

Mestrado Integrado em Engenharia Química

***Flexibilização dos Sistemas de Flares da
Refinaria do Porto da Petrogal***

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial

António Ricardino Teixeira Vasconcelos



Refinaria do Porto da Petrogal
Área: Tecnologia



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Departamento de
Engenharia Química

Orientador na FEUP: Fernando Gomes Martins

Orientador na empresa: Fernando Morgado Lopes

Julho de 2009

*Aos meus pais,
e à Lília*

*“Sempre faço
o que não consigo fazer,
para aprender
o que não sei...”
(Pablo Picasso)*

Agradecimentos

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta Tese de Mestrado fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

Agradeço aos orientadores da disciplina de Projecto de Desenvolvimento, ao Prof. Fernando Gomes Martins pela orientação em todas as etapas do projecto, no tratamento de dados e pelo apoio incondicional e ao Engenheiro Fernando Morgado Lopes pela informação disponibilizada, pelo acompanhamento no projecto e pela possibilidade de realizar o projecto de desenvolvimento na Refinaria do Porto.

Quero agradecer à Eng. Cláudia Silva e ao Eng. Luís Rodrigues pela disponibilidade, dedicação e apoio em todas as decisões tomadas ao longo do projecto. Gostaria ainda de agradecer a informação disponibilizada e os conselhos da Eng. Maria do Céu Barros e do Eng. Carlos Reis.

Realço, com especial atenção, a ajuda e colaboração da Eng. Ana Feliciano na resolução de problemas pontuais, pela amizade e companheirismo.

Deixo também uma palavra de agradecimento ao Eng. Fernando Borges, à Eng. Andreia Costa, à Eng. Ana Rita Marques e à Eng. Marta Cruz pela integração, bem-estar e amizade criada ao longo destes meses.

Finalmente, a todos os que me apoiaram ao longo do Projecto de Desenvolvimento, o meu sincero agradecimento.

Resumo

Com a futura reestruturação da Refinaria do Porto (RP) surge a necessidade de adequar e flexibilizar os actuais sistemas de flares da refinaria. O aparecimento de novas unidades processuais ligadas aos colectores dos sistemas de flares (Flare-7100 e Flare-7200) e a necessidade de encontrar um critério de paragens alternado são dois pontos relevantes relacionados com a futura expansão da refinaria.

O presente trabalho centraliza-se em estudos de adequabilidade das Flares 7100 e 7200 da Refinaria do Porto atendendo:

- às restrições destes sistemas com a introdução das novas unidades;
- ao desenvolvimento de cenários de paragens destes sistemas com as novas unidades.

Os estudos basearam-se na avaliação dos factores determinantes dos sistemas de flares. As tarefas realizadas evoluíram com a seguinte organização:

I - Desenvolvimento de competências no Simulador de Sistemas de Flares - *Aspen Flare System Analyzer*;

II - Inventariação das unidades processuais e respectivas válvulas de descarga (PSVs) ligadas aos Sistemas de Flares 7100 e 7200;

III - Análise da adequabilidade dos actuais colectores principais, secundários e dos fachos destes sistemas de flares;

IV - Verificação das válvulas de descarga actuais e futuras quanto às condições de descarga e tendo em conta a contra-pressão admitida;

V - Avaliação dos Knock Out Drums dos respectivos sistemas de flares quanto às condições de separação da fase líquida da fase gasosa;

VI - Determinação dos níveis de radiação nas imediações dos fachos destes sistemas de flares;

Como conclusão importante destes estudos foi o facto de se verificar a adequabilidade dos sistemas de flares à introdução das novas unidades processuais com a inserção de algumas modificações ao actual sistema da Flare 7100. No que respeita à flexibilização, criou-se uma estrutura de interligação dos dois sistemas e estabeleceu-se um critério de paragem da Flare 7100 com limitações relativas à produção da fábrica de combustíveis.

Palavras Chave (Tema): Simulador *Aspen Flare System Analyzer*, sistemas de flares, válvulas de descarga

Abstract

Due to the future Porto's Refinery revampings, the flare systems of the refinery should be modified. The appearing of new process units connected with the flare system collectors (Flare-7100 and Flare-7200) and the need to define new shutdown criteria are thus two relevant points for evaluation nowadays.

The present work is focused in studies of the Porto's Refinery attended:

- to the restrictions the flare systems with the introduction of new units;
- to the development of shutdown scenarios of these systems after the introduction of new units.

The work evolved with the following sequence:

I - Ability to development model for flare systems using the flare system simulator - *Aspen Flare System Analyzer*;

II - Inventory of the process units and related relief valves (PSVs) connected with Flare 7100 and Flare 7200;

III - Suitability analysis of the principal and secondary collectors and of the stacks of this flare systems;

IV - Evaluations of the present and future relief valves on the discharge conditions taking into account the backpressure admitted;

V - Flares' System Knock Out Drums evaluation on liquid-gas separation conditions;

VI - Determination of the radiation levels on tack's immediacy;

The important conclusion of these studies was the suitability verification of the flare systems with the introduction of new process units. This insertion needs some changes in the Flare 7100 system. Regarding the flexibility, a structure for interconnection of two systems was designed and a shutdown criterion of the Flare 7100 was established with limitations on the production of atmospheric distillation unit.

Keywords : *Aspen Flare System Analyzer* Simulator, Flare systems, Relief valves

Índice

1	Introdução	9
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	9
1.2	Contributos do Trabalho.....	10
1.3	Organização da Tese	10
2	Estado de Arte	12
3	Sistemas de Flares	13
3.1	Tipos de Sistemas de Flares.....	14
3.2	Descrição	17
3.3	Facho.....	19
3.4	Sistema de Colectores e Knock Out Drum.....	21
3.5	Válvulas de Descarga	22
3.6	Simulador de Sistemas de Flare	23
4	Sistemas de Flares da Refinaria do Porto.....	26
4.1	Sistema de Flare 7100	28
4.2	Sistema de Flare 7200	29
5	Flexibilização dos Sistemas de Flares.....	32
5.1	Introdução das Novas Unidades	32
5.2	Paragem dos Sistemas de Flares	34
5.3	Planos de Contingência dos Sistemas de Flares	35
5.3.1	Sistema de flare FL-7100	36
5.3.2	Sistema de flare FL-7100 ácido.....	37
5.3.3	Sistema de flare FL-7200	39
6	Descrição Técnica e Discussão dos Resultados	41
6.1	Implementação das Novas Unidades.....	42
6.1.1	Elaboração do diagrama de fluxo do processo dos sistemas de flare no simulador <i>Aspen Flare System Analyzer</i>	42
6.1.2	Análise da adequabilidade dos sistemas	43

6.1.3	Análise da Contra-Pressão e Redimensionamento de PSVs	48
6.1.4	Avaliação dos Knock Out Drums	51
6.1.5	Determinação dos Níveis de Radiação.....	53
6.2	Interligação dos Sistemas de Flare.....	55
6.2.1	Cenário de paragem do sistema de flare FL-7100 com paragem U-3000.....	58
6.2.2	Análise da Contra-Pressão	59
6.2.3	Análise do Knock Out Drum	61
6.2.4	Verificação dos Níveis de Radiação	61
6.2.5	Verificação da condição limite dos sistemas de flares	62
6.3	Interligação do sistema de flare FL-7100 ácido.....	62
	Análise Knock Out Drum ácido.....	62
7	Conclusões	64
8	Avaliação do trabalho realizado.....	65
8.1	Objectivos Realizados.....	65
8.2	Outros Trabalhos Realizados.....	65
8.3	Limitações e Trabalho Futuro	66
8.4	Apreciação final	66
9	Bibliografia	67
Anexo 1	Simulação - <i>Aspen Flare System Analyzer</i>	68
1.1	Condições de Simulação	68
1.2	Estimativa das Composições dos Efluentes.....	68
Anexo 2	Perfis de Pressão.....	69
Anexo 3	Níveis de Radiação	70
Anexo 4	Knock Out Drum Horizontal.....	73
Anexo 5	Refinaria do Porto	76

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Unidade industrial com sistema de flare (Zink, 2009).</i>	13
<i>Figura 2 - Sistemas de flares com facho definido:</i>	14
<i>Figura 3 - Tipos de estruturas para Flares com elevação - a) Suporte de Self, b) Suporte de Guy e c) Suporte de Derrick (Charles e Baukal, 2001).</i>	15
<i>Figura 4 - Exemplo de um sistema de flare fechado (Zink, 2009).</i>	15
<i>Figura 5 - Métodos auxiliares de combustão.</i>	16
<i>Figura 6 - Efeito da injeção de vapor na combustão - a) sem injeção de vapor; b) início da injeção de vapor; c) injeção de vapor contínua (Charles e Baukal, 2001).</i>	17
<i>Figura 7 - Esquema tipo de um sistema de flare.</i>	18
<i>Figura 8 - Esquema geral de um facho.</i>	20
<i>Figura 9 - Exemplos de selagem molecular existentes nos fachos.</i>	21
<i>Figura 10 - Esquema geral de um Knock Out Drum: a) horizontal; b) vertical.</i>	22
<i>Figura 11 - Relação entre a MABP e a Pressão de descarga das PSVs.</i>	23
<i>Figura 12 - Esquema tipo de uma PSV balanceada (A_1 é a área do orifício de descarga, A_2 é a área do disco) (API, 2000).</i>	23
<i>Figura 13 - Interface do simulador Aspen Flare System Analyzer.</i>	24
<i>Figura 14 - Vista da Refinaria do Porto da Petrogal (Galpenergia, 2009).</i>	26
<i>Figura 15 - Planta da Refinaria do Porto.</i>	26
<i>Figura 16 - Esquema geral do sistema FL-7100.</i>	28
<i>Figura 17 - Esquema do sistema de flare FL-7100.</i>	29
<i>Figura 18 - Esquema geral dos sistemas FL-7100 e FL-7200.</i>	30
<i>Figura 19 - Esquema do sistema de flare FL-7200.</i>	31
<i>Figura 20 - Esquema geral da localização das novas unidades.</i>	33
<i>Figura 21 - Esquema geral da interligação entre os sistemas de flare FL-7100 e FL-7200.</i>	35
<i>Figura 22 - Esquema geral do pior cenário de descarga no sistema de flare FL-7100 - FGE.</i>	37
<i>Figura 23 - Esquema geral do pior cenário de descarga no sistema de flare FL-7200 - FGE.</i>	39
<i>Figura 24 - Diagrama de fluxo do processo do sistema de flare ácida FL-7100.</i>	44
<i>Figura 25 - Diagrama de fluxo do processo dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200.</i>	45

<i>Figura 26 - Perfil de velocidade ao longo do colector de baixa pressão.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 27 - Perfil de velocidade ao longo do colector de alta pressão.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 28 - Perfil de velocidade ao longo do colector ácido.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 29 - Perfil de velocidade ao longo do colector principal.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 30 - Perfil de velocidade no colector principal do sistema FL-7200 com a nova configuração - Paragem da FL-7100.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 31 - Diagrama do fluxo do processo da interligação dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200... </i>	<i>57</i>
<i>Figura 32 - Perfil de velocidade desde a U-3600 até ao facho.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 33 - Perfil de pressão no colector de baixa pressão do sistema de flare FL-7100.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 34 - Perfil de pressão no colector de alta pressão do sistema de flare FL-7100.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 35 - de pressão no colector principal do sistema de flare FL-7200.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 36- Comprimento de chama em função do calor libertado na combustão para vários tipos de combustíveis (API, 1997).</i>	<i>70</i>
<i>Figura 37 - Aproximação da distorção da chama em função da velocidade vento (API, 1997).</i>	<i>71</i>
<i>Figura 38 -Dimensões consideradas para o cálculo da distorção de chama (API, 1997).</i>	<i>71</i>
<i>Figura 39 - Determinação do coeficiente de arrasto (C) (API, 1997).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 40 - Esquema exemplificativo das áreas de secção recta dos Knock Out Drum's horizontais.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 41 - Visão geral da Refinaria do Porto e dos sistemas de flares FL-7100 e FL-7200 (Google, 2009).</i>	<i>76</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Relação entre as estruturas de suporte aos fachos e altura dos fachos.</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 2 - Métodos globais termodinâmicos e de escoamento de fluidos utilizado pelo simulador Aspen Flare System Analyzer.</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 3 - Principais características facho do sistema FL-7100.</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 4 - Unidades processuais que descarregam para o sistema FL-7100.</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 5 - Principais características facho do sistema de flare 7200.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 6 - Unidades processuais que descarregam para o sistema FL-7200.</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 7 - Unidades processuais cujas descargas de efluentes para os sistemas de flare serão afectadas (Fluor, 2008).....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 8 - Válvulas de descarga no sistema de flare ácida 7100 (Fluor, 2008).</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 9 - Válvulas de descarga no sistema de flare 7100 em FGE.</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 10 - Válvulas de descarga no sistema de flare 7200 em FGE.</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 11 - Contra-pressão das PSVs do sistema de flare FL-7100 em FGE.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 12 - Contra-pressão da PSV - 10704 do sistema de flare FL-7100 em FGE.</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 13 - Contra-pressão das PSVs do sistema de flare FL-7200 em FGE.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 14 - Contra-pressão das PSVs das unidades U-10000/101000 do sistema de flare FL-7200 em FGE.</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 15 - Valores das áreas mínimas de orifício para as PSVs.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 16 - Comprimento mínimo para o Knock Out Drum horizontal D-7101 e D-7201.</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 17 - Diâmetro mínimo para o Knock Out Drum vertical D-7104.</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 18 - Níveis de radiação nas imediações da RP dos sistemas FL-7100 e FL-7200.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 19 - Níveis de radiação nas imediações da RP dos sistemas FL-7100 e FL-7200 em conjunto. ...</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 20 - Níveis de radiação nas imediações da RP da nova configuração de flares.</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 21 - Descargas das unidades processuais em condição de FGE.</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 22 - Contra-pressão admitida para as PSVs no cenário de interligação dos sistemas de flares com paragem da U-3000.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 23 - Área mínima para as PSVs.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 24 - Verificação da adequabilidade do Knock Out Drum D-7201 Interligação dos sistemas de flares com paragem da U-3000.....</i>	<i>61</i>

Tabela 25 - Níveis de radiação nas imediações da RP - Interligação dos sistemas de flares com paragem da U-3000. 61

Tabela 26 - Contra-pressão obtida para a PSV-10704..... 63

Tabela 27 - Métodos de cálculo usados pelo simulador Aspen Flare System Analyzer na simulação dos sistemas de flares. 68

Tabela 28 - Estimativa da composição dos efluentes a queima realizada pelo simulador Aspen Flare System Analyzer. 68

Tabela 29 - Equações para o cálculo das áreas de secção recta no Knock Out Drum. 74

Notação e Glossário

A_{min}	Área mínima orifício PSV	in^2
P_d	Pressão de descarga	barg
MM	Massa molecular	g/mol
Q_m	Caudal mássico	kg/mol
P	Pressão no colector	barg
Z	Factor de compressibilidade	
T	Temperatura	K
k	Razão dos calores específicos	
D	Diâmetro colector	in
C	Coeficiente que relaciona os calores específicos	
K_b	Factor correcção contra-pressão	
K_d	Coeficiente descarga	
K_c	Factor ruptura de disco da PSV	
U_c	Velocidade de queda de partícula de líquido	m/s
g	Aceleração da gravidade	m/s^2
C_a	Coeficiente de arrasto	μm
D_p	Diâmetro partícula de líquido	m
A_{SR}	Área secção recta do Knock Out Drum	m^2
D_c	Diâmetro Knock Out Drum	m
L_{min}	Comprimento Knock Out Drum	m
K	Radiação	kW/m^2
F	Fracção de calor radiada	
W	Calor libertado de combustão	J/s
D_r	Distância centro chama até ponto de análise	M
H	Calor de combustão	kJ/kg
r	Percentagem humidade relativa	
V	Volume líquido no Knock Out Drum	m^3
F_v	Caudal volúmico da fase gasosa	m^3/s
U_v	Velocidade fase gasosa no Knock Out Drum	m/s

Letras gregas

ρ_l	Massa volúmica do líquido
ρ_v	Massa volúmica do gás
τ	Fracção de radiação para atmosfera
μ	Viscosidade
θ	Tempo queda partícula líquida no Knock Out Drum

Lista de Siglas

RP	Refinaria do Porto
API	American Petroleum Institute
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
PSV	Válvula de segurança
PCV	Válvula de controlo
FCO	Fábrica de combustíveis
FOB	Fábrica de óleos base
FUT	Fábrica de utilidades
FAR	Fábrica de aromáticos
MOV	Movimentação de produtos

VGO	Gasóleo de vácuo
FGE	Falta geral de energia
CF	Condição de Fogo
BIU	Bloqueio individual de unidades
FP	Falha de permutador

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

No decorrer das operações processuais nas indústrias de exploração e refinação de petróleo, são produzidos variados efluentes nas várias etapas dos processos. Dependendo da composição, estes seguem um tratamento específico com vista a sua reutilização ou eliminação definitiva.

