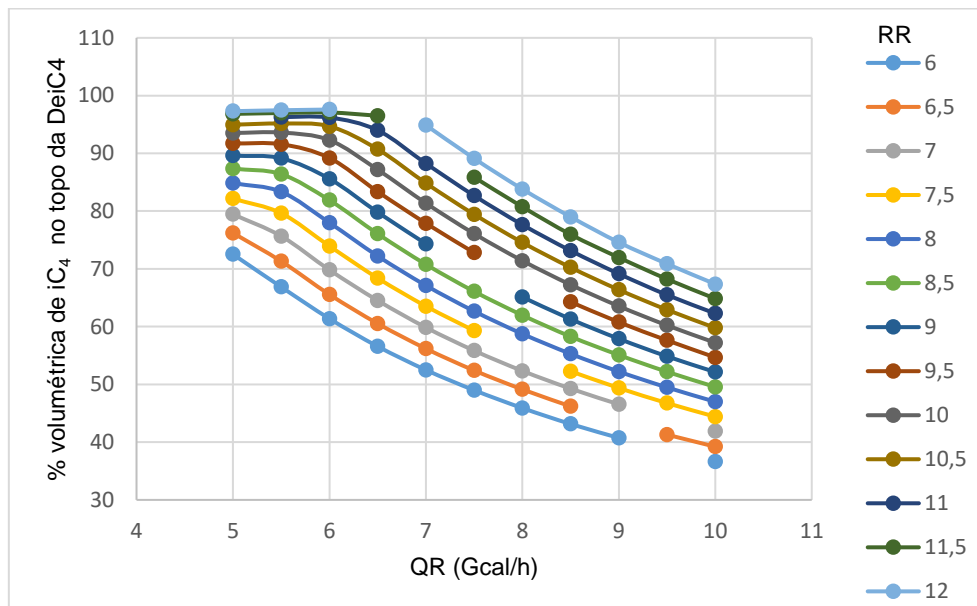


Figura 48 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Rebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado

<sup>1</sup> RR-Razão de Refluxo

QR- Calor fornecido ao Reboiler

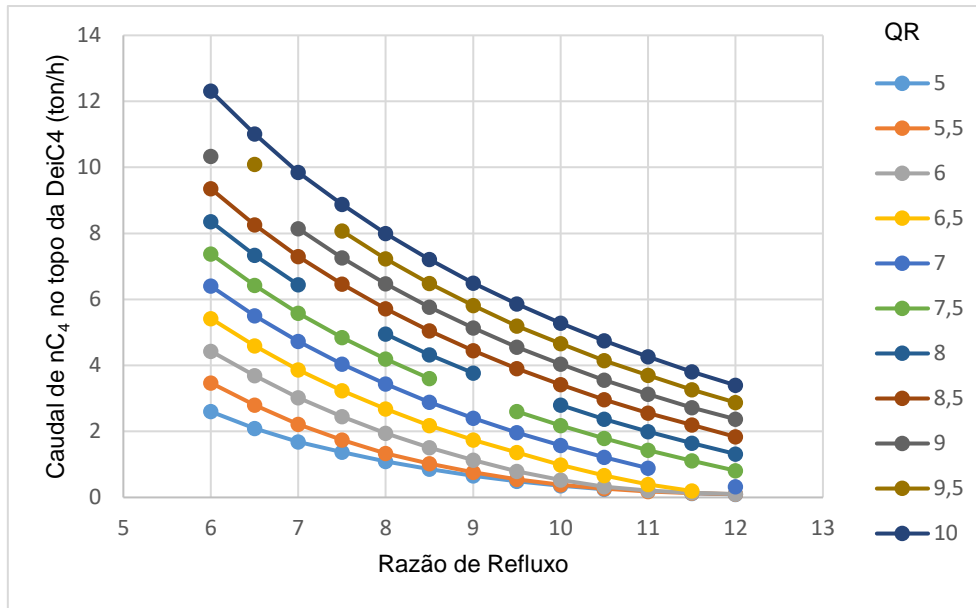


Figura 49 - Representação Gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 48 e 49 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

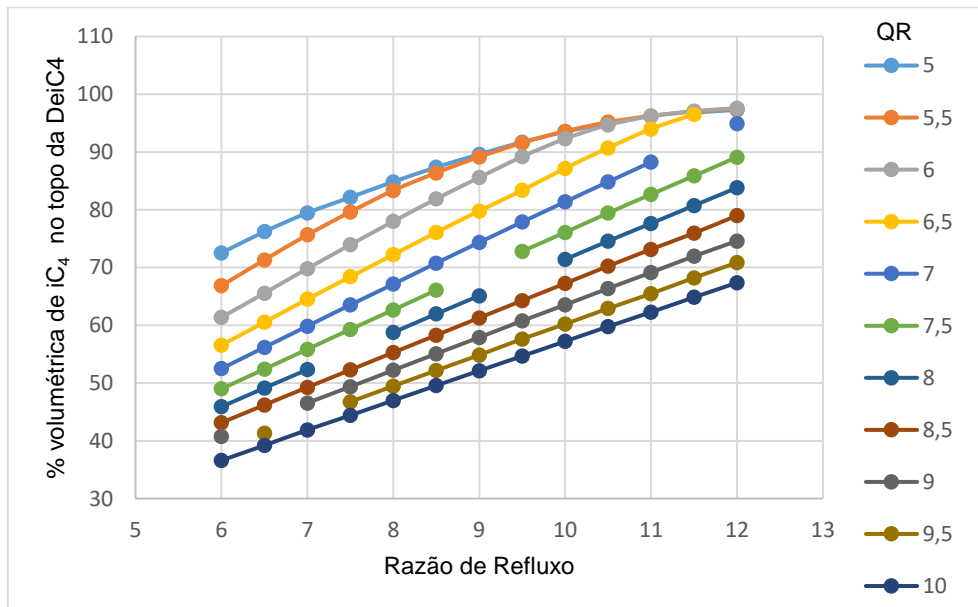


Figura 50 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC4 em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado

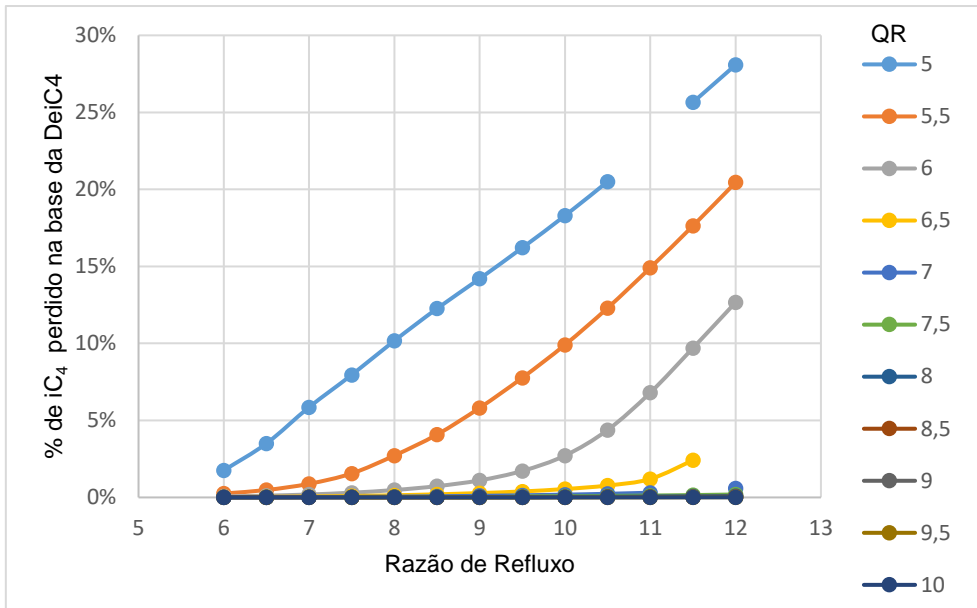


Figura 51 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 85% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 85% de produção de Alquilado é fornecendo 5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 9,9 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 90 %

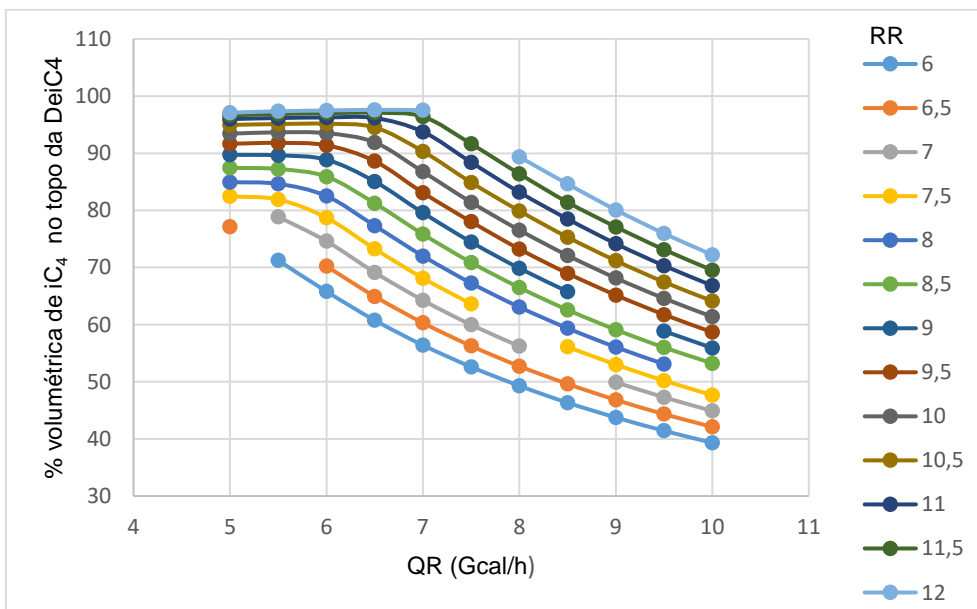


Figura 52 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da DeIC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado



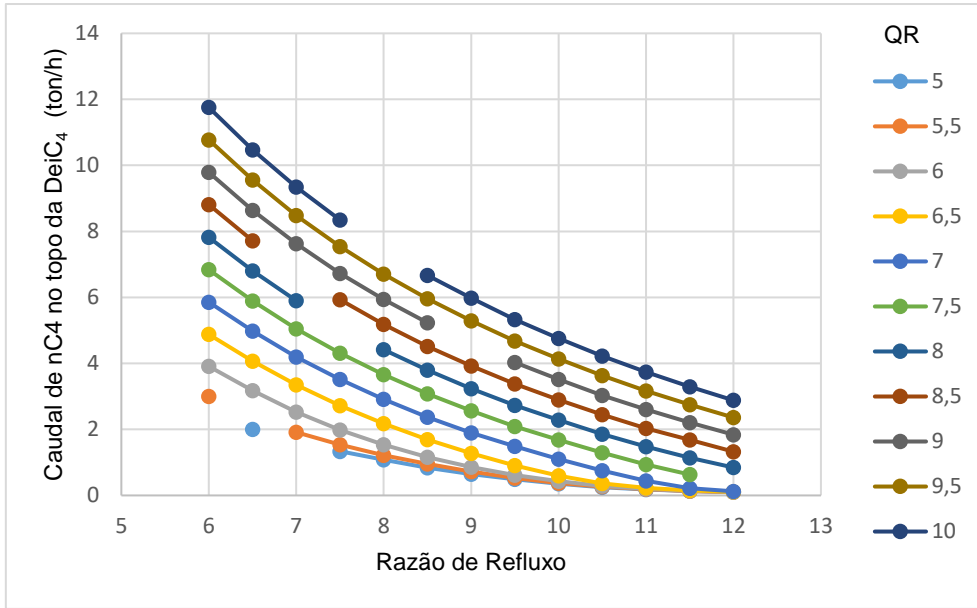


Figura 53 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da Deic<sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 52 e 53 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