Os sistemas de flares são um dos processos que permitem assegurar a integridade das unidades processuais aquando aumento de descargas de efluentes e a posterior eliminação destes, essencialmente compostos orgânicos voláteis, por combustão controlada. A operação óptima destes sistemas nas instalações industriais está a tornar-se cada vez mais importante, à medida que as pressões processuais e ambientais aumentam. O desenvolvimento de novas aplicações e configurações dos sistemas de flares são cada vez mais necessários para a optimização destes processos de eliminação de efluentes.

Na Refinaria do Porto estão presentes três sistemas de flares acoplados a diferentes etapas processuais: i) FL-7100 - fábrica de combustíveis (linha I), utilidades e óleos base; ii) - fábrica de combustíveis (linha II) e iii) FL-7300 - fábrica de aromáticos. Os efluentes provenientes das unidades processuais destas fábricas são na sua maioria hidrocarbonetos e gases ácidos.

A Refinaria do Porto será reestruturada a partir de 2010, no âmbito de processo de reformulação das Refinarias de Sines e Porto da Petrogal. Um dos objectivos da reestruturação é o aumento da produção de gasóleos pelo que haverá um aumento da capacidade de produção da unidade de destilação atmosférica, na fábrica de combustíveis. Associado a este aumento de capacidade está, a instalação de uma unidade de craqueamento térmico e de destilação de vácuo. A futura configuração da RP acarretará a modificação estrutural e processual em dois dos actuais sistemas de flares. Desta forma surge a necessidade de analisar a adequabilidade destes sistemas à introdução das novas unidades processuais.

Um outro ponto de análise trata da flexibilização destes sistemas de flares após a futura reestruturação. Entenda-se flexibilização como sendo a criação de uma configuração e de cenários que permitam a paragem alternada de dois dos sistemas de flares, para manutenção, minimizando as restrições à produção.

Neste sentido, o trabalho desenvolvido teve por objectivos principais a verificação da adequabilidade dos sistemas de flares à nova reestruturação e, posteriormente, a

flexibilização destes sistemas. As duas análises foram efectuadas tendo por base a utilização do simulador de sistemas de flares *Aspen Flare System Analyzer* e os critérios de projecto de sistemas de flares elaborados pelo *American Petroleum Institute (API)*.

1.2 Contributos do Trabalho

Os aspectos de realce no trabalho desenvolvido centraram-se na aquisição de conhecimentos de simulação e projecto dos elementos mais relevantes dos sistemas de flares. A aprendizagem das competências práticas de um simulador direccionado à avaliação de sistemas de flares e a análise detalhada destes equipamentos foram dois pontos importantes no decorrer do trabalho. Este estudo permitiu à RP a verificação da adequabilidade de dois sistemas de flares à introdução das futuras unidades, assim como aquisição de uma nova configuração, no que respeita à flexibilização. Além disso permitiu descrever quais as limitações a todo o processo desenvolvido, bem como a criação de cenários de paragem destes sistemas.

1.3 Organização da Tese

A tese está organizada em 8 capítulos e 5 de anexos:

Capítulo 1 - Introdução, apresenta-se o enquadramento e objectivos do projecto. É descrito o problema em estudo e os métodos utilizados na realização do projecto assim como os aspectos introduzidos no processo de flexibilização.

Capítulo 2 - Estado de Arte, descreve-se de forma sucinta os sistemas de flares bem como os diversos estudos de novas aplicações que têm vindo a ser desenvolvidas.

Capítulo 3 - Sistemas de Flares, apresenta-se uma descrição geral dos tipos de sistemas de flares, elementos que os constituem e sistemas de descarga. Descreve-se o simulador *Aspen Flare System Analyzer* ao nível das capacidades de simulação, opções de funcionamento e métodos de cálculo.

Capítulo 4 - Sistemas de Flares na Refinaria do Porto, apresenta-se sumariamente a Refinaria do Porto e descreve-se os dois sistemas de flares existentes.

Capítulo 5 - Flexibilização, é apresentado a futura reestruturação da Refinaria do Porto e o impacto no sistema de flares. O objectivo do estudo é apresentado e corresponde à flexibilização dos sistemas de flares, descrevendo as limitações destes sistemas.

Capítulo 6 - Descrição Técnica e Discussão Resultados, descreve-se as etapas ao nível do procedimento técnico e analisa-se os resultados obtidos em cada uma delas.

Capítulo 7 - Conclusões, é apresentado as principais conclusões do estudo efectuado.

Capítulo 8 - Avaliação do Trabalho Realizado, faz-se a avaliação dos resultados obtidos tendo por base nos objectivos iniciais. Apresentam-se as limitações encontradas e fazem-se recomendações para futuros desenvolvimentos no âmbito do processo de flexibilização dos sistemas de flares. Por fim faz-se uma apreciação pessoal e final do trabalho realizado.

Anexo 1, faz-se referência as condições utilizadas no simulador e apresenta-se a composição da mistura dos efluentes para queima.

Anexo 2, apresenta-se os perfis de pressão na análise da adequabilidade dos sistemas FL-7100 e FL-7200 à introdução das novas unidades.

Anexo 3, descreve-se o procedimento de cálculo dos níveis de radiação.

Anexo 4, descreve-se o procedimento de cálculo do comprimento mínimo dos Knock Out Drums.

Anexo 5, apresenta-se a vista de satélite da Refinaria do Porto e dos sistemas de flares.

2 Estado de Arte

Os sistemas de flares são elementos de segurança de grande utilização nas indústrias de exploração e refinação de petróleo. Os principais pressupostos no projecto destes sistemas são a protecção das unidades processuais e do meio envolvente, e a minimização do impacto ambiental, através de um processo controlado de combustão dos efluentes (*flaring*). O processo de *flaring* é antecedido por duas principais etapas: i) recolha, ii) separação dos efluentes.

Nos últimos anos, a empresa John Zink, tem vindo a ser pioneira no desenvolvimento de sistemas de flares e aplicações destes sistemas em instalações industriais de vários sectores da indústria de processo (Peterson et al., 2007). Novas estratégias têm vindo a ser implementadas de forma a tornar os sistemas de flares mais eficientes, sobretudo ao nível da destruição dos efluentes por combustão e ao nível da separação de efluentes (Peterson et al., 2007).

No que respeita à etapa de separação, vários processos de optimização têm sido projectados, como é o caso da aplicação de sistemas de recuperação de gases a partir dos efluentes. Uma aplicação de um modelo de recuperação de gases a partir dos efluentes de flare é dada por Fisher e Brennan (2002). Ao nível do processo de combustão, várias são as aplicações apresentadas pela empresa John Zink, de forma a obter uma melhor destruição dos efluentes, menores índices de radiação e de ruído nas imediações das instalações industriais.

A utilização de sistemas avançados de injeção de ar no topo da flare, de modo a promover uma melhor mistura dos componentes a incinerar, são vulgarmente utilizados na maioria das indústrias (Hong et al., 2006). No que respeita aos níveis de radiação e ruído, a injeção de vapor água junto à zona de combustão da flare é uma aplicação que permite diminuir estes índices (Leary et al., 2002).

Na Refinaria do Porto da Petrogal existem três sistemas de flares dedicadas à combustão de efluentes provenientes de unidades processuais distintas. Os sistemas dispõem de aplicações necessárias ao bom funcionamento, como queimadores específicos, injeção de vapor, injeção de gás de arraste, etc. No entanto, com a futura conversão da Refinaria do Porto, surge a necessidade de desenvolver um modelo de funcionamento dos sistemas de flares que permita uma maior flexibilidade de operação.

3 Sistemas de Flares

Numa instalação industrial de Refinação de Petróleo existem equipamentos com diversas funções, mas um dos equipamentos mais notórios, por motivo das suas características proeminentes, são os fachos com uma pequena chama ardente no topo. Os fachos são a parte mais visível de um processo que tem como principal objectivo aumentar a segurança de uma unidade industrial e minimizar o impacto ambiental. Industrialmente, o facho é muitas vezes designado como Flare. Ao processo global dá-se o nome de sistema de flare.

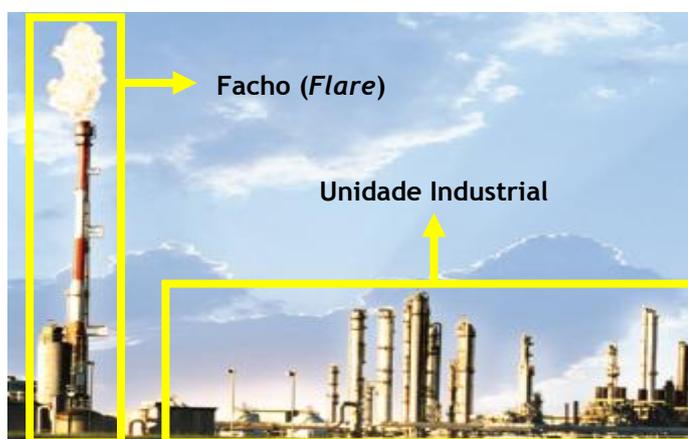


Figura 1 -Unidade industrial com sistema de flare (Zink, 2009).

O sistema de flare tem como principal objectivo recolher a emissão de gases combustíveis eliminando-os por incineração em local seguro. As emissões gasosas são queimadas em chama aberta no topo do facho por um processo controlado. No facho encontram-se sistemas especialmente concebidos para promover uma queima quase completa dos compostos que têm um maior impacto no meio ambiente como sejam, os compostos orgânicos voláteis (COV's). A necessidade de queima completa nos sistemas de flare implica a existência de queimadores específicos, de combustível auxiliar e de vapor e/ou ar de modo a promover uma boa mistura que leve à combustão completa destes compostos. O processo de queima deverá ser o mais completo possível, para não potenciar a formação de substâncias intermédias com perigosidade para o meio ambiente.

Na maioria das refinarias de petróleo existem sistemas de flares concebidas para incinerar não só emissões provenientes do normal funcionamento da refinaria, mas também de emissões provenientes de situações de emergência que poderão ocorrer nas unidades processuais. O aumento da pressão em alguns equipamentos e a condição de segurança dos mesmos leva a que seja necessário aliviar esse excesso de pressão através de apropriados

dispositivos de descarga. A pressão torna-se uma variável importante nestes sistemas, pois os sistemas deverão estar preparados para receber descargas de elevada pressão e caudal em casos de emergência. Nos casos de descarga de menores quantidades poderá existir um sistema que permita manter a pressão positiva nos colectores dos sistemas de flares durante o normal funcionamento. Um dos sistemas para garantir a pressão positiva ao longo dos colectores do sistema de flare é a injeção de gás combustível ou de um gás inerte no início dos colectores (Alves, 2008).

3.1 Tipos de Sistemas de Flares

Os sistemas de flares podem ser categorizados em duas principais vertentes: quanto à sua estrutura e quanto ao método utilizado para auxiliar a combustão.

i) Estrutura

Quanto à estrutura podem ser constituídos por um sistema com facho bem definido, com chama aberta, ou por um sistema fechado, em que a combustão ocorre em local enclausurado perto do solo. No caso dos sistemas com um facho bem definido, estes podem ser divididos em dois grupos:

Ponto único - constituído por apenas um único ponto de combustão e colocado a uma altura elevada face as proximidades;

Ponto múltiplo - Sistema que utiliza vários pontos de combustão no topo da flare, de forma a dividir os efluentes por estes, tornando a combustão mais eficiente (Stone, *et al.*, 1995).

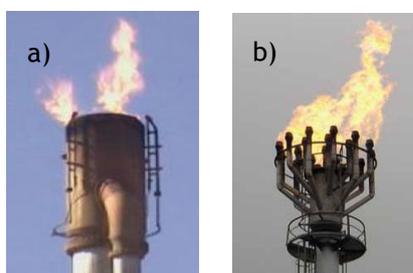


Figura 2 - Sistemas de flares com facho definido:
a) Ponto único; b) Ponto múltiplo (Zink, 2009).

Aos sistemas de flares com estas estruturas estão associados fachos com elevação. Com o objectivo de manter a verticalidade dos fachos, existem três principais tipos de estruturas de suporte. A Figura 4 apresenta essas estruturas.

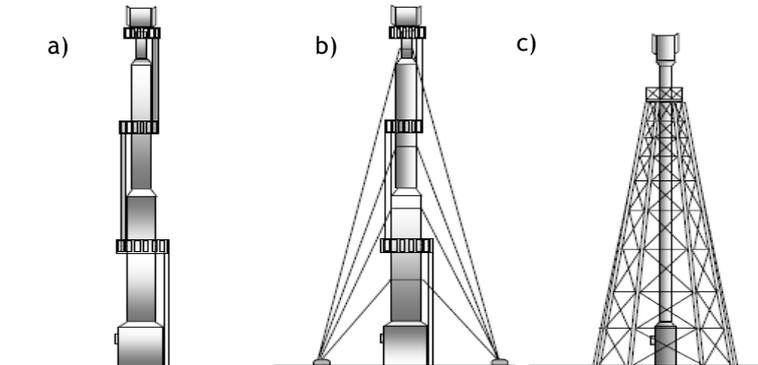


Figura 3 - Tipos de estruturas para Flares com elevação - a) Suporte de Self, b) Suporte de Guy e c) Suporte de Derrick (Charles e Baukal, 2001).