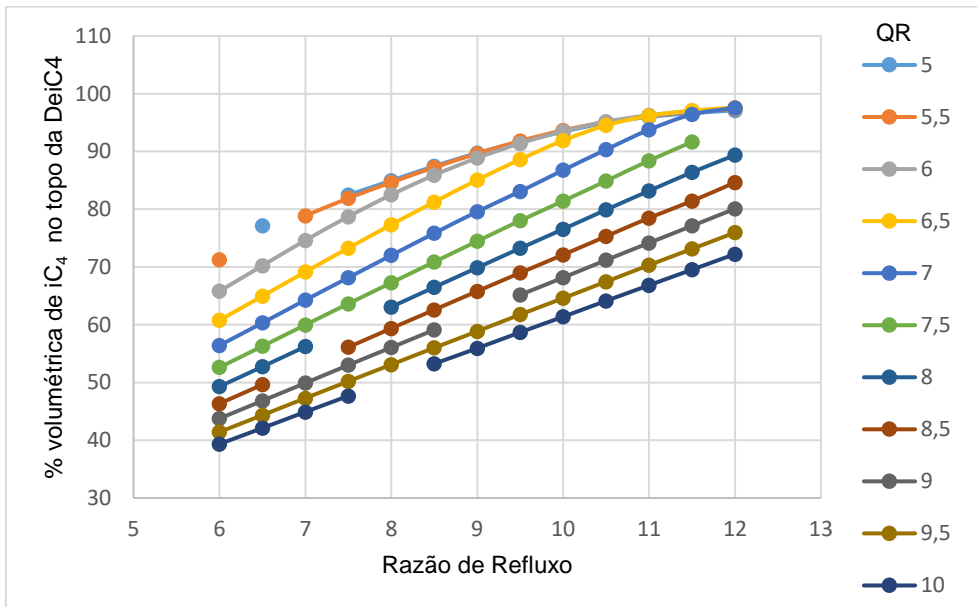


Figura 54 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado

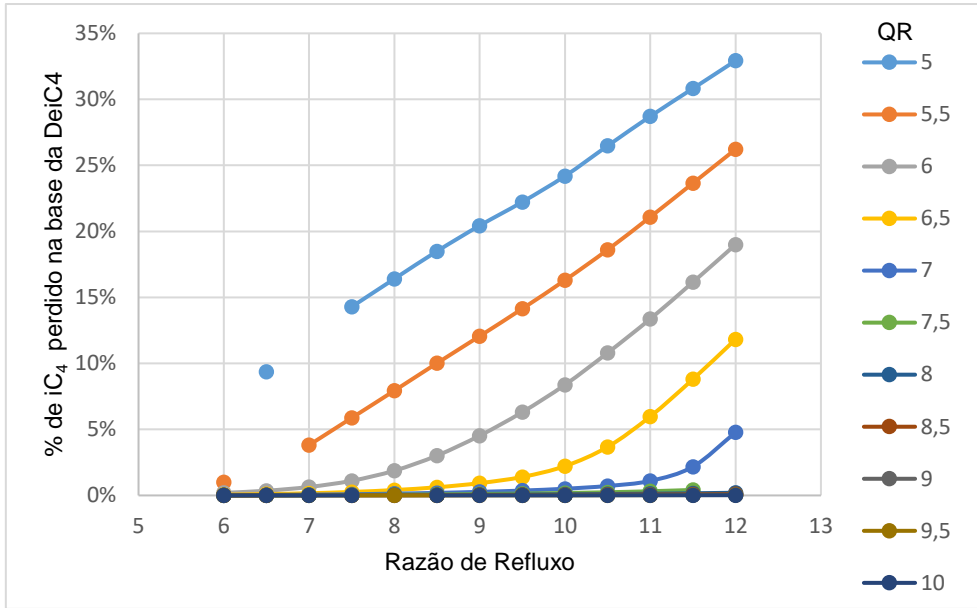


Figura 55 - Representação gráfica da porcentagem de iC<sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 90% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 90% de produção de Alquilado é fornecendo 6 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 11,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 8.

- Para uma produção de alquilado de 95 %

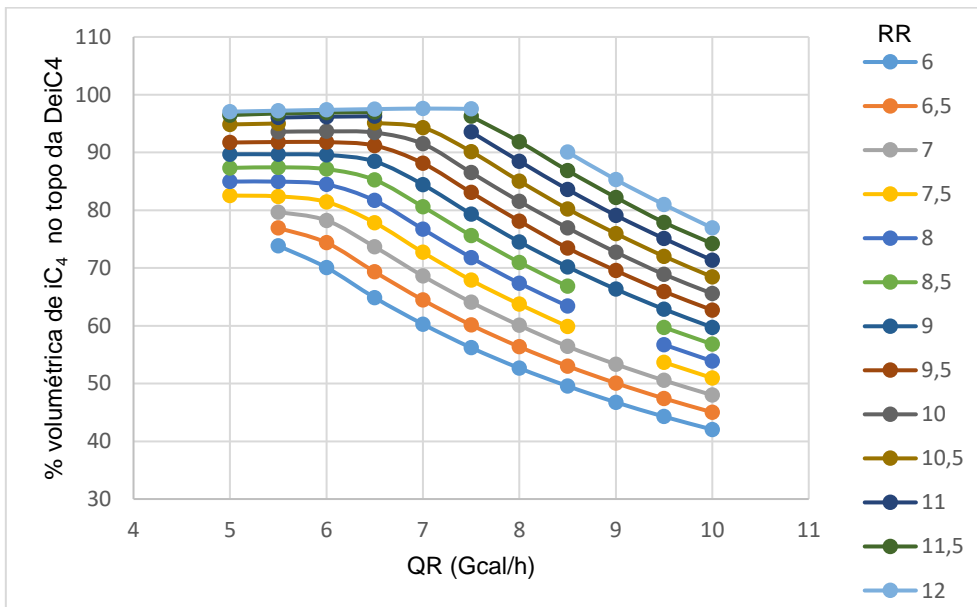


Figura 56 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da DeIC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado

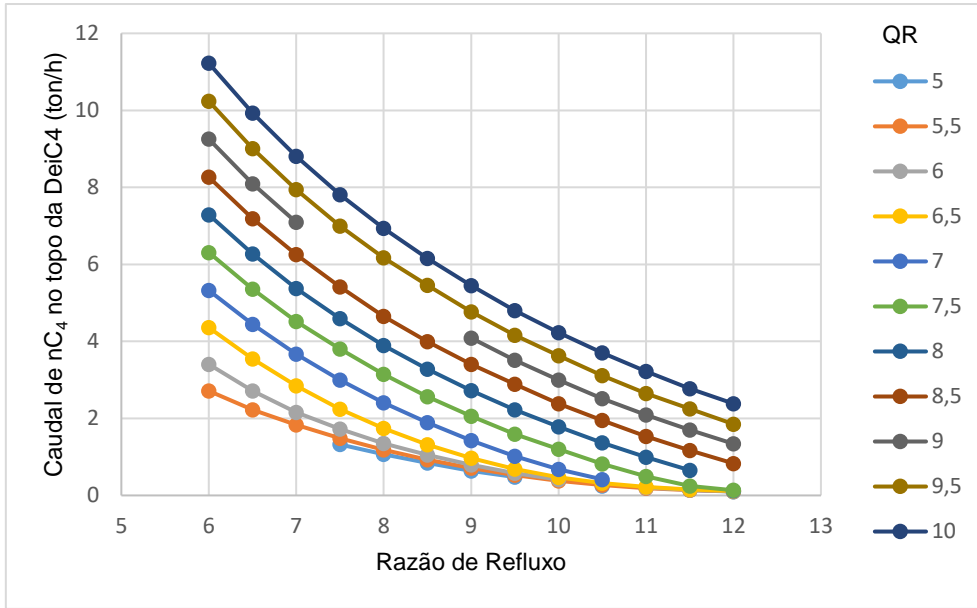


Figura 57 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras anteriores podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

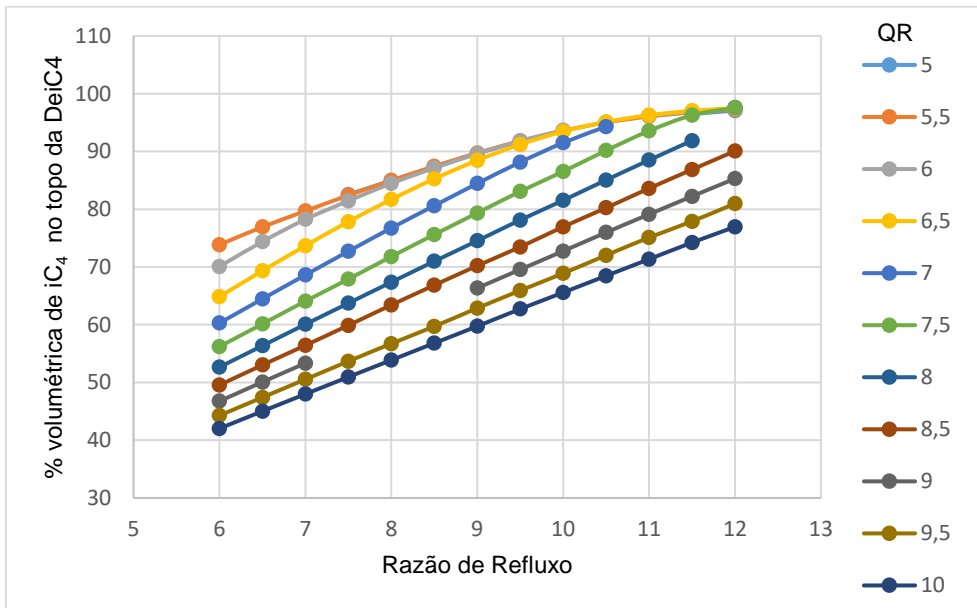


Figura 58 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado

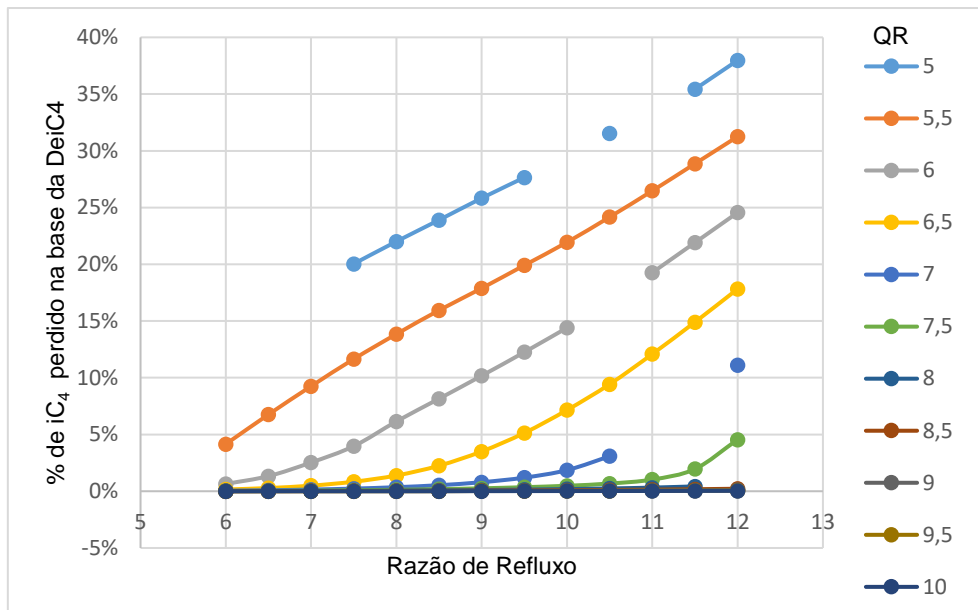


Figura 59 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 95% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 95% de produção de Alquilado é fornecendo 6 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 11,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 100 %