As estruturas de suporte a um facho são projectadas de acordo com altura do facho. A Tabela 1 apresenta as relações existentes entre as 3 estruturas e as alturas dos fachos

Tabela 1 - Relação entre as estruturas de suporte aos fachos e altura dos fachos.

<i>Estruturas</i>	<i>Self</i>	<i>Guy</i>	<i>Derrick</i>
Altura facho (m)	10-30	>90	<60

Por sua vez, os sistemas fechados são normalmente constituídos por vários queimadores colocados junto ao solo e vedados por uma estrutura que permite reduzir o ruído e a luminosidade provocada pela combustão. A Figura 4 ilustra um sistema de flare deste tipo.



Figura 4 - Exemplo de um sistema de flare fechado (Zink, 2009).

Em casos excepcionais existem sistemas de flares com uma estrutura que combina os dois grupos de estruturas de flares referenciados anteriormente. Ou seja, são constituídos por um facho bem definido mas a chama está vedada.

A estrutura dos sistemas de flare é projectada dependendo do tipo de indústria a que se destina e ao tipo e quantidades de efluentes a tratar.

ii) Auxiliares de combustão

Com o objectivo de tornar o processo de combustão mais eficiente nos fachos, surgem os auxiliares de combustão que permitem aumentar o grau de eficiência deste processo. Os métodos auxiliares de combustão promovem uma melhor mistura dos gases, propiciando uma combustão eficiente. A introdução destes auxiliares de combustão permite reduzir os níveis de fumo, ruído e luminosidade da chama, aumentando a sua estabilidade.

Os métodos utilizados para auxiliar o processo de combustão podem-se classificar de acordo com o que se apresenta na Figura 5.

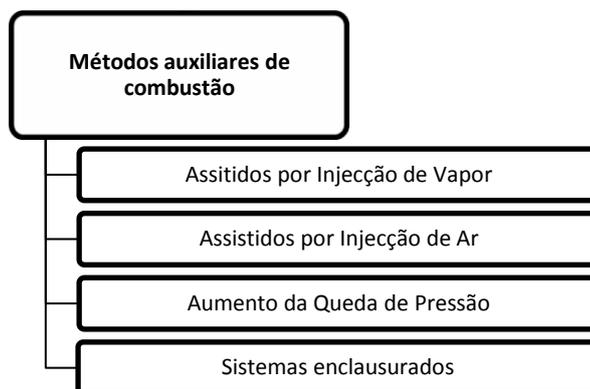


Figura 5 - Métodos auxiliares de combustão.

Nos dois primeiros métodos, a injeção de vapor e injeção de ar é feita geralmente no topo do facho. A injeção de vapor e ar promove a mistura dos efluentes e por conseguinte uma eficaz destruição dos efluentes e diminuição do índice de fumo provocado pela combustão (Figura 6).



Figura 6 -Efeito da injeção de vapor na combustão - a) sem injeção de vapor; b) início da injeção de vapor; c) injeção de vapor contínua (Charles e Baukal, 2001).

Os métodos auxiliares de combustão por aumento de pressão, utilizam no topo do facho, vários queimadores dispostos estrategicamente e especialmente desenhados para aumentar a queda de pressão promovendo a mistura dos efluentes. Os três métodos referenciados anteriormente podem ser utilizados em simultâneo num sistema de flare dependendo do tipo de efluentes a incinerar.

No caso de as quantidades de efluentes a queimar serem relativamente baixas, os sistemas de flares podem não ser assistidos por qualquer um dos métodos atrás referenciados, visto que o processo de queima normal poderá ser suficiente.

Os sistemas enclausurados são utilizados somente para flares cujos queimadores se encontram junto ao solo. Os queimadores estão enclausurados num reservatório que permite reduzir o ruído, a luminosidade e a protecção do vento. A presença de queimadores de elevada queda de pressão torna desnecessário a colocação de auxiliares de combustão.

3.2 Descrição

Um sistema básico de flare é caracterizado por uma série de tubagens que recolhem os efluentes provenientes das várias unidades processuais e os encaminha para um acumulador, designado por Knock Out Drum. No acumulador ocorre a separação da fase líquida da fase gasosa dos efluentes, sendo a fase gasosa enviada para o facho onde é incinerada. A fase líquida é levada para tanques específicos para o efeito e depois reutilizada ou eliminada. A Figura 7 exemplifica um sistema de Flare:

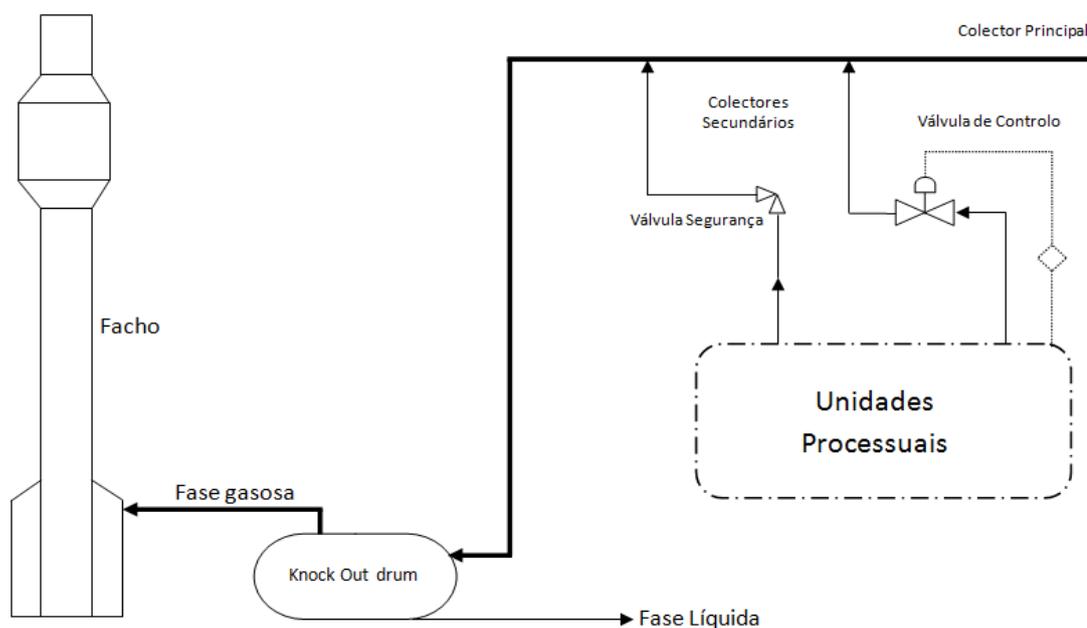


Figura 7 - Esquema tipo de um sistema de flare.

Em geral, um sistema de flare típico é constituído por três principais elementos:

- Colector principal, que transporta os efluentes das unidades processuais;
- Acumulador, Knock Out drum, onde é realizada a separação dos efluentes;
- Facho, onde ocorre a queima dos efluentes gasosos.

No desenrolar de uma operação de uma unidade processual geram-se vários tipos de efluentes que são passíveis de ser descarregados para o colector principal. Os efluentes surgem no sistema de flare por várias vias, das quais se destacam: descargas por operação normal, associado a válvulas de controlo e descargas em situação de emergência, associado a válvulas de segurança.

I. Descargas por operação normal

O controlo de um processo de transformação contínua origina, de diversas formas, a produção contínua de efluentes, por forma a manter a exigência de qualidade e quantidade dos produtos finais e assegurar o bom desempenho das unidades. Os efluentes podem ser provenientes de equipamentos das várias etapas de um processo. As razões que podem levar a estas descargas podem ser várias, como por exemplo:

- Controlo de pressão nos equipamentos;
- Produção em excesso de gases;
- Recolha de amostras periódicas e respectivas purgas de produto;
- Preparação de equipamentos para manutenção.

II. Descargas em situação de emergência

Os processos de transformação que ocorrem numa refinaria por acção de processos físico-químicos requerem um conjunto de equipamentos, nos quais a acção da pressão e temperatura são factores importantes na condução dos mesmos processos. As diversas falhas nos processos podem ter como consequência a variação destas variáveis. Assim sendo, para garantir a integridade física dos equipamentos, existem válvulas de segurança que encaminham os efluentes para fora dos equipamentos. No caso de as descargas serem prejudiciais ao meio envolvente serão enviadas para sistemas de forma a serem eliminados, como é o caso dos sistemas de flares. Se os efluentes não apresentarem perigosidade para o meio envolvente, as descargas podem ser feitas para outros locais, como por exemplo para a atmosfera.

Às situações de emergência estão normalmente associadas aos seguintes tipos de falhas processuais:

- Falta de utilidades (exemplos: electricidade, água de arrefecimento, ar de instrumentos);
- Factores operacionais (erros no sistema de controlo, erro de execução de manobras processuais, etc.);
- Falhas de equipamentos, como bombas, compressores e instrumentos de controlo, etc.;
- Incidentes (exemplos: incêndios, fugas, etc.).

3.3 Facho

O facho é o elemento final do sistema de flare e onde ocorre a combustão dos efluentes. A sua localização é estabelecida tendo em consideração a segurança da unidade industrial, visto ser uma fonte de ignição. A Figura 8 apresenta um esquema de um facho característico de um sistema de flare.

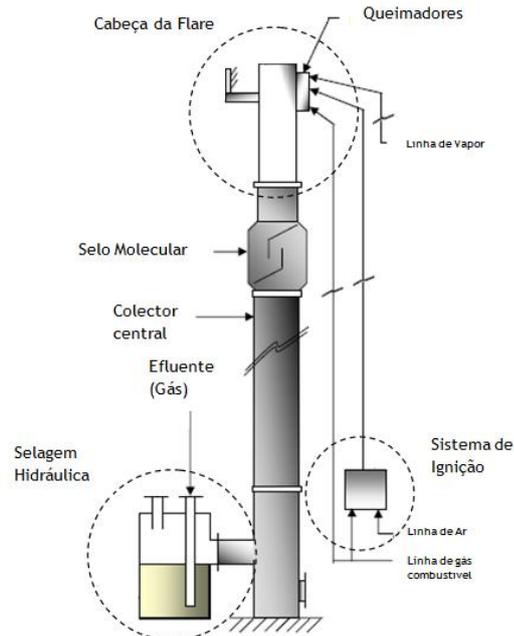


Figura 8 - Esquema geral de um facho.

Os principais constituintes do facho são:

1. Colector central - Elemento de forma tubular por onde se faz o transporte vertical dos efluentes no facho. A altura é projectada de forma a prevenir o efeito das radiações da chama decorrente do processo de queima, protegendo as zonas envolventes.
2. Cabeça da Flare - Local onde ocorre a combustão dos gases. Os efluentes gasosos, o vapor ou ar juntamente com a fonte de ignição iniciam a combustão neste ponto. Os queimadores devem ser projectados de modo a tornar a chama estável, com uma boa capacidade de ignição e supressão de ruído.
3. Sistema de ignição - Sistema que promove a ignição, geralmente instalado próximo da base da flare. Consiste numa câmara de combustão onde se faz a mistura de ar e gás combustível. A ignição da mistura é feita por um sistema eléctrico, onde posteriormente a chama gerada é encaminhada através de um colector até ao piloto perto da cabeça da flare. O piloto é um pequeno queimador que serve de ignição aos gases que chegam à cabeça da Flare, sendo alimentado de forma contínua por gás combustível.
4. Selo molecular - Sistema projectado para impedir a entrada de ar no corpo do facho. A sua função é obrigar os gases ascendentes a percorrer uma gincana (Figura 9) antes de se aproximarem da zona de queima, criando uma zona tampão.
5. Selagem hidráulica - Sistema localizado na base do facho, constituído por um tanque com um determinado nível de um líquido, normalmente água, onde o colector que

transporta os gases efluentes submerge. Este sistema promove uma selagem entre o Knock Out Drum e o facho, mantendo uma pressão positiva no facho.

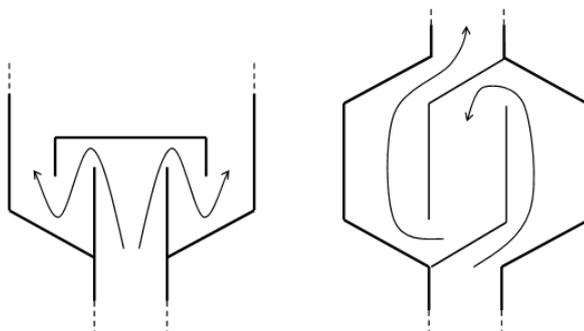


Figura 9 - Exemplos de selagem molecular existentes nos fachos.

3.4 Sistema de Colectores e Knock Out Drum

O transporte dos efluentes é feito através de uma rede de colectores das unidades processuais até ao Knock Out Drum. Um colector principal recolhe, de todos os colectores secundários, os efluentes daí provenientes e direcciona-os para o Knock Out Drum. Os colectores secundários recebem os efluentes provenientes dos equipamentos pertencentes às unidades processuais, através de válvulas de segurança e válvulas de controlo e descarregam no colector principal.

O sistema de colectores é projectado de modo a minimizar as quedas de pressão, mantendo o número de Mach¹ dos gases nos colectores em valores aceitáveis e considerando as possíveis zonas mortas e/ou pequenas condensações dos gases nos colectores.

Os efluentes podem trazer na sua composição líquidos, provenientes do processo a que lhes deram origem ou por condensação de gás nos colectores. A presença de líquidos no efluente poderá tornar a chama instável. Em casos mais extremos, uma quantidade significativa de líquidos nos efluentes poderá levar à extinção da chama, tornando o processo perigoso e com elevado impacto ambiental. O Knock Out Drum é um acumulador que permite retirar esta fase líquida dos efluentes, seguindo para o facho apenas a fase gasosa.

Tipicamente o Knock Out Drum encontra-se perto do facho e pode ser horizontal ou vertical, dependendo do tipo de separação a que se destina e do tipo de efluentes a tratar.

¹ Número de Mach é uma unidade de medida da velocidade. Trata-se do quociente entre a velocidade média dos fluidos e a velocidade média do som.

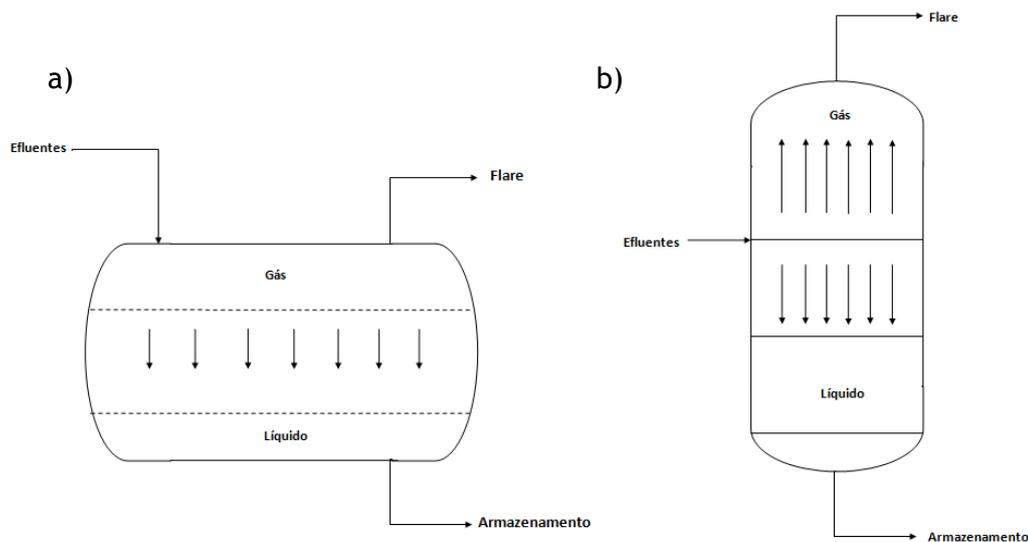


Figura 10 - Esquema geral de um Knock Out Drum: a) horizontal; b) vertical.

O projecto destes acumuladores é realizado com base no comprimento ou diâmetro mínimo, considerando um tamanho máximo de gota presente na fase gasosa à entrada do facho e um tempo de residência da fase gasosa no acumulador suficientes para que ocorra a separação de fases (API, 1997).

3.5 Válvulas de Descarga

As descargas dos efluentes para os sistemas de colectores de flare ocorrem através de válvulas de controlo (PCV-*Pressure Control Valve*) ou válvulas de descarga que estão associadas aos equipamentos das unidades processuais (acumuladores, colunas, permutadores, etc.). As válvulas de descarga são dispositivos automáticos de alívio de pressão que podem ser classificadas como válvulas de alívio ou de segurança, dependendo da aplicação. As válvulas de segurança são aplicadas em equipamentos que processam fluidos compressíveis, aliviando o excesso de pressão de forma rápida e instantânea. Por outro lado, as válvulas de alívio são aplicadas normalmente a fluidos incompressíveis e têm abertura proporcional ao aumento de pressão, após atingida a pressão máxima permitida do equipamento onde está instalada.

O pior cenário de descarga de efluentes, está normalmente associado a descargas em situação de emergência - a estes cenários enquadram-se as válvulas de segurança (*PSV - Pressure Safety Valve*). As válvulas de segurança são accionadas quando a pressão no respectivo equipamento ultrapassa a pressão máxima admitida para esse equipamento.

As PSVs são classificadas em três categorias, de acordo com a contra-pressão máxima permitida (*MABP - Maximum Allowable Back Pressure*) por estas numa descarga para um

sistema de colectores ou para a atmosfera em relação à pressão de descarga da (P_d). A Figura 11 ilustra as três categorias de PSVs (API, 2000).

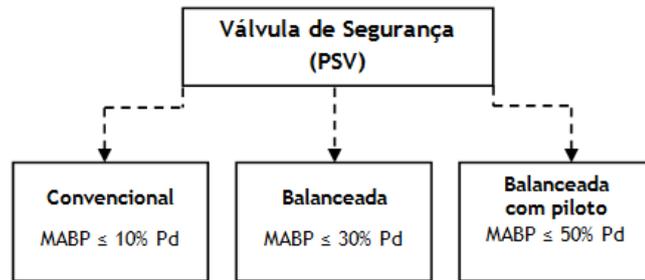


Figura 11 - Relação entre a MABP e a Pressão de descarga das PSVs.

A contra-pressão (BP) à saída das PSVs pode ser função da pressão existente no colector antes da abertura da válvula - Contra-pressão super-imposta, ou devido à pressão que se desenvolve como resultado da descarga dessa válvula - Contra-pressão desenvolvida (Crosby, 1997).

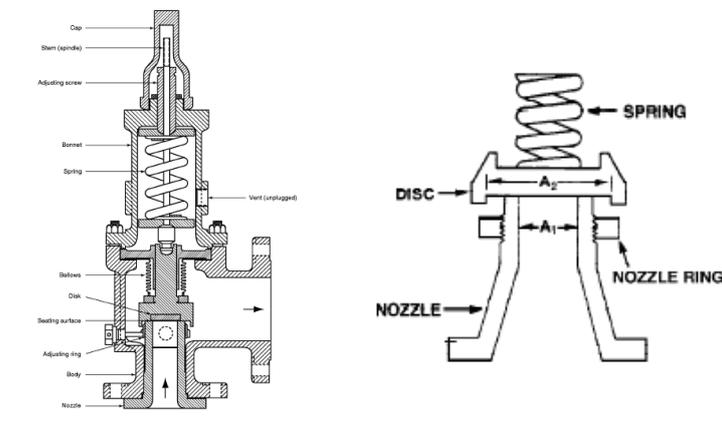


Figura 12 - Esquema tipo de uma PSV balanceada (A_1 é a área do orifício de descarga, A_2 é a área do disco) (API, 2000).

3.6 Simulador de Sistemas de Flare

O *Aspen Flare System Analyzer* é um simulador criado pela empresa *Aspentech*, que permite fazer o projecto, modificação e avaliação de sistemas de flares e ventilação.

Dentro das várias capacidades desta aplicação informática destacam-se as seguintes:

- Capacidade de modelização de sistemas simples e multifásicos;
- Simulação e análise de múltiplos cenários, com a possibilidade de combinação de múltiplas fontes de processo;
- Cálculo associado a condições externas dos sistemas de flares;
- Combinação dos elementos mais relevantes de um sistema de flares;

Opções de funcionamento da aplicação

A aplicação permite a utilização de três ferramentas importantes para o projecto de novas instalações ou verificação de sistemas de flares já implementados. A primeira ferramenta é designada por *Rating* e possibilita a verificação e determinação de propriedades dos sistemas de flares já existentes; a outra segunda ferramenta, o *Design*, possibilita a simulação e projecto de novos sistemas de flares. Esta ferramenta permite, por exemplo, o cálculo dos diâmetros de tubagens, bem como outras propriedades relevantes ao projecto de sistemas de flares.

A terceira ferramenta, o *Debottleneck*, determina as zonas dos sistemas de flares que devem ser modificadas, devido a alterações realizadas nos sistemas já existentes ou por aparecimento de novas instalações.

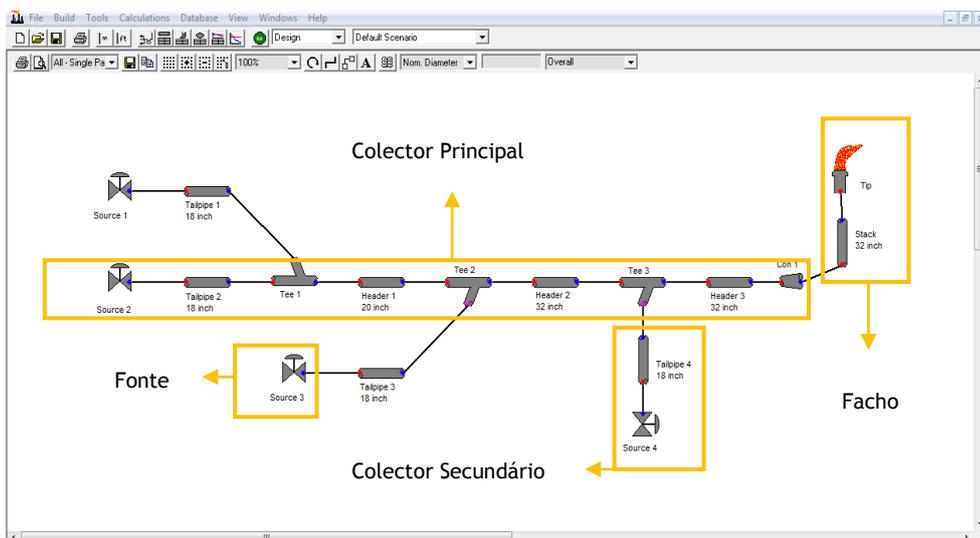


Figura 13 - Interface do simulador Aspen Flare System Analyzer.

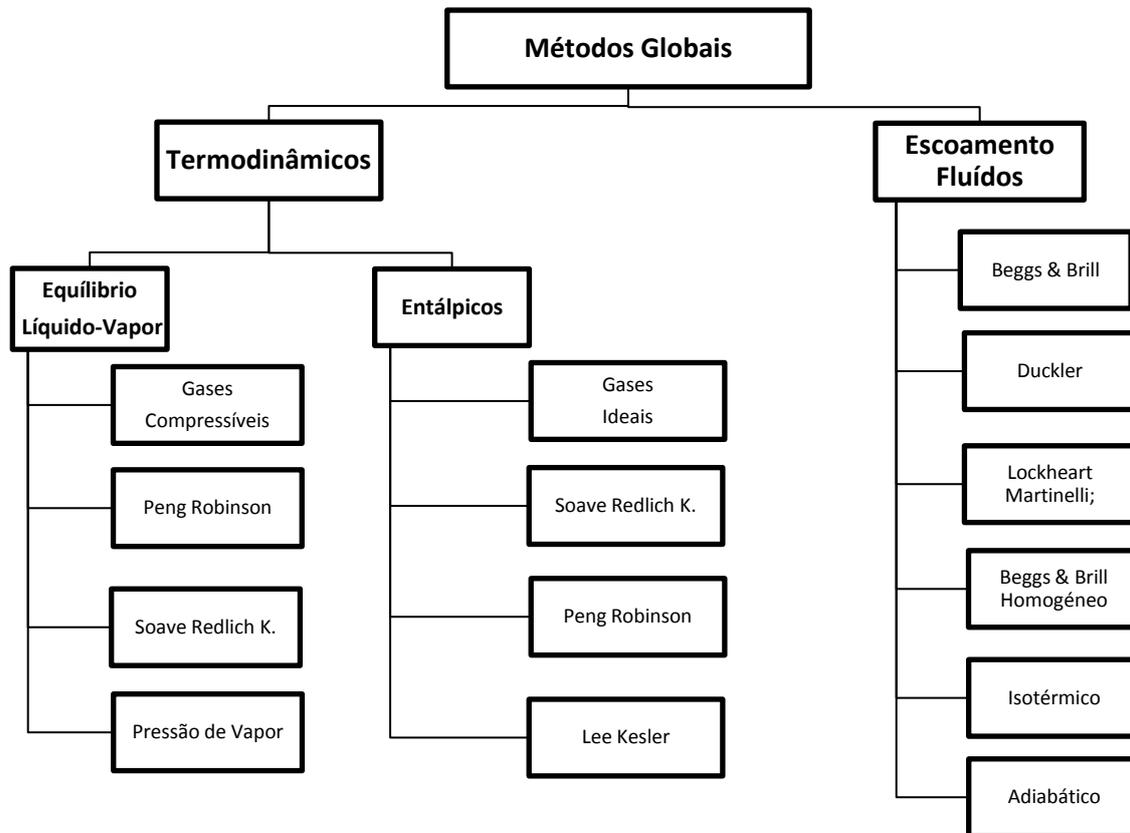
Multiplicidade de cenários

A multiplicidade de cenários é outra característica desta aplicação, que permite o estudo de vários cenários a funcionar em separado ou em conjunto. Admitindo um sistema com mais do que uma fonte activa (PSVs ou PCVs), pode-se fazer a simulação do sistema considerando só uma fonte em funcionamento, em simultâneo com mais algumas das fontes ou com todas as fontes activas. O cenário global é sempre tido em conta, pelo que permite a opção de cálculo considerando que existe possibilidade ou não de funcionarem todas as fontes em simultâneo.

Métodos de cálculo

Os métodos de cálculo adoptados nesta aplicação distinguem-se em dois grandes tipos: i) os métodos globais termodinâmicos e ii) os métodos globais de escoamento de fluidos. Nos métodos globais termodinâmicos destacam-se dois grupos, os métodos equilíbrio líquido-vapor e os métodos entálpicos. A Tabela 2 resume os métodos utilizados pelo simulador *Aspen Flare System Analyzer*.

Tabela 2 - Métodos globais termodinâmicos e de escoamento de fluidos utilizado pelo simulador *Aspen Flare System Analyzer*.



4 Sistemas de Flares da Refinaria do Porto

A Refinaria do Porto da Petrogal (RP) situa-se no complexo industrial localizado no concelho de Matosinhos, abrangendo uma área aproximada de 200 hectares.



Figura 14 - Vista da Refinaria do Porto da Petrogal (Galpenergia, 2009).

A capacidade de refinação ultrapassa os 4,4 milhões de toneladas/ano, sendo constituída por 5 fábricas: Fábrica dos Combustíveis (FCO), Fábrica de Óleos base (FOB), Fábrica de Utilidades (FUT), Fábrica de Aromáticos (FAR) e Fábrica de Lubrificantes. Interligada a estas fábricas está o centro de coordenação e gestão de todos os produtos da RP, designado por Movimentação de Produtos (MOV).

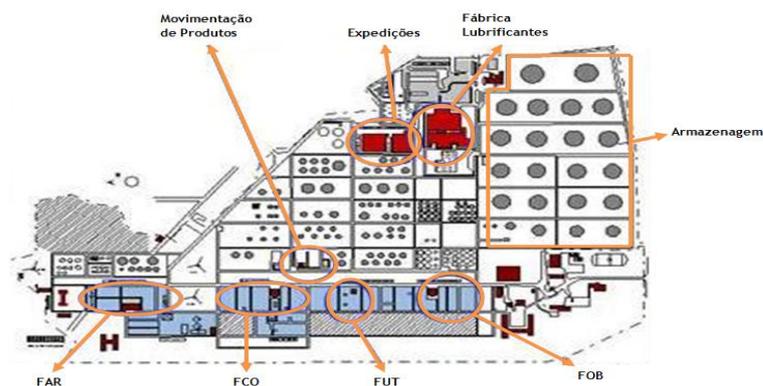


Figura 15 - Planta da Refinaria do Porto.

As respectivas fábricas da RP são constituídas por unidades processuais de acordo com a organização do processo produtivo a que cada fábrica está relacionada. Cada unidade

processual delimita uma etapa do processo, sendo classificada conforme a fábrica a que pertence e à posição no processo.

Acoplado às unidades processuais das fábricas e à movimentação de produtos, estão três sistemas de flares que permitem manter em segurança e minimizar o impacto ambiental da operação de uma unidade de produção como é uma refinaria. Os sistemas de flares são também unidades processuais, sendo designados na RP pelas seguintes nomenclaturas:

- I. Sistema Flare 7100 (FL-7100)
- II. Sistema de Flare 7200 (FL-7200)
- III. Sistema de Flare 7300 (FL-7300)

A cada um destes sistemas está conectado um determinado grupo de unidades processuais, ficando assim as descargas destas repartidas pelos três sistemas.