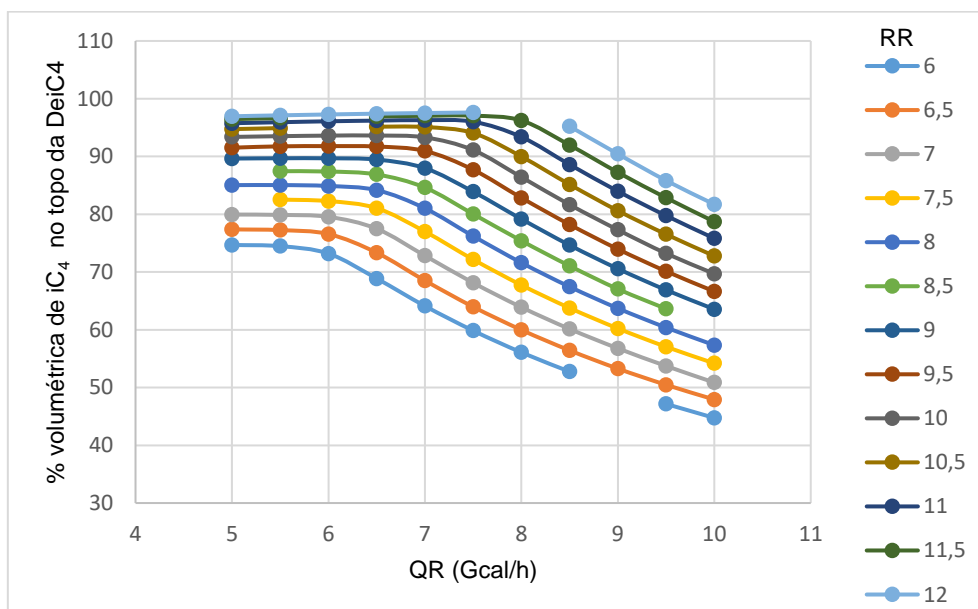


Figura 60 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da Deic4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado

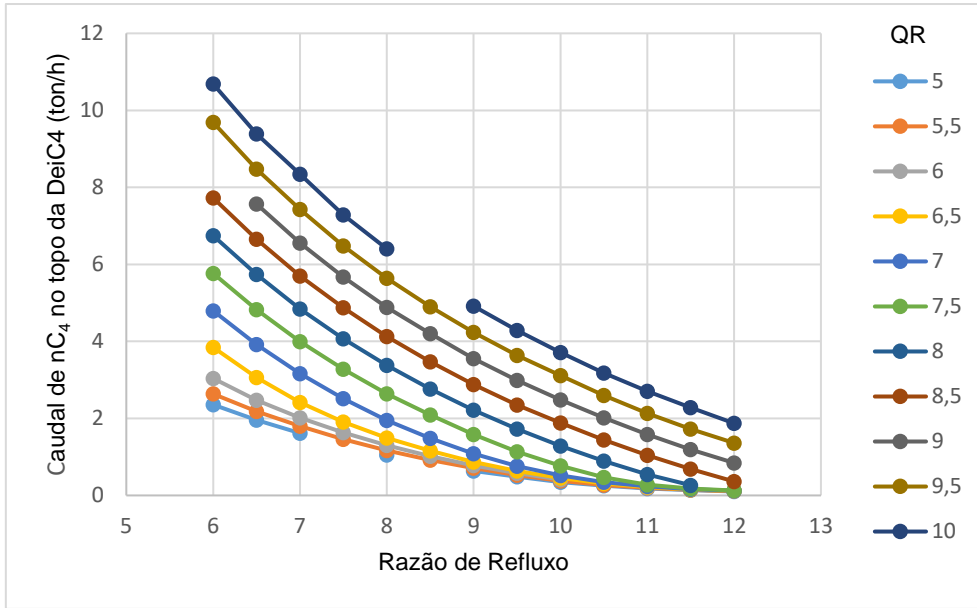


Figura 61 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC<sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 60 e 61 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

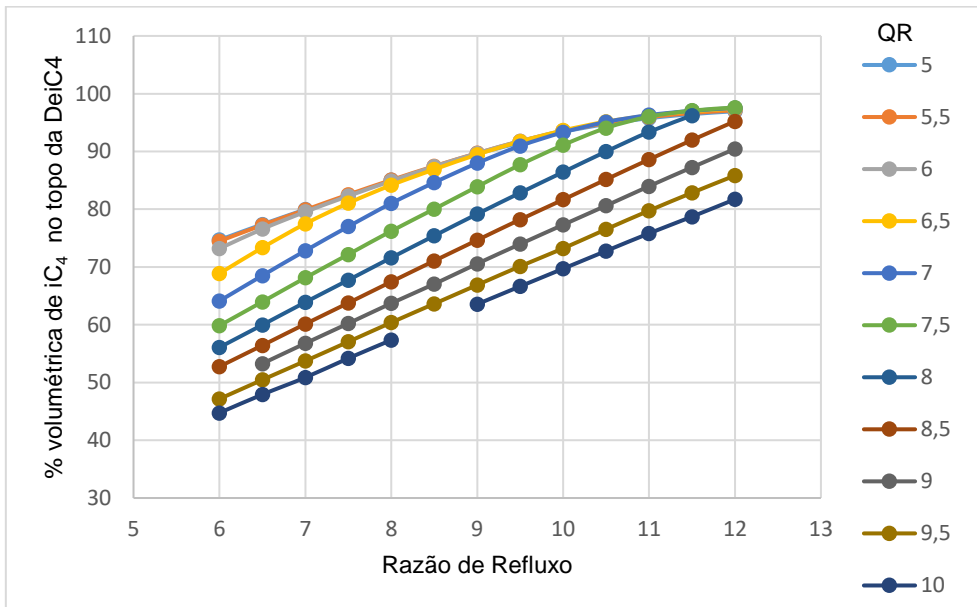


Figura 62 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado

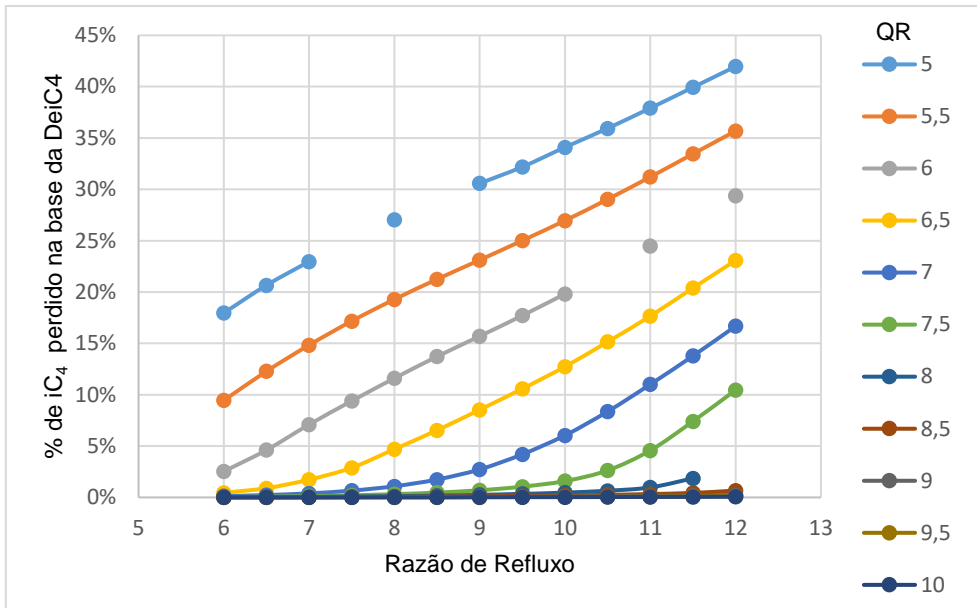


Figura 63 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 100% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 100% de produção de Alquilado é fornecendo 6,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 12,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 105 %

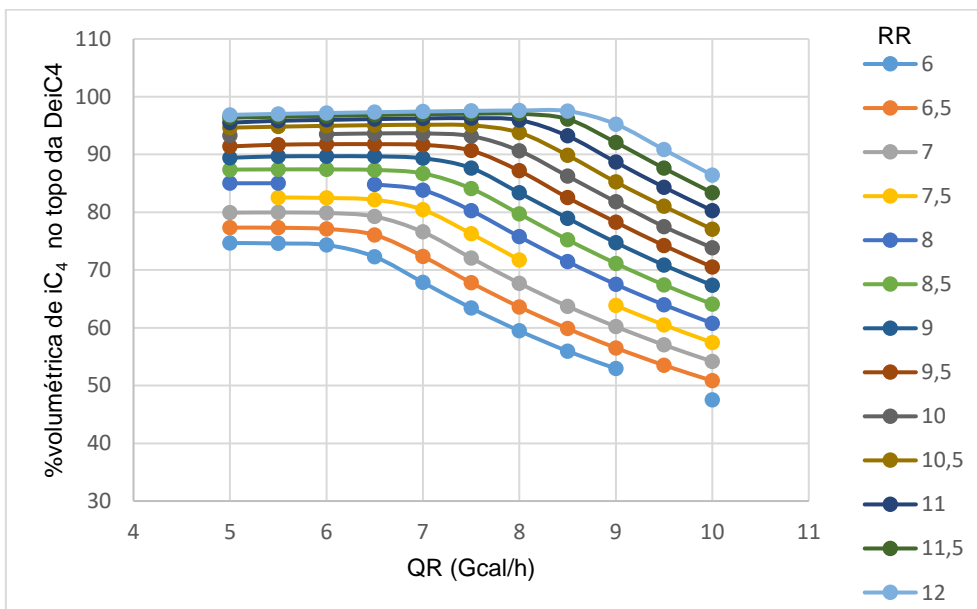


Figura 64 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da DeIC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado

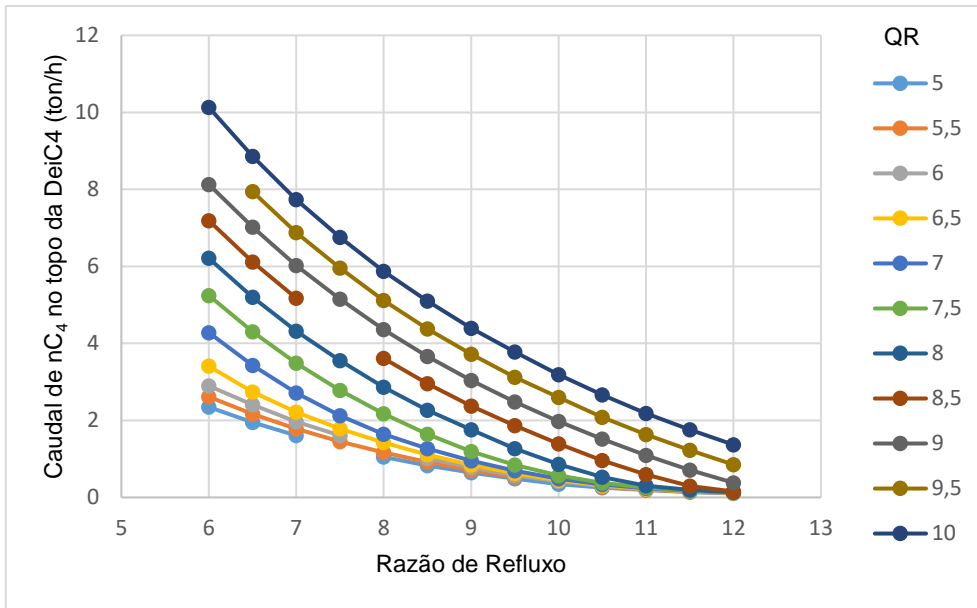


Figura 65 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 64 e 65 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

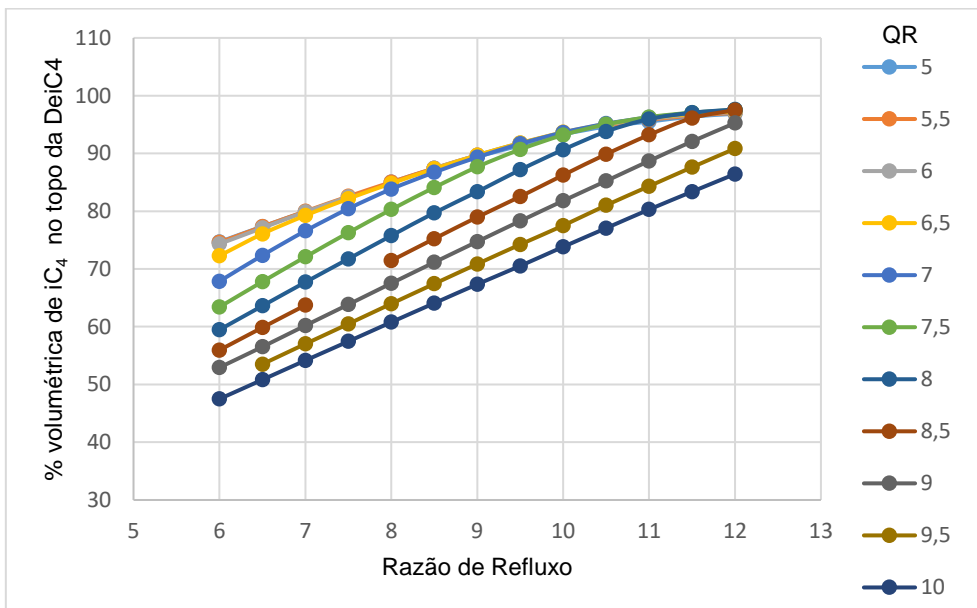


Figura 66 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado

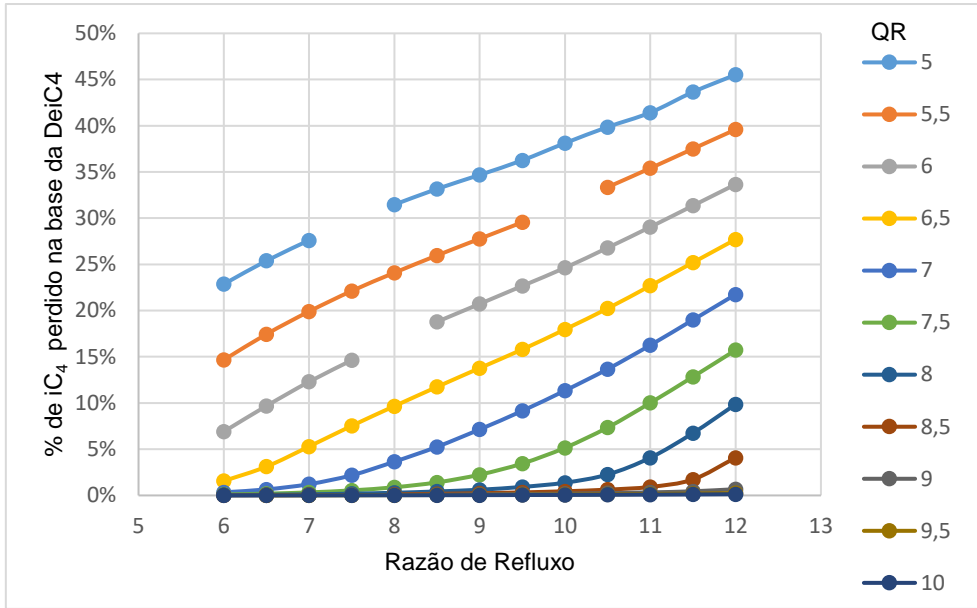


Figura 67 - Representação gráfica da porcentagem de  $iC_4$  perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 105% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 105% de produção de Alquilado é fornecendo 6,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 12,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 110 %

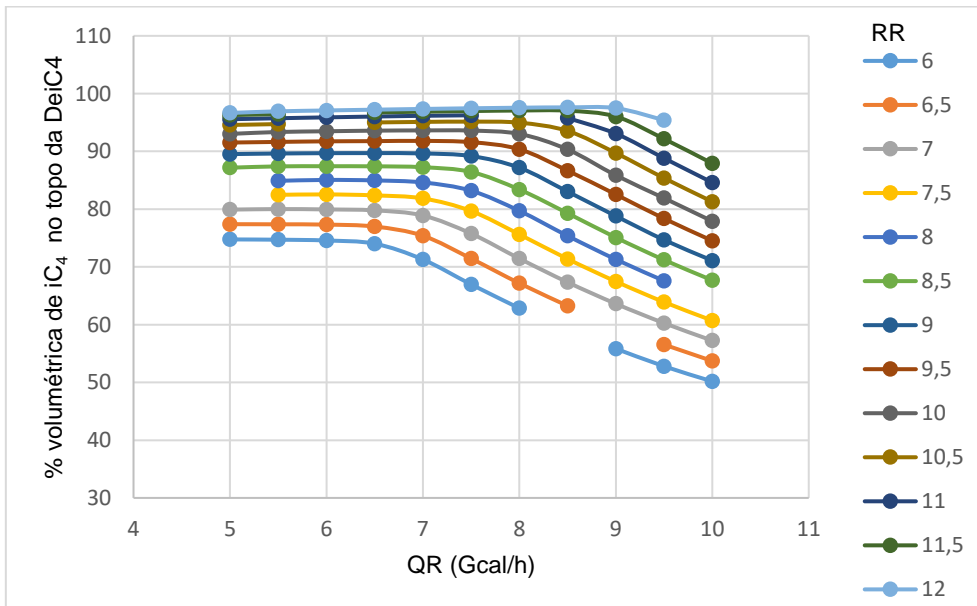


Figura 68 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de  $iC_4$  obtida no topo da DeIC4 em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado



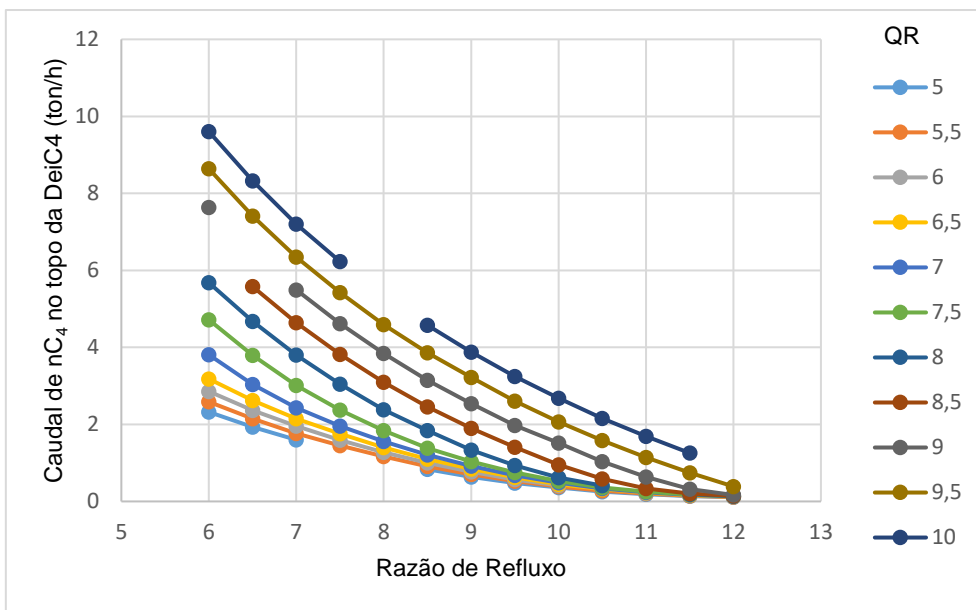


Figura 69 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da Deic4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 68 e 69 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

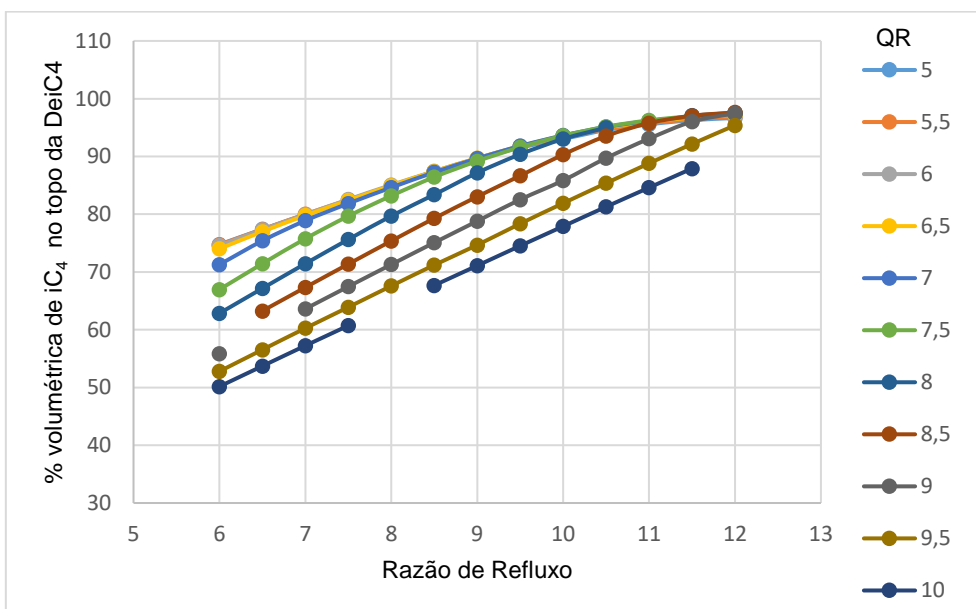


Figura 70 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado

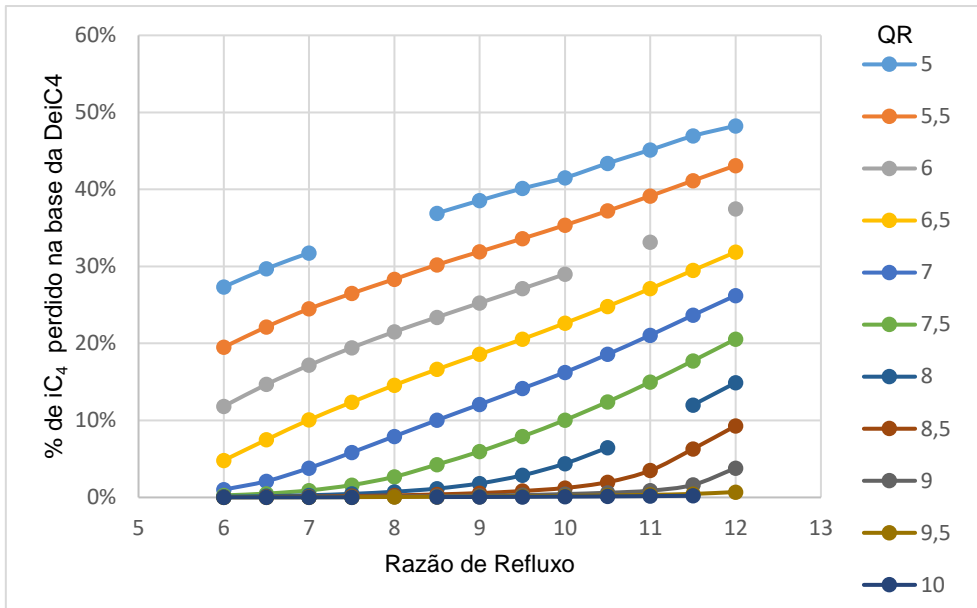


Figura 71 - Representação gráfica da porcentagem de iC<sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 110% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 110% de produção de Alquilado é fornecendo 7 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 13,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 115 %