Os sistemas de flares encontram-se divididos em dois principais colectores: O colector principal da flare e um colector de gás ácido. Em cada sistema, os colectores estão colocados paralelamente ao longo do curso das unidades processuais. No fim dos sistemas de colectores encontram-se os respectivos Knock Out Drums e fachos onde ocorre a etapa final de eliminação dos gases por combustão.

O sistema FL-7300 está adstrito apenas à fábrica de aromáticos e não será alvo de flexibilização aquando da futura reestruturação na RP. Os sistemas de flare FL-7100 e FL-7200 são os sistemas com necessidade de flexibilização e directamente influenciados pela nova configuração da RP. Nesse âmbito, serão apenas abordados os sistemas de flare 7100 e 7200.

4.1 Sistema de Flare 7100

Descrição

Este sistema foi construído aquando da construção da RP (1970) e recebe os efluentes provenientes da FOB, FUT, FCO e MOV.

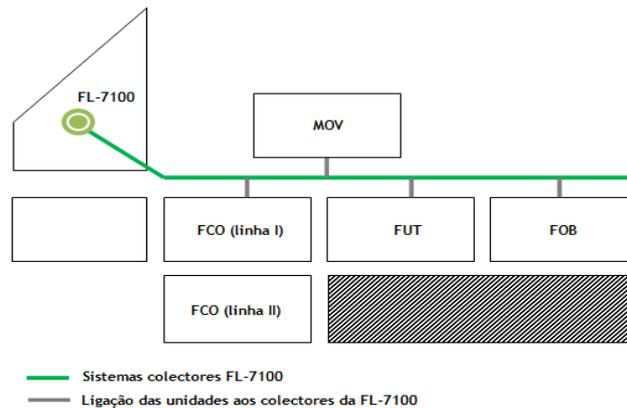


Figura 16 - Esquema geral do sistema FL-7100.

O sistema é constituído por dois colectores principais, um de alta pressão (descargas superiores a 5 kg/cm^2) e outro de baixa pressão (descargas até 5 kg/cm^2), um colector de efluentes ácidos e um colector de *blowdown*. Os efluentes das respectivas unidades são enviados através destes colectores aos equipamentos de separação, Knock Out Drums e posteriormente ao facho. Por sua vez, a flare é constituída por um facho ácido acoplado ao facho principal. A Tabela 3 apresenta as principais características do facho principal (Wheeler, 1973).

Tabela 3 -Principais características facho do sistema FL-7100.

Altura (m)	80
Diâmetro (in)	42
Selagem Molecular	Presente
Selagem Hidráulica	Presente

Os dois colectores principais, alta pressão (AP) e baixa pressão (CBP), colectam os efluentes cujas composições são essencialmente hidrocarbonetos, para o Knock Out Drum horizontal D-7101, onde ocorre a separação da fase gasosa destes efluentes. No que respeita à FCO, só a linha I desta fábrica é que tem os seus sistemas de descarga ligados a este sistema de flare.

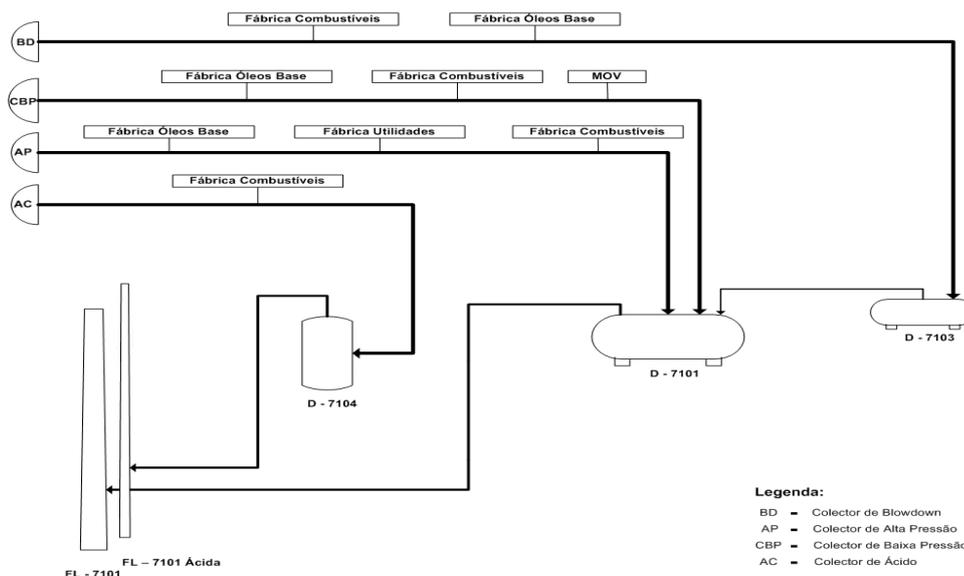


Figura 17 - Esquema do sistema de flare FL-7100.

Os efluentes de composição ácida, na sua maioria ácido sulfídrico proveniente dos sistemas de descarga da unidade Claus (unidade de transformação do ácido sulfídrico em enxofre elementar por queima controlada) e da unidade de águas ácidas, seguem para o colector ácido em situações de emergência. Estes efluentes são posteriormente separados no Knock Out Drum vertical D-7104 antes de serem incinerados no facho ácido, como se pode ver na Figura 17.

O colector de *blowdown* recolhe os efluentes descarregados pela FCO e FOB e envia para o acumulador respectivo. Os efluentes gasosos são previamente separados no D-7103 e depois enviados ao D-7101 de modo a garantir a máxima separação da fase líquida dos efluentes. A Tabela 4 lista as unidades processuais das respectivas fábricas que descarregam para o sistema de flare 7100.

Tabela 4 - Unidades processuais que descarregam para o sistema FL-7100.

Fábrica de Óleos Base			
U-2000	U-2200	U-2400	
U-2100	U-2300	U-2500	U-2600
Fábrica de Utilidades			
U-4700			
Fábrica de Combustíveis - Linha I			
U-1200	U-1400	U-1600	U-3700
U-1300	U-1500	U-1700	U-3800

4.2 Sistema de Flare 7200

Com ampliação da FCO em 1975, surgiu um novo sistema de flare na RP, FL-7200. A rede de colectores deste sistema é constituída por um colector principal e um colector ácido. Este

sistema de flare está interligado exclusivamente à linha II da FCO, exceptuando o colector ácido.

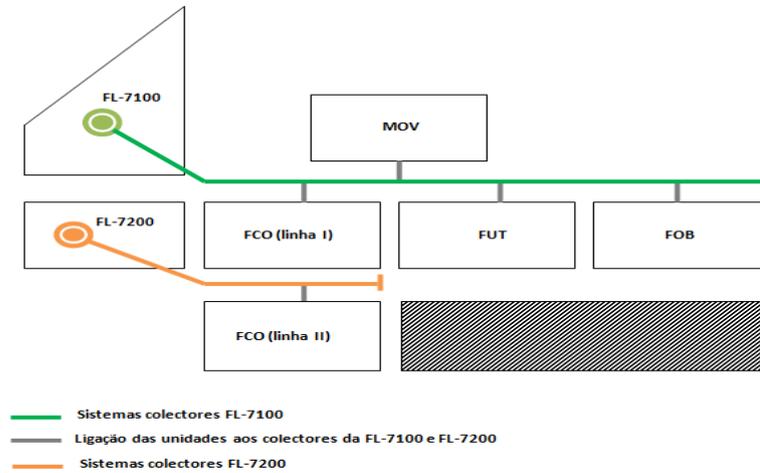


Figura 18 - Esquema geral dos sistemas FL-7100 e FL-7200.

Os efluentes recebidos por estes colectores são incinerados numa flare constituída por dois fachos, um facho principal e um facho ácido, que estão acoplados tal como no sistema FL-7100.

Tabela 5 resume as principais características do facho principal (Technip, 1974).

Tabela 5 - Principais características facho do sistema de flare 7200.

Altura (m)	92
Diâmetro (in)	42
Selagem Molecular	Presente
Selagem Hidráulica	Ausente

O colector principal recebe as descargas das unidades da linha II da FCO e envia para o Knock Out Drum horizontal, D-7201. Os efluentes de composição ácida são provenientes da unidade de tratamento de gases ácidos, U-1500, da linha I da FCO e a unidade U-3500, de tratamento de gases II da linha II da FCO. Com uma recente estruturação da RP, a U-3500 foi desactivada, pelo que o colector ácido do sistema FL-7200 já não recebe efluentes desta unidade. A U-1500 é a unidade responsável pela recuperação de gás sulfídrico presente nas correntes gasosas e actualmente descarrega os efluentes ácidos para o colector ácido do sistema FL-7100 em normal funcionamento. Em caso de obstrução desta ligação, a U-1500

descarrega para o sistema FL-7200. Os compostos ácidos são enviados ao Knock Out Drum D-7202 vertical e posteriormente seguem para queima no facho ácido.

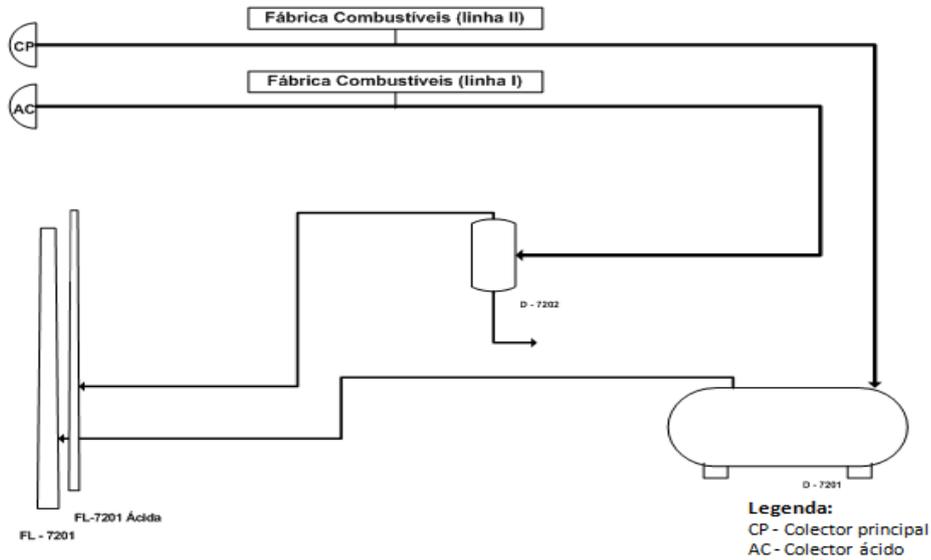


Figura 19 - Esquema do sistema de flare FL-7200.

As unidades que descarregam os seus efluentes para os colectores do sistema FL-7200 são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Unidades processuais que descarregam para o sistema FL-7200.

Fábrica Combustíveis - Linha II		
U-3000	U-3200	U-3400
U-3100	U-3300	U-3600
Fábrica Combustíveis - Linha I		
U-1500		

5 Flexibilização dos Sistemas de Flares

O processo de flexibilização dos sistemas de flares da RP tem como objectivo principal encontrar critérios de paragem alternados para os sistemas de flares FL-7100 e FL-7200, de forma a minimizar as restrições à produção. A obtenção destes critérios teve por base a elaboração de cenários que sejam adequáveis aos processos existentes na RP. No entanto, com a futura reestruturação da RP em 2010, surge a necessidade de criar um modelo de flexibilização dos sistemas de flare adequado às futuras alterações dos processos na RP.

A flexibilização do sistema de flares dividiu-se em duas vertentes: i) análise dos actuais sistemas de flares à introdução das futuras alterações aos processos e ii) criação de cenários de paragem dos sistemas de flares com a introdução das novas modificações processuais.

Para ambas as vertentes do processo de flexibilização foi proposto o estudo dos seguintes tópicos:

- a) Adequabilidade dos sistemas de colectores;
- b) Análise da adequabilidade das PSVs;
- c) Verificação das condições de separação dos Knock Out Drums;
- d) Análise dos níveis de radiação nas imediações dos sistemas de flares.

5.1 Introdução das Novas Unidades

Com a futura conversão das refinarias do Porto e Sines da Galpenergia, irá ser construído na RP uma unidade de destilação de vácuo para obtenção de VGO (Gasóleo de vácuo) e uma unidade de viscorredução destinada ao craqueamento térmico suave do resíduo de vácuo resultante da destilação de vácuo. O VGO será parte da alimentação das unidades processuais da refinaria de Sines com vista a aumentar a produção de gasóleos e naftas (Galpenergia, 2009).

A futura reestruturação irá afectar os actuais sistemas de flares existentes na RP, exceptuando o sistema FL-7300 (Fluor, 2008). As unidades a ser instaladas na refinaria e que afectarão os sistemas FL-7100 e FL-7200 são:

- Unidade destilação vácuo e viscorredução (U-10000/U-10100);
- Unidade de separação (*Stripping*) de águas ácidas - SWS - (U-10775);
- Unidade de recuperação de enxofre - SRU/TGTU - (U-10800).

As unidades U-10000/101000 irão estar conectadas ao colector principal do sistema de flare FL-7200. No caso das unidades U-10775 e U-10800, estas irão descarregar para o colector ácido do sistema FL-7100, visto que os principais efluentes destas unidades são de composição ácida. (Fluor, 2008)

Na Figura 19 é esquematizada a localização destas novas unidades processuais.

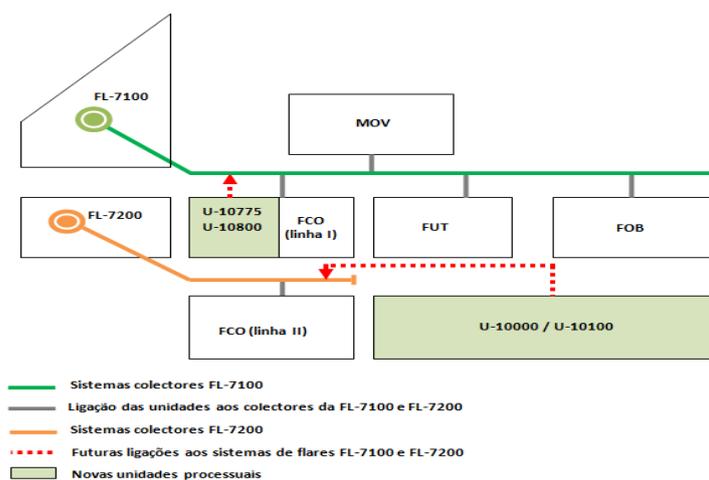


Figura 20 - Esquema geral da localização das novas unidades.

As novas unidades processuais estarão interligadas com as unidades processuais da linha I e linha II da FCO. Estas unidades irão afectar o funcionamento da FCO, pelo que esta fábrica será alvo de uma reformulação. Sendo assim, as descargas de efluentes para os colectores dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200 de algumas unidades actuais deverão ser afectadas. As unidades processuais afectadas encontram-se descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Unidades processuais cujas descargas de efluentes para os sistemas de flare serão afectadas (Fluor, 2008).