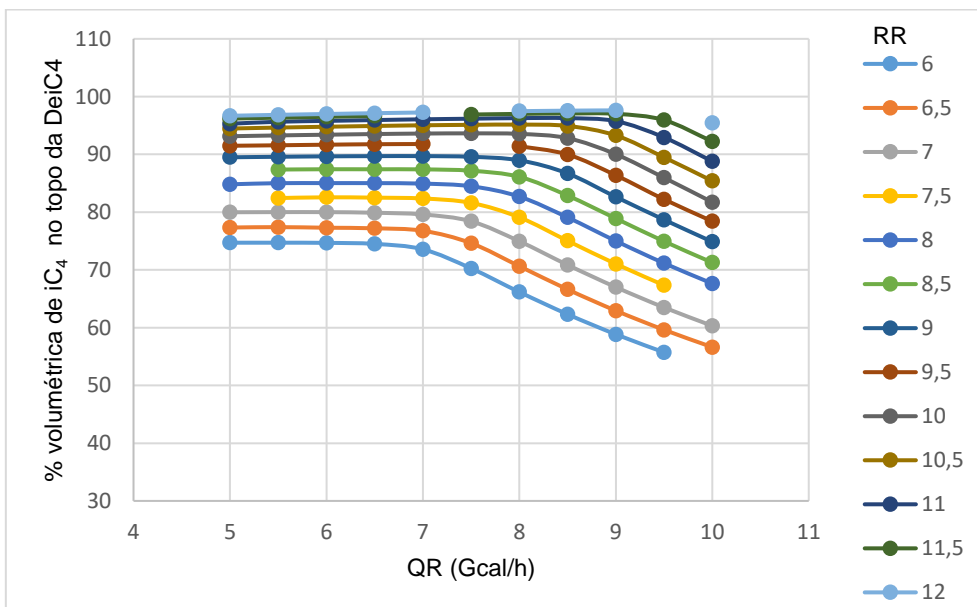


Figura 72 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da DeIC<sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado

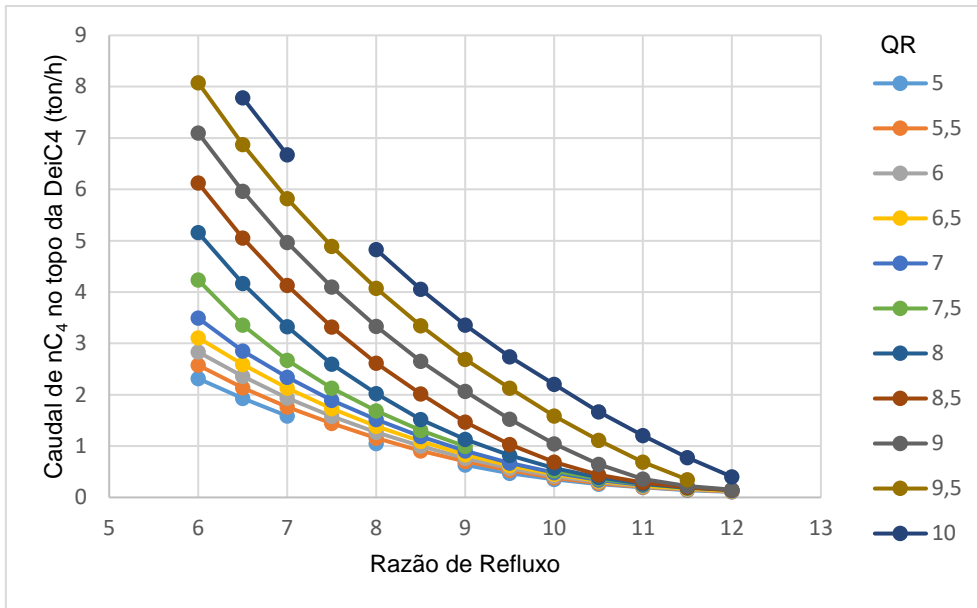


Figura 73 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC<sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 72 e 73 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

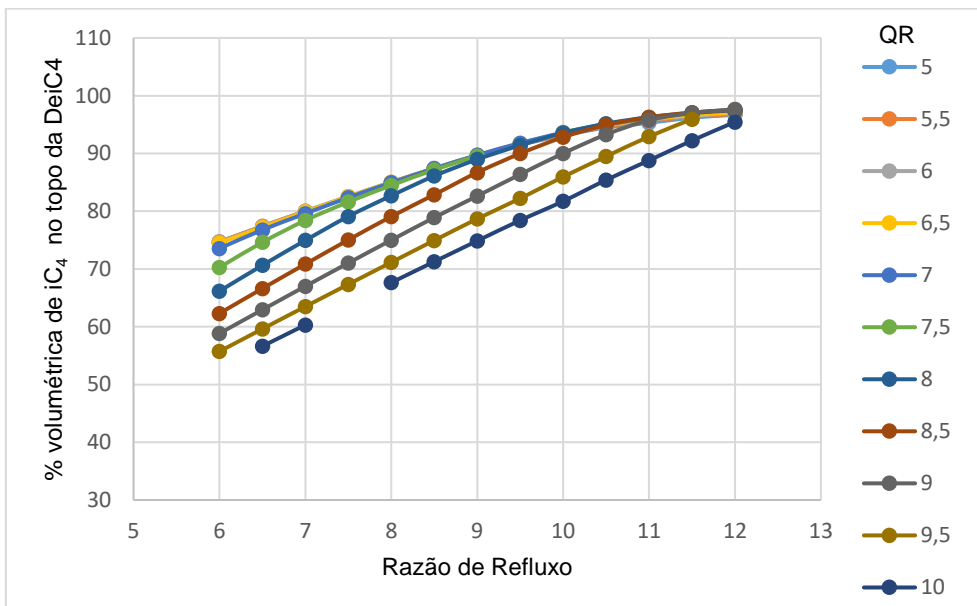


Figura 74 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado

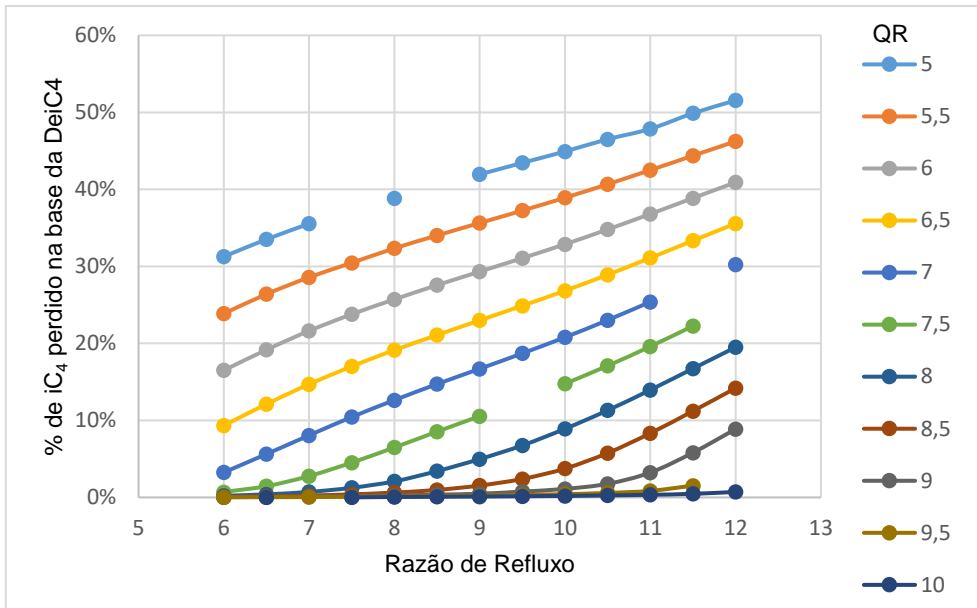


Figura 75 - Representação gráfica da porcentagem de iC<sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 115% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 115% de produção de Alquilado é fornecendo 7,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 14,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 120 %

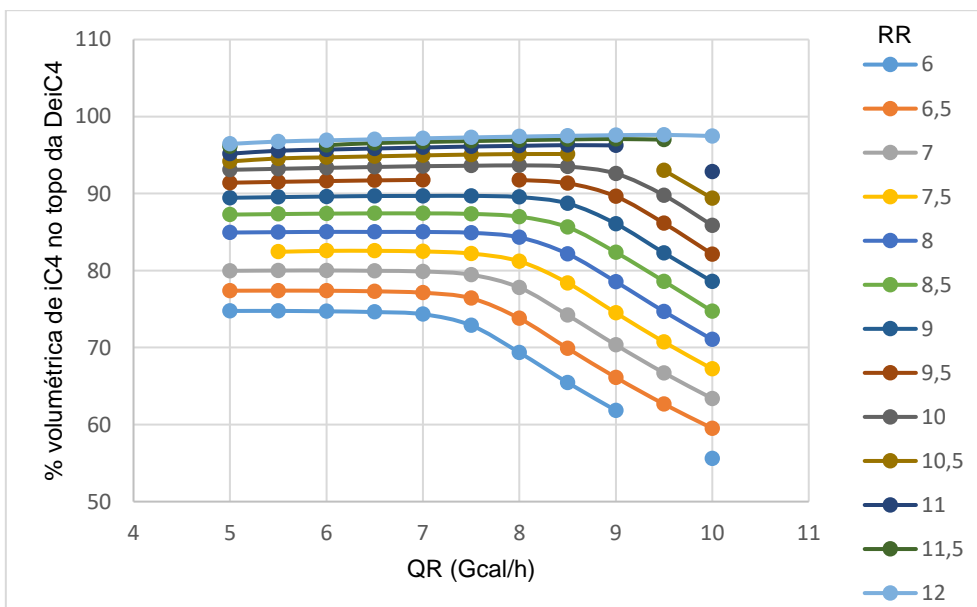


Figura 76 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da DeIC<sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado

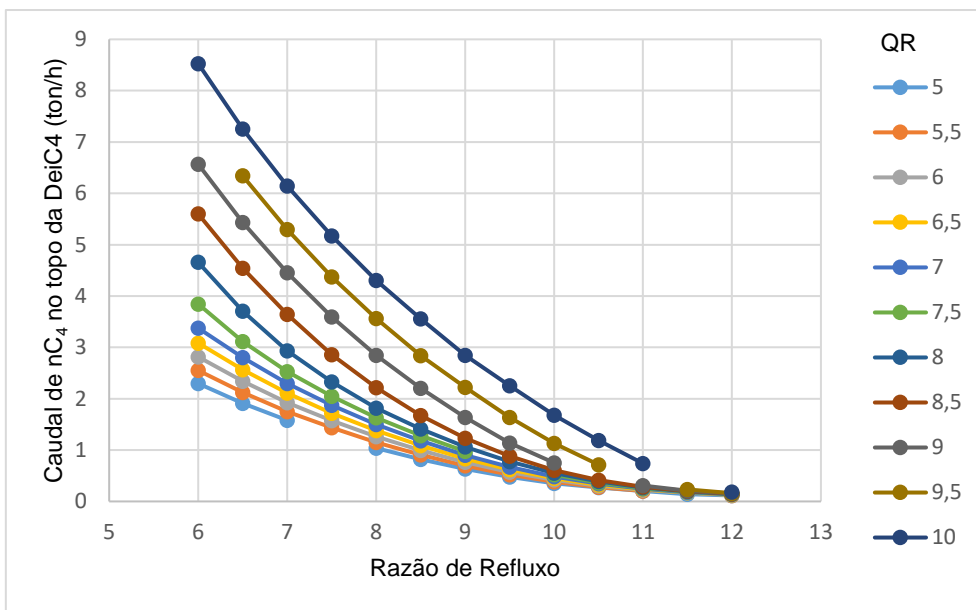


Figura 77 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC<sub>4</sub> em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 76 e 77 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

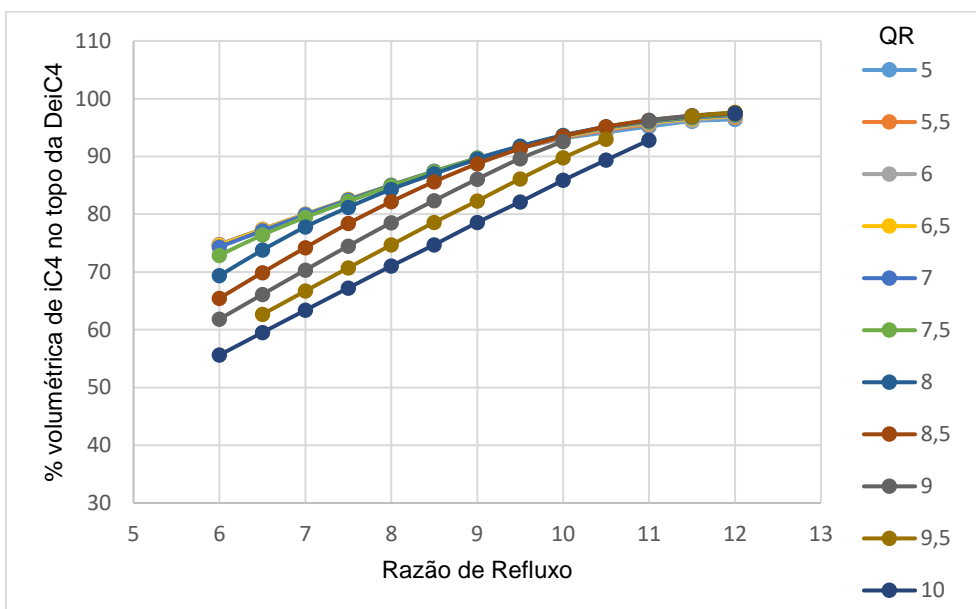


Figura 78 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado

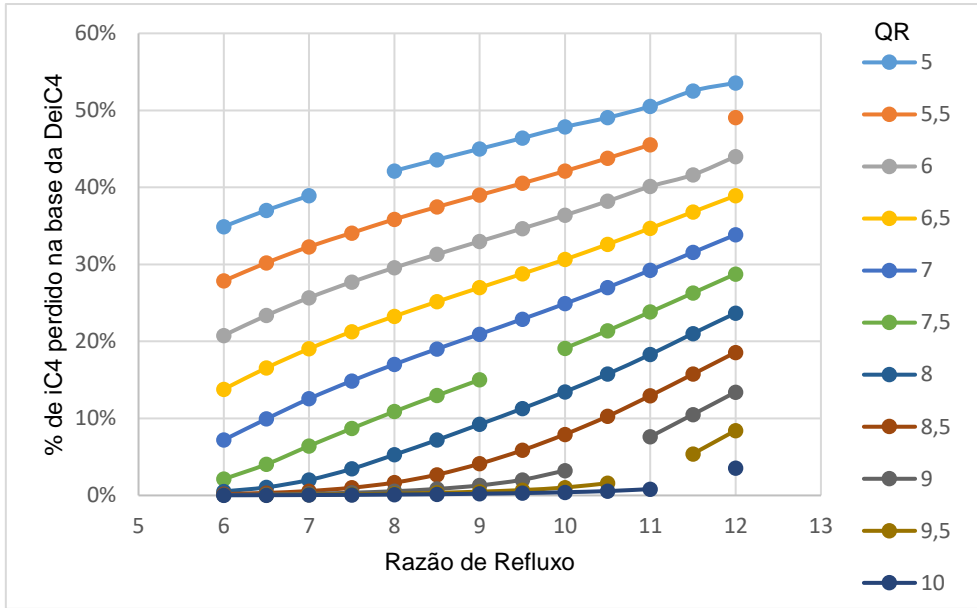


Figura 79 - Representação gráfica da porcentagem de iC<sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 120% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 120% de produção de Alquilado é fornecendo 8 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 15,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

- Para uma produção de alquilado de 125 %

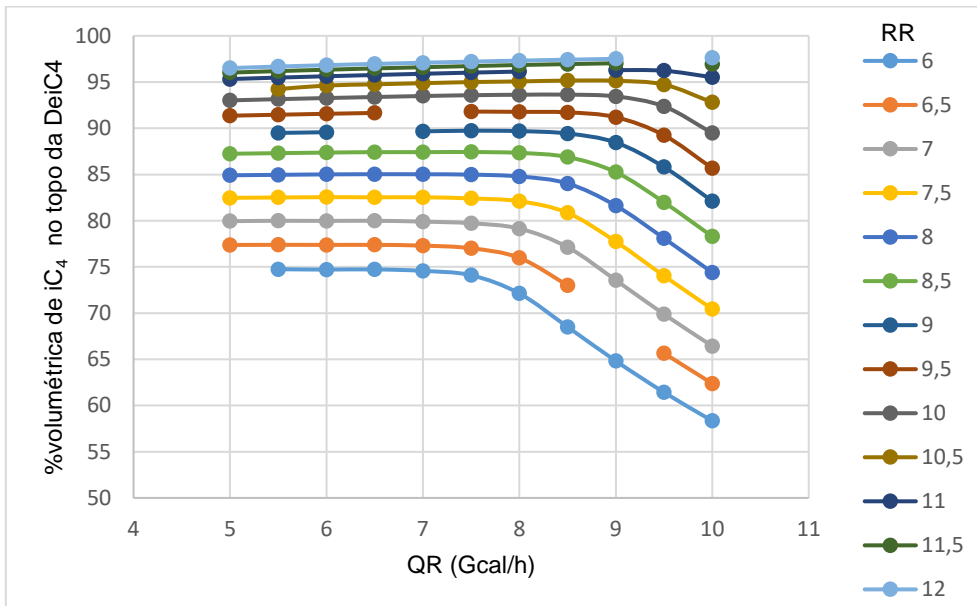


Figura 80 - Representação gráfica da porcentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> obtida no topo da DeIC<sub>4</sub> em função do calor fornecido ao Reebulidor, para diferentes razões de refluxo, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado

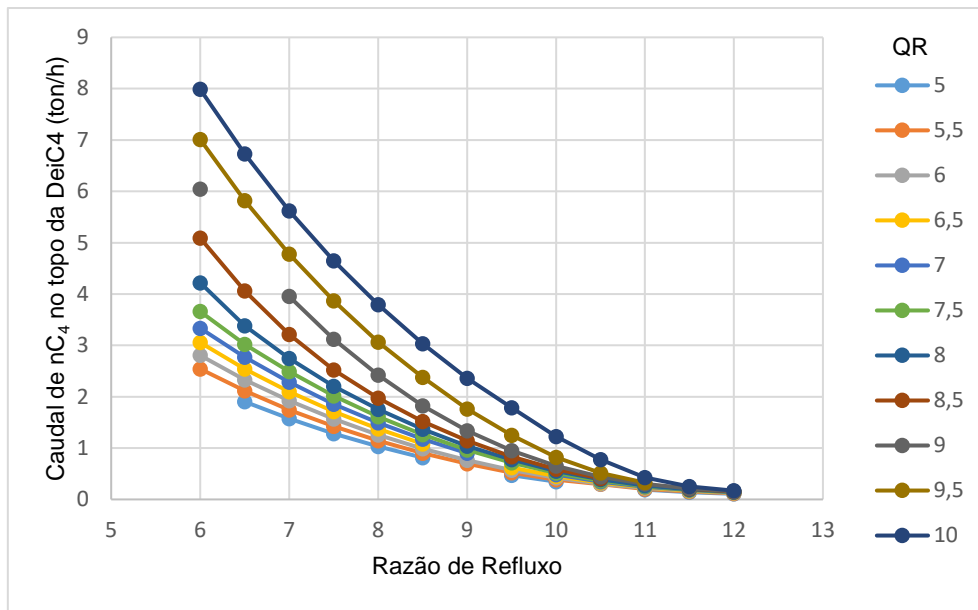


Figura 81 - Representação gráfica do Caudal de n-Butano obtido no topo da DeiC4 em função da Razão de Refluxo, para diferentes valores de calor fornecidos ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado

Pela análise das Figuras 80 e 81 podemos concluir que quanto menor for o calor fornecido ao Reebulidor, conseqüentemente menor consumo de vapor. E mais alta a razão de refluxo a que a unidade opere, maiores serão os valores de pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora.

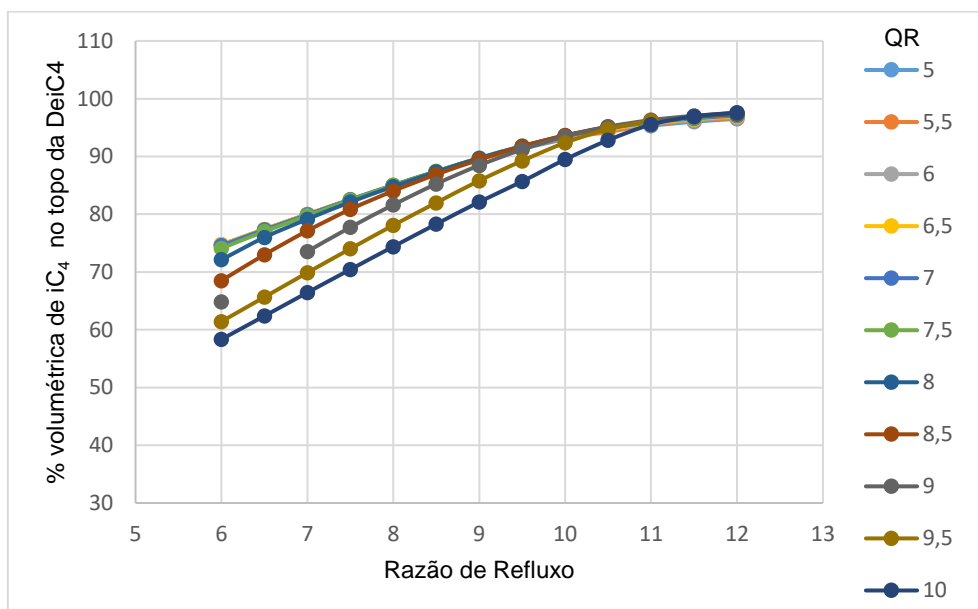


Figura 82 - Representação gráfica da percentagem volumétrica de iC<sub>4</sub> em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado

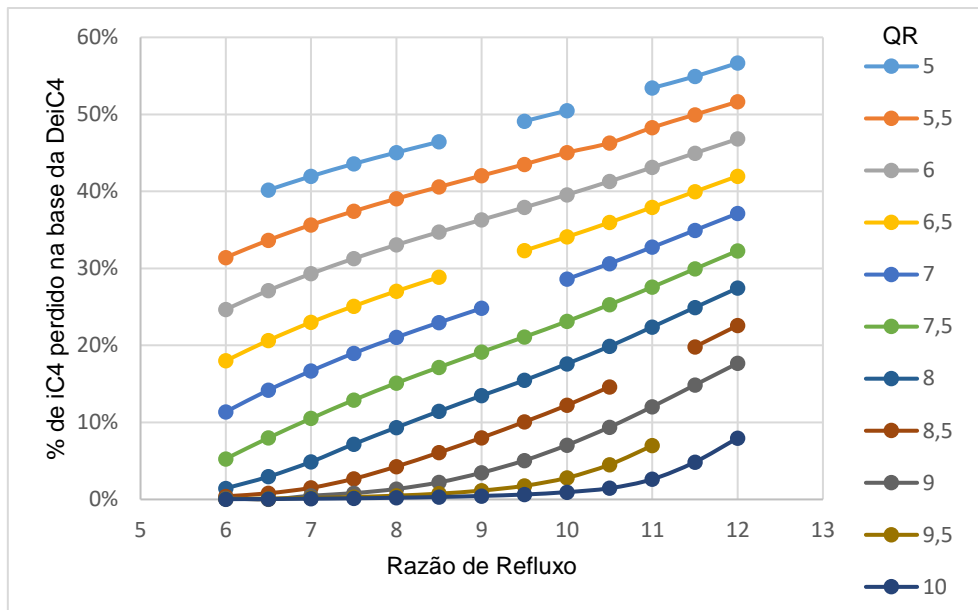


Figura 83 - Representação gráfica da porcentagem de iC<sub>4</sub> perdido na base em função da razão de refluxo para diferentes valores de Calor fornecido ao Reebulidor, no Caso B - Cenário 125% de produção de alquilado

O Ponto ótimo de operação da Desisobutanizadora no Caso B, para um cenário de produção de 125% de produção de Alquilado é fornecendo 8,5 Gcal/h ao Reebulidor, o equivalente a 16,8 ton/h de vapor a 3,5 barg e operar a uma razão de refluxo de 7,5.

Tabela 20 - Condições de operação para cada ponto ótimo, para produções de Alquilado de [85-125]<sup>2</sup>

		85%	90%	95%	100%	105%	110%	115%	120%	125%
<b>Caso B</b>	RR	7,5	8	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	QR	5	6	6	6,5	6,5	7	7,5	8	8,5

<sup>2</sup> RR-Razão de Refluxo

QR- Calor fornecido ao Reboiler



## 5. Resultados e Discussão

Após uma análise cuidada de todos os gráficos do capítulo anterior e feito o cruzamento de dados dos mesmos, tendo por base as premissas:

- Maior percentagem volumétrica de Isobutano no topo da Desisobutanizadora
- Perda mínima de Isobutano na base da Desisobutanizadora;
- Menor consumo de vapor no reebulidor.

Que permitem obter os pontos ótimos de operação da unidade, nos diferentes regimes de carga para as purezas da alimentação em estudo. Foi possível construir a Tabela 21 onde se apresentam as combinações ótimas de operação da Desisobutanizadora para as varias cargas.

Tabela 21 - Pontos ótimos de operação da Desisobutanizadora para produções de Alquilado de [85-125]%

		85%	90%	95%	100%	105%	110%	115%	120%	125%
<b>Caso A</b>	Pureza	82%	81%	82%	81%	82%	81%	82%	81%	82%
	Razão de Refluxo	10	10,5	10	10	10	10	10	10	10
	ton vapor	12,8	13,8	13,8	14,8	14,8	15,8	15,8	16,8	16,8
<b>Caso B</b>	Pureza	82%	83%	81%	81%	82%	82%	82%	81%	82%
	Razão de Refluxo	7,5	8	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	ton vapor	9,9	11,8	11,8	12,8	12,8	13,8	14,8	15,8	16,8

Pode-se concluir, de uma forma generalista, que do ponto de vista energético, ou seja minimização do consumo de vapor, a otimização do regime de operação da unidade passaria por operar com baixas quantidades de vapor e a razões de refluxo altas, sem inundar a coluna, o que apontaria para um regime de operação no limite mínimo de operação, 80% de pureza em Isobutano na corrente de topo, corrente de alimentação a Alquilação. O que por si só já é um risco operar a unidade no seu limite mínimo, não é conveniente uma vez que o principal objetivo da unidade é fornecer cargas ricas em Isobutano a Alquilação.

A Tabela 22 resulta da análise efetuada ao consumo específico nos pontos ótimos de operação para cada uma das percentagens de produção de alquilado.

Tabela 22 - Consumo específico da Desisobutanizadora nos pontos ótimos de operação para produções de Alquilado de [85-125]%

	85%	90%	95%	100%	105%	110%	115%	120%	125%
<b>Caso A</b>	1,78	1,84	1,80	1,85	1,78	1,86	1,80	1,87	1,80
<b>Caso B</b>	1,39	1,54	1,44	1,48	1,40	1,41	1,44	1,46	1,49

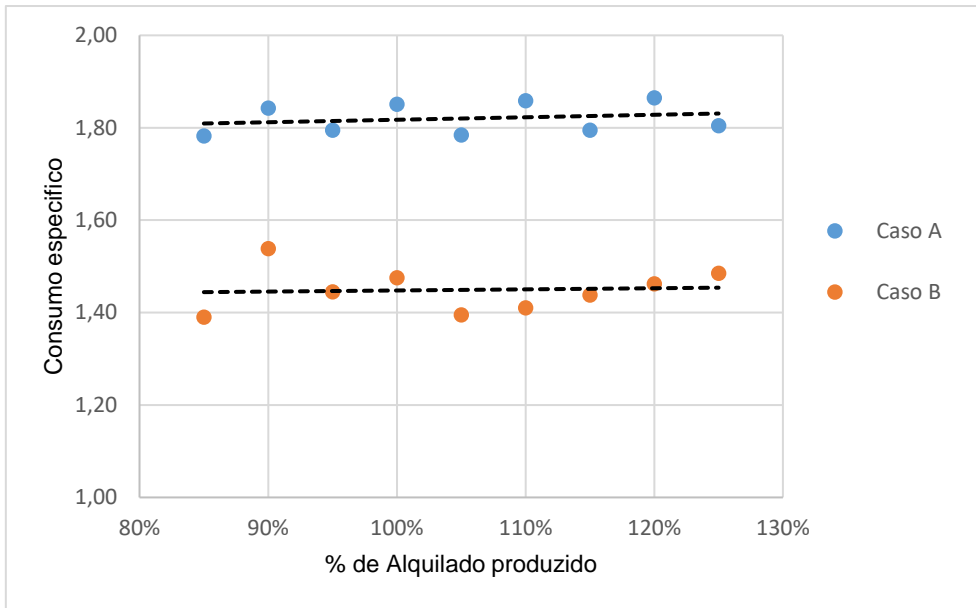


Figura 84 - Representação gráfica do consumo específico para os ótimos de operação em função da produção de alquilado

Pela análise do gráfico da Figura 84, pode-se concluir que o consumo específico não varia com a carga, apresenta ligeiras flutuações dentro da margem de erro.

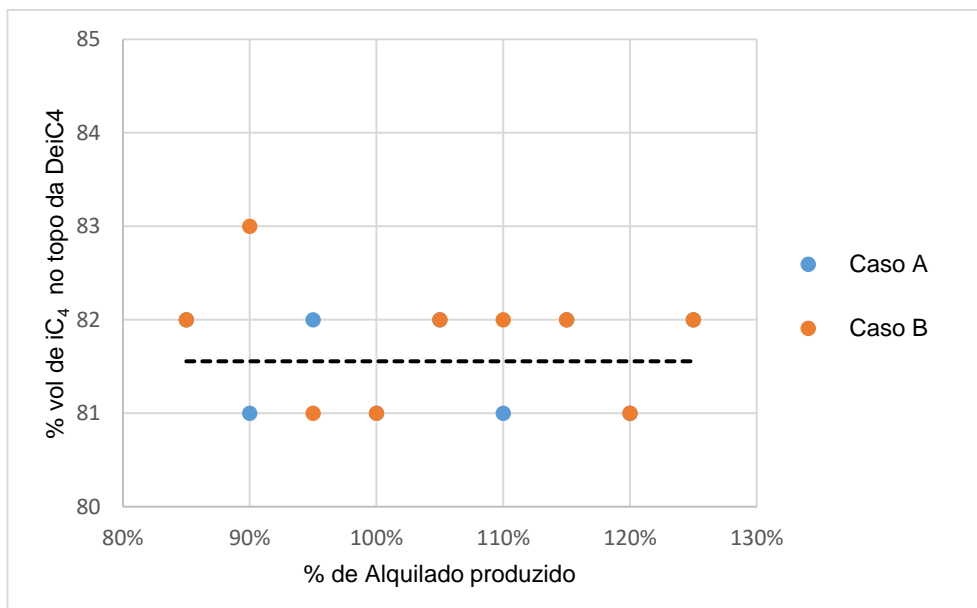


Figura 85 - Representação gráfica da pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora nos pontos ótimos para as várias percentagens de produção de alquilado

Como podemos verificar no gráfico da Figura 85, operar a unidade no ótimo, significará obter uma pureza de aproximadamente 82%. Estaremos então no limite mínimo de pureza aceitável, na corrente de alimentação a Alquilação. O que nos permite obter as melhores otimizações do ponto de vista de consumo de vapor.

Uma vez que como observado no gráfico da Figura 83, o consumo específico não varia significativamente com a carga, apresenta somente ligeiras flutuações dentro da margem de erro. Tomando como exemplo uma carga a Desisobutanizadora, que permite uma produção de 100% de alquilado e feita uma análise ao consumo específico para os pontos de operação, do caso A e B, em que a pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora esteja compreendida entre [80-90] %, Tabela 23 e Tabela 24. Foi possível obter as matrizes das Tabelas 25 e 26.

Tabela 23 - Valores de pureza em Isobutano, na corrente de topo, para o caso A com uma produção de 100% de alquilado.

Pureza da corrente de topo em Isobutano % volumétrica	Razão de Refluxo												QR	
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5		12
			68	70			77			84	86	87	90	5
	63	66	68	70	73	75	77	80	82	84	86	88	90	5,5
	63	66	68	70	73	75	77	80	82	84	86	88	90	6
	63	65	68	70	73	75	77	80	82	84	86	88	90	6,5
	61	64	67	70	72	75	77	80	82	84	86	88	90	7
	57	61	65	68	71	74	76	79	81	84	86	88	90	7,5
	54	58	61	65	68	71	74	77	80	83	85	88	90	8
	51	54	58	61	64	68	71	74	77	80	83	86	88	8,5
	48	51		58	61	64	67	71	74	77	80	83	85	9
	45		51	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	9,5
	43	46	49	52	55	58	61	64	66	69	72	75	78	10

Podemos então concluir pelas Tabelas 25 e 26 que o consumo específico e a pureza são proporcionais, isto é, quanto a pureza aumenta o consumo específico também aumenta.

Verificou-se então que para a otimização da Desisobutanizadora, o parâmetro com maior influência no consumo energético da unidade é a pureza da corrente de topo.

Baixar o consumo de vapor na Desisobutanizadora, mantendo a razão de refluxo, permite aumentar a pureza de Isobutano na corrente de topo, mas as perdas de Isobutano pelo fundo da coluna aumentam de forma muito significativa, o que será uma desvantagem para a operação da unidade de Alquilação, porque baixa a alimentação de Isobutano a esta unidade.