FCO - Linha I	FCO - Linha II
Unidade hidrodessulfuração I - (U-1400); Unidade hidrodessulfuração II - (U-3700); Unidade separação (<i>Stripping</i>) águas ácidas I - (U-3775); Unidade tratamento amina - (U-1500); Unidade Claus - (U-3800).	Unidade destilação atmosférica - (U-3000)

5.2 Paragem dos Sistemas de Flares

O processo de paragem dos sistemas de flares é um processo vital para manutenção dos elementos principais destes sistemas, como o facho e Knock Out Drum. A paragem dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200 implica a paragem das unidades que descarregam para cada um dos sistemas. Com o processo de flexibilização pretende-se criar uma forma de parar os dois sistemas alternadamente.

A obtenção de critérios de paragem dos dois sistemas de flares terá de estar de acordo com o plano de paragens da RP, a partir da futura reestruturação da RP.

Sistema de flare FL-7200

O plano de paragens da RP a partir de 2010 pressupõe a paragem das unidades processuais da linha II da FCO em bloco para manutenção das mesmas. Como para o sistema de colectores do sistema FL-7200, principal e ácido, só descarrega a linha II da FCO, a paragem desta linha de produção faz com que o sistema FL-7200 também possa parar. Assim sendo, para o sistema de flare FL-7200 não é necessário desenvolver cenários de paragem.

Sistema de flare FL-7100

A paragem do sistema de flare FL-7100 implica que todas as unidades de todas as fábricas que estão ligadas a este sistema não descarreguem para este sistema. A paragem do envio de descargas para este sistema de flare implicaria a paragem das respectivas unidades processuais. Apesar de algumas unidades processuais não enviarem continuamente efluentes para queima, é necessário assegurar as possíveis descargas em caso de emergência, daí a necessidade de paragem total das unidades.

No plano de paragens da RP não está prevista a paragem simultânea das unidades processuais que descarregam para o sistema de flare FL-7100. A paragem de um dos sistemas de flare vai implicar que o outro sistema de flare receba os estes efluentes. Desta forma, surge a necessidade de interligar os dois sistemas de flare.

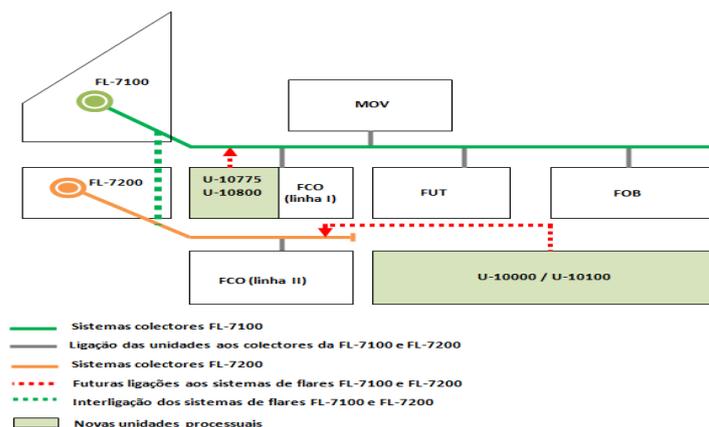


Figura 21 - Esquema geral da interligação entre os sistemas de flare FL-7100 e FL-7200.

Com a interligação, as descargas provenientes da FOB, FUT e FCO (linha I) irão descarregar ao sistema de flare FL-7200. O sistema de flare FL-7200 não está projectado para estas condições e é necessário verificar a sua adequabilidade à inclusão desta ligação.

5.3 Planos de Contingência dos Sistemas de Flares

A elaboração do estudo da adequabilidade dos sistemas de flares à introdução das novas unidades e criação de cenários de paragem, implica a determinação das piores condições de descarga das unidades processuais. A análise dos sistemas de flares deverá ter em consideração o pior cenário de descarga, ou seja, cenário ao qual existe uma maior descarga de efluentes.

Os piores cenários de descarga estão normalmente associados às descargas em caso de emergência nas unidades processuais - associado às PSVs. Em operação normal, as descargas efectuadas para os sistemas de flares são relativamente baixas comparado com as descargas em caso de emergência pois, no caso de operação normal unicamente provêm de pequenos ajustes aos processos.

Os principais cenários de emergência nos sistemas de flares estão associados a incidentes que se desenvolvem nas próprias unidades processuais. Para os sistemas de flares da RP os principais cenários de emergência considerados são:

- i) Condição de falta de água de arrefecimento;
- ii) Condição de fogo;
- iii) Condição de bloqueio individual de equipamentos;
- iv) Condição de bloqueio geral de unidades;
- v) Condição de falta de energia geral na RP (FGE).

Analisando as descargas das PSVs das unidades processuais actuais que descarregam para os colectores principais dos sistemas de flares FL-7100 e FL-7200, exceptuando os colectores ácidos, verificou-se que a pior condição é a condição de falta de energia (FGE) (Wheeler, 1973).

A condição de FGE provoca um conjunto interrupções nos mecanismos que coordenam as unidades processuais, das quais se destacam (UOP, 1974):

- Falha de energia em toda a RP;
- Energia para emergências apenas disponível para os instrumentos;
- Falta de água de arrefecimento;
- Falta de vapor;
- Falha nas fornalhas e reebulidores;

Nos dois sistemas de flares, o caudal de descarga nesta situação é superior a qualquer outra condição atrás mencionada, tornando-se mais conservativo a utilização desta condição para o processo de flexibilização.

Com a nova reestruturação da RP e recorrendo a dados de projecto acerca das novas unidades processuais, a pior condição continua a ser a FGE (Fluor, 2008).

5.3.1 Sistema de flare FL-7100

As unidades que descarregam para os colectores de baixa pressão (BP) e alta pressão (AP) em caso de FGE são: U-1200, U-1300, U-1400, U-1600, U-2000, U-2100, U-2500 e U-3700 (Figura 22). Na Tabela 9 são discriminadas as PSVs de cada unidade que descarregam para os respectivos colectores. No caso da unidade U-1600, a condição de FGE afecta duas PCVs. As novas unidades não estarão acopladas directamente aos colectores principais deste sistema, pelo que a estrutura do colector da flare FL-7100 não será afectada. No entanto, como algumas destas novas unidades estão interligadas com algumas das unidades que descarregam para o colector da flare FL-7100, prevê-se com a reformulação um aumento dos caudais de descarga para este colector. Para tal, admitiu-se um aumento de 30% no caudal de descargas das PSVs das unidades de hidrodessulfuração I e II (U-1400 e U-3700).

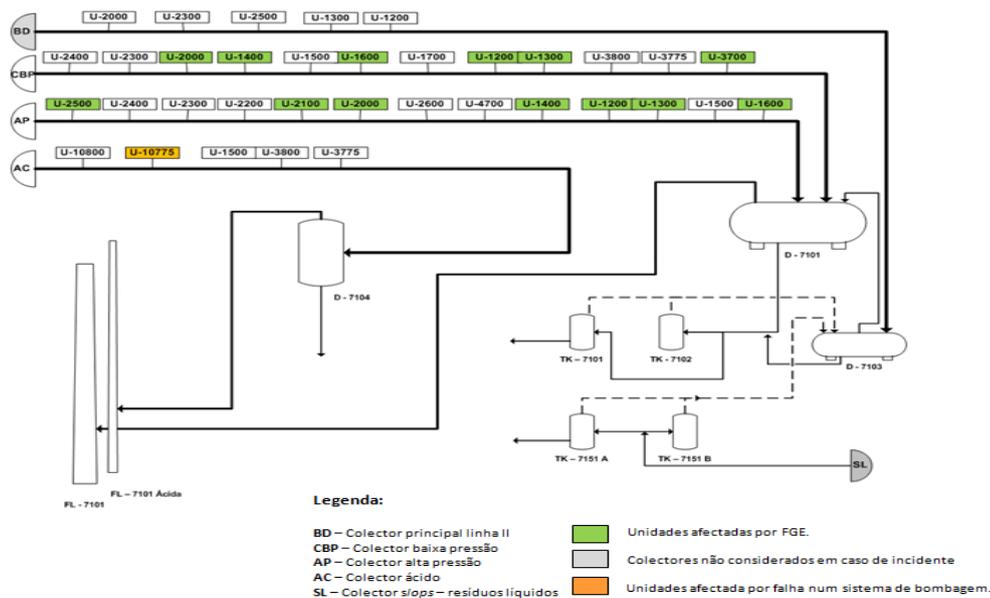


Figura 22 - Esquema geral do pior cenário de descarga no sistema de flare FL-7100 - FGE.

Nota: Na Figura 22 está esquematizado para além dos colectores de AP, BP, BD e AC um colector SL, que se designa por colector de slops. Este colector transporta resíduos líquidos, provenientes de alguns equipamentos específicos, até a um sistema de tanques perto do facho da FL-7100. Nestes tanques, a possível fase gasosa formada é enviada para o grupo de Knock Out Drums que depois a encaminhará para o facho.

5.3.2 Sistema de flare FL-7100 ácido

No caso do sistema de descarga do sistema de flare ácida, com a introdução das novas unidades, o sistema será alterado (Figura 21). Ao sistema vão ser acopladas as novas unidades U-10775 e U-10800. Com esta alteração, a condição que permite a maior descarga de efluentes é quando ocorre uma falha num sistema de bombagem pertencente à unidade U-10775² (Tabela 8).

Tabela 8 - Válvulas de descarga no sistema de flare ácida 7100 (Fluor, 2008).

	U-3775				U-3800				U-10775				
	3776				3801	3802	3803	3814	107004				SD ³
PSV													
Condição	Falha Permutador	CF	BIU	FGE	CF	CF	CF	CF	CF	Falha Sistema Bombagem	BIU	FP	-
MM (g/mol)	18				-	18			18,7		24,3	18,7	18,7
T (°C)	154	157	154		-	150		165	141		85	141	125
Q _m (kg/hr)	346	1250	2428	2358	-	85	93	75	950	4450	235	290	2900

² Não foi considerada as descargas da U-10800 nas várias condições, visto ainda não estarem disponíveis.

³ PSV ainda sem designação - pertencente ao acumulador D-10775.

Tabela 9 - Válvulas de descarga no sistema de flare 7100 em FGE.

	Localização	Tipo	Dimensões Válvula			MM (g/mol)	T (°C)	P _d (barg)	Colector Principal	Q _m máx. (kg/h)	Q _m FGE (kg/h)
U-3700											
PSV-3707 A/B	D-3702	Convencional	3"	J	4"	36	163	55,9	AP	194358	16200
PSV - 3713 A	T-3701	Convencional	4"	M	6"	36	163	8,8	AP	8843	
U-1300											
PSV-1304 A/B	T-1301	Convencional	4"	*	6"	44	232	20,7	AP	71400	3651
U-1200											
PSV - 1202 S	D-1202	Convencional	2 1/2"	*	4"	42	134	56,0	AP	14370	14370
PSV-1205 S	T-1201	Convencional	8"	*	10"	47	104	21,1	AP	136000	3782
PSV - 1207-1/2	T-1202	Balanceada	6"	*	10"	44	149	3,5	BP	77000	4989
U-1400											
PSV - 1406 A/B	D-1401	Convencional	3"	*	4"	36	154	53,0	AP	2160	4128
PSV - 1408	T-1401/ D-1403	Balanceada	3"	L	4	92,5	154	3,5	BP	5810	4082
U-2000											
PSV-2002 A	T-2001	Balanceada	6"	R	8"	95	221	3,5	BP	46200	46094
U-2100											
PSV-2107	D.2103	Balanceada	2"	J	3"	25,4	260	3,4	BP	1395	1393
U-2500											
PSV-25513 A/B	T-2551	Balanceada	2"	H	3"	18	194	3,4	BP	7342	191
U-1600											
PCV- 1603 B	D-1610	-	-	-	-	21	54	0,8	BP	-	1331
PCV - 1677 B	D-1613	-	-	-	-	27	44	2,5	BP	-	3808

5.3.3 Sistema de flare FL-7200

O colectador principal do sistema de Flare 7200 recebe as descargas das unidades pertencentes à fábrica de combustíveis. As unidades que são afectadas pela condição de FGE são: U-3000, U-3300 e U-3600. Com a nova reestruturação da RP, as unidades U-10000 e U-10100 estarão acopladas directamente a este sistema e serão afectadas pela FGE (Figura 22). A Tabela 10 lista as PSVs que descarregam e os respectivos caudais na condição de FGE (Wheeler, 1999).

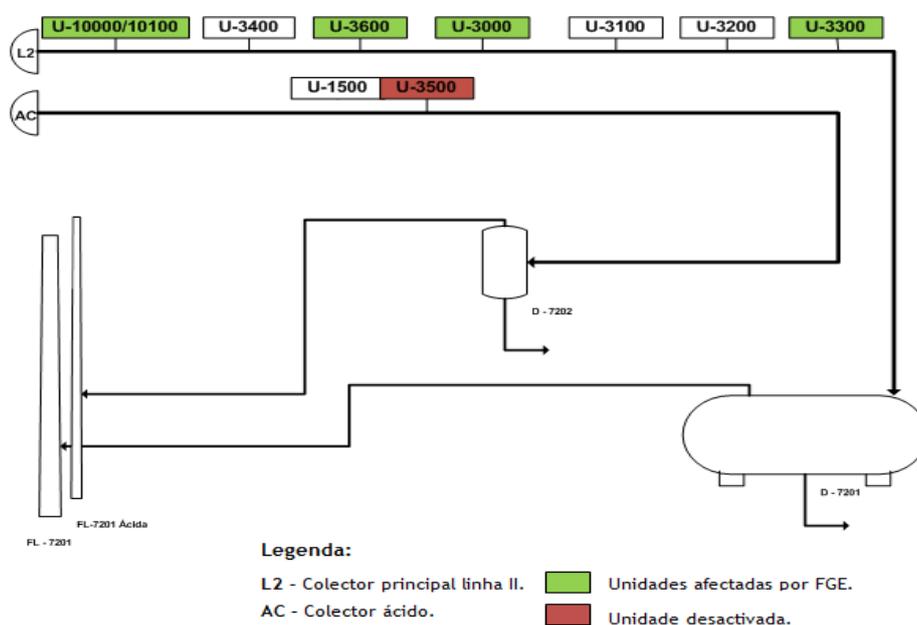


Figura 23 - Esquema geral do pior cenário de descarga no sistema de flare FL-7200 - FGE.

Sistema de flare FL-7200 ácida

A unidade que poderá descarregar efluentes ácidos para este coletor será a U-1500. No entanto, isto só acontece se ocorrer paragem da unidade Claus e/ou se houver obstrução da ligação da U-1500 ao coletor da flare ácida 7100. Como a unidade U-1500 não efectua descargas em cenário de FGE, não foi considerada esta análise para este sistema de flare.