Tabela 24 - Valores de pureza em Isobutano, na corrente de topo, para o caso B com uma produção de 100% de alquilado.

Pureza da corrente de topo em Isobutano % volumétrica	Razão de Refluxo												QR
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	
75	77	80		85		90	92	93	95	96	96	97	5
74	77	80	83	85	87	90	92	94	95	96	97	97	5,5
73	77	80	82	85	87	90	92	94		96		97	6
69	73	77	81	84	87	89	92	94	95	96	97	97	6,5
64	69	73	77	81	85	88	91	93	95	96	97	98	7
60	64	68	72	76	80	84	88	91	94	96	97	98	7,5
56	60	64	68	72	75	79	83	86	90	93	96		8
53	56	60	64	67	71	75	78	82	85	89	92	95	8,5
	53	57	60	64	67	71	74	77	81	84	87	90	9
47	50	54	57	60	64	67	70	73	77	80	83	86	9,5
45	48	51	54	57		64	67	70	73	76	79	82	10

Tabela 25 - Consumo específico para o Caso A com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90] %

Consumo específico (ton vapor/ton iC <sub>4</sub> )	Razão de Refluxo						QR
	9,5	10	10,5	11	11,5	12	
			4,6	4,9	5,2	5,5	5
3,6	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9		5,5
3,2	3,5	3,7	3,9	4,2	4,5		6
3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,1		6,5
2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7		7
	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5		7,5
	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3		8
		2,7	2,8	2,9	3,1		8,5
				2,9	3,0		9
					3,0		9,5
							10

Tabela 26 - Consumo específico para o Caso B com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90]%

Consumo específico (ton vapor/ton iC <sub>4</sub> )	Razão de Refluxo											QR
	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	
1,9		2,5		2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,7	5	
1,7	2,1	2,2	2,7	2,7	2,9	3,1	3,4	3,3	3,9	4,2	5,5	
1,6	1,9	1,9	2,4	2,4	2,6	2,8		3,0		3,9	6	
	1,8	1,8	2,1	2,2	2,4	2,6	3,1	2,8	3,3	3,5	6,5	
		1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,6	3,0	3,0	7	
			1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,8	2,8	7,5	
					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6		8	
						2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	8,5	
							2,4	2,5	2,6	2,7	9	
								2,5	2,6	2,7	9,5	
										2,7	10	

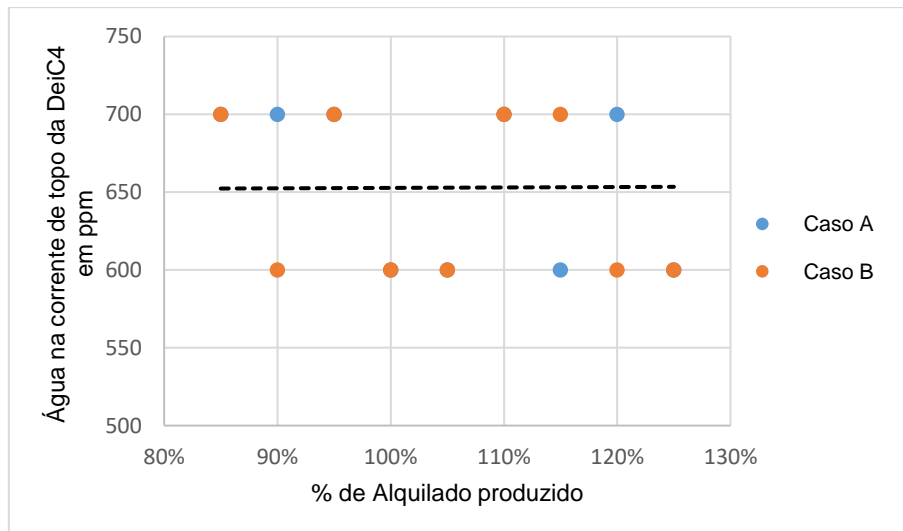


Figura 86 - Representação gráfica da concentração de Água em ppm na corrente de topo da Deic4 nos pontos ótimos para as varias percentagens de produção de alquilado

Quanto à presença de água na corrente de alimentação a Alquilação podemos verificar através da Figura 86 que a sua concentração se mantém entre [600-700]ppm, independentemente da carga, as flutuações que apresenta estão dentro da margem de erro. Embora pela Tabela 25 e Tabela 26, podemos verificar que um aumento de pureza implica um ligeiro aumento da concentração de água na corrente de topo.

Tabela 27 - Água na corrente de topo da DeiC4 no Caso A com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90]%

Água na Corrente de topo da DeiC4 (ppm)	Razão de Refluxo						QR
	9,5	10	10,5	11	11,5	12	
			681	776	670	724	5
	792	747	755	749	736	716	5,5
	787	717	709	716	735	766	6
	700	723	739	731	769	761	6,5
	567	562	684	773	658	771	7
		700	623	698	721	743	7,5
		655	684	712	694	676	8
			643	669	657	611	8,5
					622	682	9
						646	9,5

Tabela 28 - Água na corrente de topo da DeiC4 no Caso B com uma produção de 100% de Alquilado, para valores de pureza de [80-90]%

Água na Corrente de topo da DeiC4 (ppm)	Razão de Refluxo											QR
	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	
	769		788		755	794	762	680	669	674	696	5
	641	757	811	775	744	752	740	737	721	722	716	5,5
	708	599	700	783	718	714	735		777		725	6
		690	640	769	713	726	706	764	665	751	752	6,5
			677	712	748	687	712	782	774	673	679	7
				665	699	644	703	729	695	769	771	7,5
						687	718	749	670	736		8
							677	577	581	686	727	8,5
								667	696	643	750	9
									660	686	711	9,5
											676	10

## 6. Conclusões

A otimização da Deizobutanizadora da Fábrica II, da Refinaria de Sines tem uma grande importância do ponto de vista do consumo energético. Uma vez que a otimização desta iria aumentar as margens da unidade de Alquilação, que tem como alimentação o Isobutano proveniente da Desisobutanizadora.

Com o objetivo de poder otimizar a Desisobutanizadora, inicialmente implementou-se a unidade no Petro-SIM™.

Após implementação do caso design da unidade no simulador verificou-se que a configuração da mesma estava correta, pois devolvia valores de pureza e de consumo de vapor em concordância com os propostos pelo licenciador da unidade.

Na implementação dos 4 Casos reais verificou-se que na maioria dos casos os valores simulados não apresentam diferenças muito significativa face aos valores reais. Podendo então afirmar-se que o modelo de simulação é válido.

Nas otimizações realizadas verificou-se que do ponto de vista energético as condições ótimas de operação da Desisobutanizadora passariam por fornecer pouco calor ao Reebulidor e operar a razões de refluxo altas, o que apontariam para um regime de operação no limite mínimo da unidade, 80% de pureza em Isobutano na corrente de topo.

Após verificar que o consumo específico não é influenciado pela carga. Analisado o consumo específico para os dados de operação, em que a pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora esteja compreendida entre [80-90] %, podemos verificar que a medida que aumentamos a pureza na corrente de topo estamos a aumentar o consumo específico.

Para a otimização da Deizobutanizadora verificou-se que o parâmetro com maior influência no consumo energético da unidade é a pureza da corrente de topo. Isto é, quanto maior for a pureza pretendida na corrente que vai alimentar a unidade de Alquilação, mantendo uma perda baixa de Isobutano pelo fundo da coluna, maior será o gasto de vapor na Desisobutanizadora.

Em suma, o estudo efetuado é muito útil porque permite perceber que o ótimo de operação da unidade está na gama de 81-82% de pureza de Isobutano na corrente de topo, e se aumentar o vapor ao reebulidor estará a aumentar a quantidade de n-Butano no topo, ou seja, maior consumo energético e pior performance da Alquilação. Provavelmente se otimizarmos as duas unidades em conjunto o valor de pureza pode subir para valores superiores a 82%, caso o consumo específico de vapor na alquilação seja muito dependente da quantidade de n-Butano que é arrastado para o topo juntamente com o Isobutano, ou então se isso influenciar negativamente as condições reacionais no reator de alquilação.

Por forma a completar este estudo do aumento da eficiência energética da unidade Desisobutanizadora da Fábrica II da Refinaria de Sines seria importante efetuar uma simulação conjunta da unidade Desisobutanizadora com a unidade de Alquilação. No sentido de otimizar simultaneamente a performance da Alquilação em função da pureza da corrente de topo da Desisobutanizadora, estudando simultaneamente a influência da quantidade de n-Butano e água

arrastados na corrente de topo da Desisobutanizadora. A importância do controlo da quantidade de água na alimentação à unidade de alquilação recomenda a simulação dos leitos de secagem verificando, por exemplo, se é possível ajustar os ciclos de secagem, regeneração em função da quantidade cumulativa de água presente na corrente de topo da Desisobutanizadora.

Será necessário proceder a criação de uma simulação para a unidade de Alquilação em Petro-SIM™, que irá operar com a alimentação proveniente da Desisobutanizadora, a montante da Alquilação. Desta forma será então possível validar as condições de operação propostas para a Desisobutanizadora bem com o seu efeito na produção de Alquilado.



## Referências Bibliográficas

- [1] Energia cria energia – Galp,. Acedido em 20 de Abril de 2016, from <http://www.galpenenergia.com/PT/Paginas/Home.aspx>
- [2] Portal de Engenharia Quimica - Caso de estudo. Retrieved April 21, 2016, from [http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=224&Itemid=415](http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=224&Itemid=415)
- [3] Jones, D., & Pujado, P. (2006). Handbook of Petroleum Processing, Springer, Second Edition, 2008
- [4] Luyben, W. L. (2013). Design and control of dual condensers in distillation columns. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 74, 106–114.
- [5] Alky Deisobutanizer Optimization Acedido em 10 de Maio de 2016, from <http://ascentengineering.com/alkyDIB.aspx>
- [6] Kim, G. M., Long, N. V. D., & Lee, M. (2012). Application of the Self-Heat Recuperation Technology to Deisobutanizer Column. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 3(6), 424–426.
- [7] Fahim, M. A., Alsahhaf, T. A., & Elkilani, A. (2010). Fundamentals of Petroleum Refining. (Elsevier, Ed.) (Vol. 54).
- [8] Alkylation process with recontacting in settler, WO083611 A2, 2006. Acedido em 30 de Abril de 2016, from <http://google.com/patents/WO2006083611A2?cl=en&hl=pt-PT>
- [9] Basic Design Engineering Package – Deisobutanizer- Alkilation unit, Project:1960, Tecnicas Reunidas
- [10] Petro-SIM™, User Manual Version 6.1, KBC
- [11] Elliott, J. R., & Lira, C. T. (2012). Introductory Chemical Engineering Thermodynamics, Second Edition. Prentice Hall.
- [12] Van Duc Long, N., & Lee, M. (2013). A novel NGL (natural gas liquid) recovery process based on self-heat recuperation. Energy, 57, 663–670.
- [13] Ind, I., Chem, E., & Thesis, I. P. D. (1997). An Industrial i-Butane / n-Butane Fractionator, 4579(1996).
- [14] Long, N. V. D., & Lee, M. Y. (2013). Design and optimization of heat integrated dividing wall columns for improved debutanizing and deisobutanizing fractionation of NGL. Korean Journal of Chemical Engineering, 30(2), 286–294
- [15] Rangaiah, G. P., Chemical Process Retrofitting and Revamping: Techniques and Applications. (WILEY, Ed.), 2016







Anexo A - PFD da Implementação da Unidade Desisobutanizadora em Petro-SIM™