Tabela 10 - Válvulas de descarga no sistema de flare 7200 em FGE.

Localização		Tipo	Dimensões válvula			MM (g/mol)	P _d (barg)	T (°C)	Q _{m, máx.} (kg/h)	Q _{m,FGE} (kg/h)
U-3000										
PSV-3002	T-3001	Balanceda	6"	Q	8"	89	3,4	175	43578	43578
PSV-3003-A/B	T-3001	Balanceda	6"	R	10"	89	3,4	175	112705	112705
PSV-3006	T-3004	Balanceda	6"	R	10"	66	7,4	115	75089	75089
PSV-3008-A/B	T-3005	Balanceda	4"	P	6"	36	15,8	178	56489	56489
U-3300										
PSV-3306-A/B	T-3301	Balanceda	6"	Q	8"	98	24,1	288	161214	161214
PSV-33701-A/B	T-3371	Balanceda	8"	T	10"	77	3,5	105	63100,0	63100,0
U-3600										
PSV-3601-A/B	T-3601	Convencional	3"	K	4"	38	36,0	57	36194	19084
PSV-3602-A/B	T-3602	Convencional	4"	L	6"	45	21,0	60	36043	25818
U-10000/10100										
PSV-10023-A/B	Coluna Vácuo	Balanceda	Não especificado			18	3,5	138	8000	8000
PSV-10105-A/B	Fraccionador	Balanceda	Não especificado			84	3,5	300	66000	23500

6 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

O processo de flexibilização centrou-se na análise dos principais elementos estruturantes dos sistemas de flare: i) Sistemas de colectores; ii) Knock Out Drum; e iii) Facho.

A avaliação destes elementos pertencentes aos sistemas de flares compreendeu duas fases distintas:

- Implementação das novas unidades;
- Processo de interligação dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200.

Na avaliação dos sistemas de flares foram admitidas algumas considerações e limitações dos elementos que constituem os sistemas de flare, atendendo ao *API-521 Pressure Relieving and Depressuring Systems* (API, 1997).

Considerações / Limitações:

1. Válvulas de segurança

A contra pressão máxima admitida é: i) 10% da pressão de descarga (P_d) para válvulas convencionais; ii) 30% da P_d para válvulas balanceadas e iii) 50 % da P_d para válvulas balanceadas com piloto.

2. Sistema de colectores e facho

O número de Mach máximo permitido é: 0,5 para os colectores principais e secundários e ii) 0,7 para os fachos.

3. Knock Out Drum

Para avaliação dos Knock Out Drums quanto a sua capacidade de separação da fase líquida da fase gasosa, considera-se:

- a. O caudal de líquido que condensa é 1% do caudal total de efluente;
- b. A Massa volúmica assumida para a fase líquida é 700 kg/m^3 ;
- c. O tamanho de gota é $600 \mu\text{m}$ (tamanhos de gota inferiores não são separados para a fase líquida);
- d. O nível máximo de líquido é 25 % do diâmetro para acumuladores horizontais e 20% da altura para os acumuladores verticais.

4. Radiação

A radiação máxima permitida aquando a combustão na cabeça da flare é:

- a. 9,47 kW/m² junto à base dos fachos;
- b. 4,73 kW/m² junto ao Knock Out Drum e estradas na Refinaria,
- c. 1,59 kW/m² nos limites públicos próximos da Refinaria.

Os sistemas de flares foram avaliados através de várias etapas sequenciais. De seguida são apresentados os pontos abordados e em cada uma deles o trabalho realizado para cada uma das fases do processo de flexibilização.

6.1 Implementação das Novas Unidades

6.1.1 Elaboração do diagrama de fluxo do processo dos sistemas de flare no simulador *Aspen Flare System Analyzer*.

Após definição da pior contingência para os sistemas de flare, bem como a inventariação das válvulas de segurança e válvulas de controlo, procurou-se elaborar o diagrama de fluxo do processo dos sistemas FL-7100 e FL-7200. Baseado nas isométricas destes sistemas de flare e considerando todas as PSVs das respectivas unidades processuais que descarregam em condição de FGE, esquematizou-se os colectores principais, Knock Out Drums, fachos e as posições relativas das PSVs nos colectores principais (Technip, 1974).

A elaboração do diagrama de fluxo do processo seguiu as considerações a seguir descritas:

- Diâmetros dos colectores principais e secundários;
- Comprimento dos colectores principais (com margem 10% em relação às isométricas);
- Perdas de carga dos colectores principais e facho;
- Dimensões dos Knock Out Drums;
- Dimensões dos fachos.
- Área dos orifícios das PSVs;

Para finalizar a construção do diagrama de fluxo do processo, completou-se as condições de descarga de cada PSV, com base nas descargas das unidades processuais em condição de FGE descritas na Tabela 9 e Tabela 10.

As Figura 24 e Figura 25 apresentam o diagrama de fluxo do processo dos sistemas FL-7100 ácido, FL-7100 e FL-7200.

Nota: Não foram consideradas, para todas as PSVs, os colectores desde a saída destas até à ligação ao colector secundário. Nestes casos considerou-se a ligação das PSVs directamente aos colectores secundários que ligam directamente ao colector principal, visto ser uma aproximação razoável em termos de condições hidrodinâmicas.

Sistema de flare FL-7200

As novas unidades U-10000/10100 foram introduzidas no sistema FL-7200 através de uma ligação actualmente desactivada após a ligação do colector secundário proveniente das descargas da unidade U-3000.

No diagrama de fluxo do processo do sistema FL-7200, considerou-se uma única válvula nas unidades U-10000/10100, que reunia as duas PSVs respectivas. Esta consideração foi feita devido ao facto da estruturação do projecto das novas unidades ainda estar a decorrer e não haver informação acerca dos sistemas secundários das respectivas PSVs.

Sistema de flare FL-7100

Aos sistemas de colectores principais não está prevista nenhuma alteração estrutural, pelo que se manteve na íntegra as estruturas descritas nas isométricas da RP. No que respeita ao sistema de colectores ácidos, a nova unidade U-10775 foi introduzida no início do colector principal e a U-10800 foi colocada numa ligação secundária proveniente das unidades U-3800 (Fluor, 2008). A Figura 23 ilustra o futuro sistema de flare ácida FL-7100.

6.1.2 Análise da adequabilidade dos sistemas

Procedeu-se à análise hidráulica dos colectores principais, secundários e fachos, utilizando para o efeito o simulador⁴. Como os pressupostos das futuras ligações nos sistemas de flares já estavam assumidos, recorreu-se à simulação utilizando a ferramenta *Rating* para verificação da sustentabilidade desta reestruturação na RP. As condições da simulação encontram-se descritas no Anexo 1

⁴ O perfil de pressão dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200 é apresentado em Anexo 2.

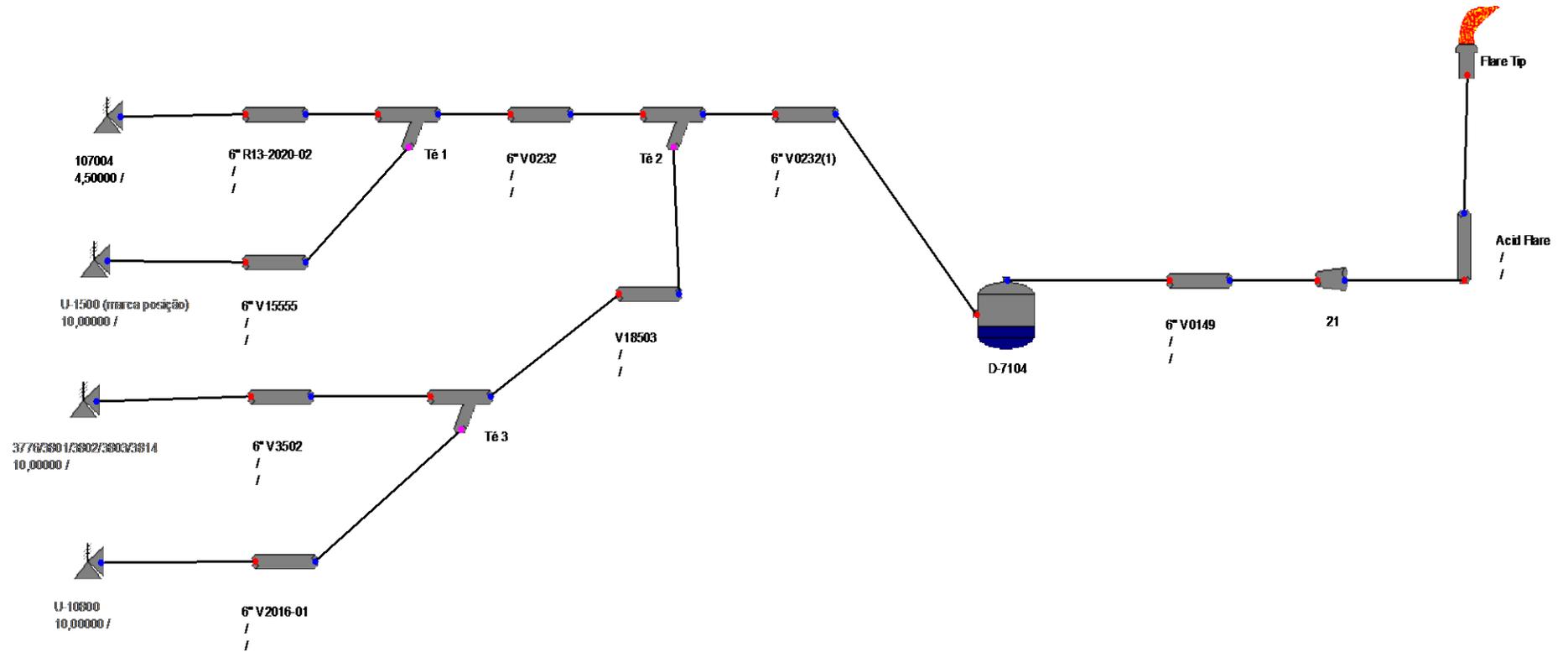


Figura 24 - Diagrama de fluxo do processo do sistema de flare ácida FL-7100.

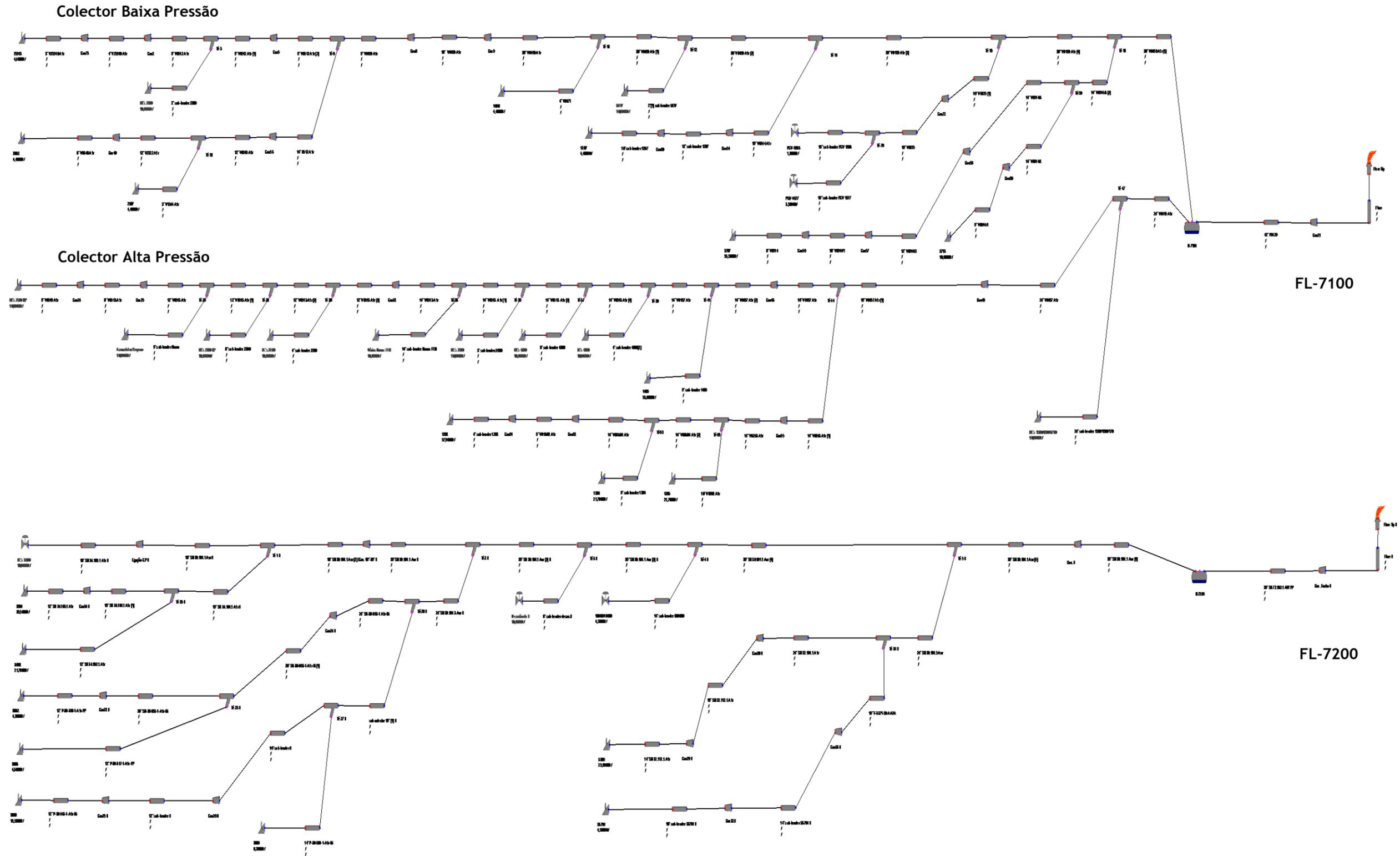


Figura 25 - Diagrama de fluxo do processo dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200.

Sistema de flare FL-7100

As Figura 26 e 27 apresentam os perfis de velocidade ao longo dos colectores principais deste sistema de flare desde o local onde se iniciam as descargas até à cabeça da flare (“Flare Tip”). Relativamente ao colector de baixa pressão, observa-se a partir do “Té 6” um aumento abrupto do número de Mach, devido ao grande caudal de descarga das PSVs da FOB e ao reduzido diâmetro do colector principal nesse local de descarga.

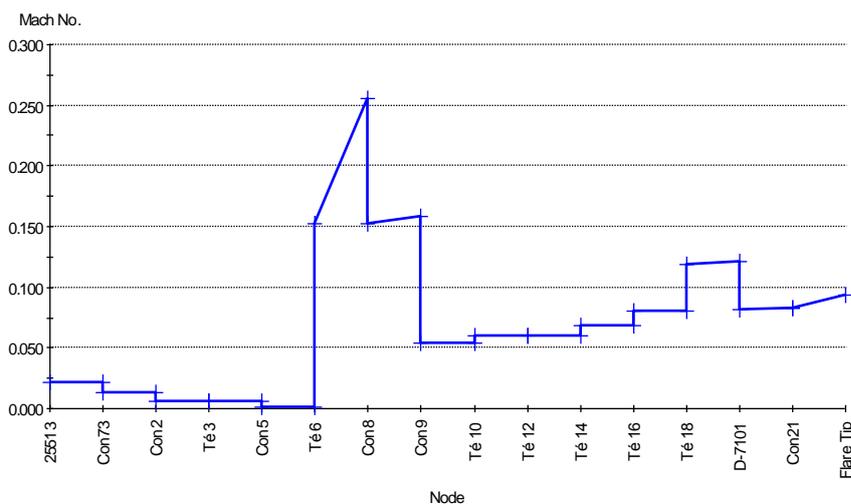


Figura 26 - Perfil de velocidade ao longo do colector de baixa pressão.

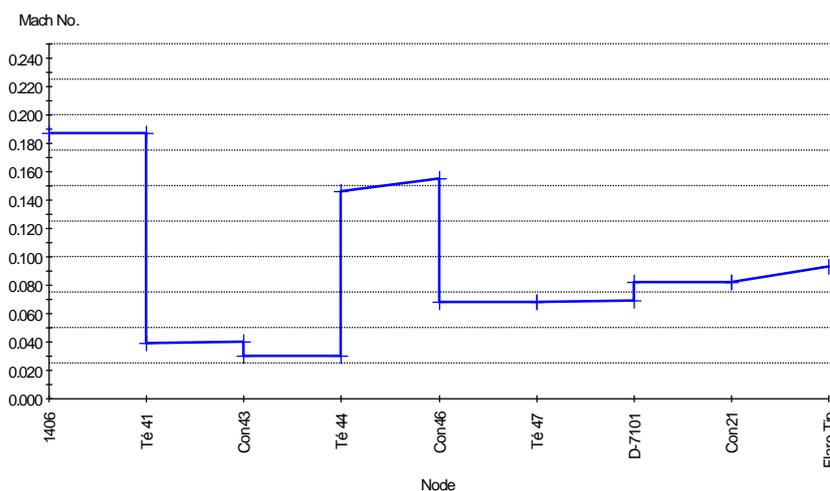


Figura 27 - Perfil de velocidade ao longo do colector de alta pressão.

Nota: Nos gráficos de perfil de velocidade as casas decimais são separadas por pontos devido ao simulador utilizar o sistema inglês. No decorrer do texto substitui-se os pontos por vírgulas (sistema português).

No caso do facho, a variação do número de Mach não ultrapassa o valor limite de estabilidade definido pelo API 521, ou seja, 0.7. (ver de “Con21” até “Flare Tip” -Figura 26).

O número de Mach ao longo dos colectores principais do sistema FL-7100 não ultrapassa o valor limite para os colectores. Os principais factores que normalmente causam o aumento do número de Mach são o aumento de caudal nos colectores, a massa molecular dos efluentes e a variação dos diâmetros nos colectores. Colectores com diâmetros elevados, provocam diminuição do número de Mach. O método de cálculo do simulador para a determinação dos perfis de velocidade é baseado na Equação 1:

$$M = 3,23 \times 10^{-5} \left(\frac{Q_m}{PD^2} \right) \left(\frac{ZT}{k \times MM} \right) \quad (1)$$

em que M é o número de Mach, Q_m é o caudal mássico de efluentes (kg/h), P é a pressão no colector (kPa), T é a temperatura dos efluentes (K), D é o diâmetro do colector, Z é o factor de compressibilidade, k é a razão dos calores específicos dos efluentes e MM é a massa molecular dos efluentes (kg/kmol).

No caso da flare FL-7100 ácida também não é ultrapassado o limite máximo para o número de Mach nos colectores e no facho ácido (Figura 28). O aumento gradual do número de Mach ao longo do colector deve-se sobretudo à diminuição da pressão à medida que se aproxima do facho.

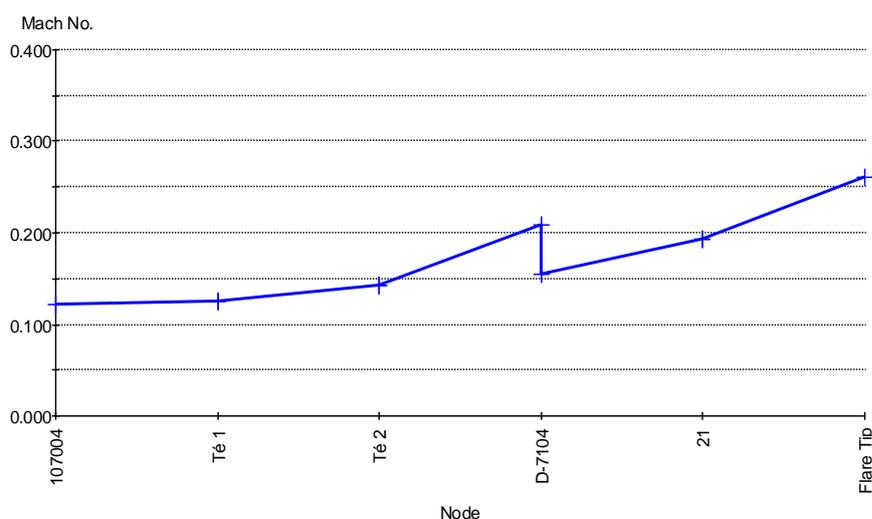


Figura 28 - Perfil de velocidade ao longo do colector ácido.

Sistema de flare FL-7200

Com a introdução das unidades U-10000/10100, aumenta o caudal de descarga no sistema, o que leva a um aumento do número de Mach no colector principal, como pode ser observado na Figura 29 (Ligação “Té 4 II”). No entanto, ao longo de todo o colector e no facho não ocorre violação do número de Mach.

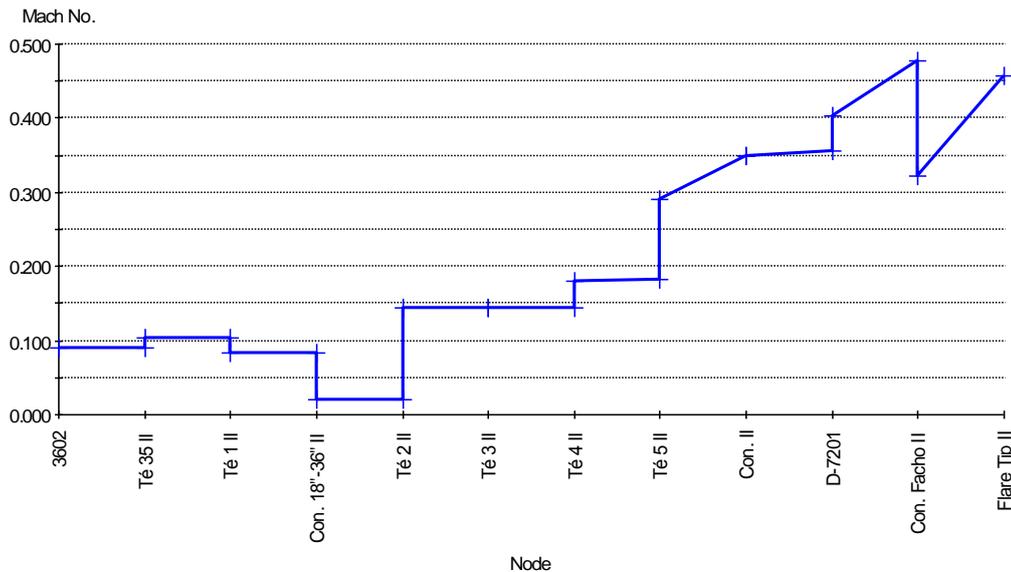


Figura 29 - Perfil de velocidade ao longo do colector principal.

6.1.3 Análise da Contra-Pressão e Redimensionamento de PSVs

Os perfis de velocidade e pressão obtidos na simulação têm como objectivo não só avaliar o comportamento dos colectores e fachos como também verificar as limitações em termos de contra-pressão dos sistemas de descarga.

Os perfis de pressão do sistema permitem averiguar a adequabilidade das fontes de descarga. Desta forma, analisou-se a contra-pressão à saída das válvulas obtidas no simulador e a contra-pressão máxima admitida por cada válvula de descarga. Com vista a ter um critério de análise uniforme, a BP utilizada para análise das PSVs foi a verificada nos colectores secundários (que ligam directamente ao colector principal).

Sistema de flare FL-7100

A Tabela 11 mostra o resultado da análise da contra-pressão nas válvulas de descarga.

Tabela 11 - Contra-pressão das PSVs do sistema de flare FL-7100 em FGE.

PSV	Tipo	BP (barg)	MABP (barg)	Adequabilidade
25513	Balanceada	1,13	1,05	Não Adequada
2002	Balanceada	1,12	1,40	Adequada
2107	Balanceada	1,12	1,05	Não adequada
3707	Convencional	0,20	5,45	Adequada
3713	Convencional	0,20	0,90	Adequada
1202	Convencional	0,25	5,69	Adequada
1406	Convencional	0,26	5,20	Adequada
1207	Balanceada	0,21	1,05	Adequada
1408	Balanceada	0,18	1,40	Adequada
1304	Convencional	0,25	2,07	Adequada
1205	Convencional	0,25	2,07	Adequada

As PSVs 2107 e 25513 são as únicas válvulas que deverão ser substituídas, pois o valor da contra-pressão exercida nestas válvulas é superior à contra-pressão máxima admitida.

Sistema de flare FL-7100 ácido

A única válvula a descarregar para este sistema, em caso de FGE, é uma válvula que ainda será instalada uma vez que pertence às novas unidades. Analisando a contra-pressão imposta nesta válvula, verifica-se que esta tem uma percentagem de contra-pressão superior a 50%, logo deverá ser dimensionada de forma a ter uma contra-pressão máxima admitida superior a 2,07 barg.

Tabela 12 - Contra-pressão da PSV - 10704 do sistema de flare FL-7100 em FGE.

PSV	Pd (barg)	BP (barg)	% BP
10704	3,50	2,07	59

Sistema de flare FL-7200

Para este sistema de flare, a análise da contra-pressão das PSVs apresenta-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Contra-pressão das PSVs do sistema de flare FL-7200 em FGE.

PSV	Tipo	BP (barg)	MABP (barg)	Adequabilidade
3601	Convencional	1,23	3,55	Adequada
3602	Convencional	1,23	2,07	Adequada
3002	Balanceada	1,19	0,99	Não Adequada
3003	Balanceada	1,19	0,99	Não Adequada
3006	Balanceada	1,19	2,16	Adequada
3008	Balanceada	1,19	4,65	Adequada
3306	Convencional	1,12	2,41	Adequada
33701	Balanceada	1,12	1,05	Não Adequada

As PSVs 3002, 3003 e 33701 apresentam contra-pressões superiores ao valor máximo permitido. Estas válvulas necessitam de ser substituídas, para garantir uma contra-pressão máxima admitida superior à contra-pressão no sistema de flare aquando a descarga em FGE.

No caso das PSVs a serem instaladas nas unidades U-10000/10100, estas deverão permitir percentagens de contra-pressão superiores a 34 % (ver Tabela 14), de modo a garantir a contra-pressão provocada pela descarga em FGE no sistema FL-7200.

Tabela 14 - Contra-pressão das PSVs das unidades U-10000/10100 do sistema de flare FL-7200 em FGE.

PSV	P _d (barg)	BP (barg)	% BP
10023	3,50	1,19	34
10105	3,50	1,19	34

Atendendo às válvulas que apresentavam contra-pressões nos sistemas de flare superiores à contra-pressão máxima permitida por estas, fez-se uma abordagem quanto às suas características futuras. Como as contra-pressões admitidas pelas válvulas são inferiores às contra-pressões produzidas nos sistemas de flares, um dos parâmetros que terá relevância será a área de orifício de descarga ($A_{\text{orifício}}$) da cada PSV.

As áreas mínimas necessárias às PSVs a serem substituídas, podem ser estimadas segundo a Equação 2:

$$A_{\text{mín}} = \frac{13160 \times Q_m}{CK_d P_d K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{MM}}^5 \quad (2)$$

⁵ Expressão utilizada para escoamentos críticos (Pressão crítica do efluente superior à contra-pressão no sistema de flare) (API, 2000).

em que Q_m é o caudal mássico (kg/h), C é o coeficiente que relaciona calores específicos dos componentes que compõem os efluentes, K_d é o coeficiente de descarga, P_d é a pressão de descarga (kPa), K_b é o factor de correcção da contra-pressão, K_c é o factor para válvulas com disco de ruptura, T é a temperatura de descarga (K), Z é o factor de compressibilidade e M a massa molecular do efluente (kg/kmol) (API,2000).

Na Tabela 15 apresenta-se as áreas mínimas necessárias das PSVs actuais e futuras PSVs instaladas com as novas unidades.

Tabela 15 - Valores das áreas mínimas de orifício para as PSVs.

PSV	$A_{\text{orifício actual}}$ (in ²)	% BP	$A_{\text{mín,calculada}}$ (in ²) ⁶
FL-7100			
2107	1,28	33	0,18
25513	0,78	33	0,97
FL-7100 ácida			
10704	-	59	2,70
FL-7200			
3002	11,05	36	20,80
3003	16,00	36	52,61
33701	26,00	32	20,30
10023	-	34	8,68
10105	-	34	10,20

6.1.4 Avaliação dos Knock Out Drums

A verificação dos Knock Out Drums foi executada tendo em conta a adequabilidade dos sistemas de flares para a recepção das novas descargas, provenientes das novas unidades e da reformulação das unidades existentes.

O processo de avaliação tem por base a determinação do comprimento mínimo ($L_{\text{mín}}$) dos Knock Out Drums horizontais para que haja a separação da fase líquida da fase gasosa. As partículas de líquido existentes na corrente de efluentes são separadas quando o tempo de residência do gás é igual ou maior ao tempo necessário à queda das partículas através do espaço livre no Knock Out Drum, ou quando a velocidade de queda das partículas é suficientemente elevada que permite desde logo a separação (API, 1997).

⁶ Para as PSVs 2107 e 33701 o valor da área mínima é inferior a actual área do orifício. Para estas PSVs deverá ser realizada uma avaliação detalhada da contra-pressão máxima admitida e de outros parâmetros relevantes à adequabilidade das PSVs.

A velocidade de queda de partículas de líquido (U_c) é determinada através da Equação 3:

$$U_c = 1,15 \frac{\sqrt{g D_p (\rho_l - \rho_v)}}{\rho_v C_a} \quad (3)$$

em que g é a aceleração da gravidade (m/s^2), D_p é o diâmetro de partículas de líquido a separar (m), ρ_l é a massa volúmica do líquido (kg/m^3), ρ_v é a massa volúmica do vapor (kg/m^3) e C_a é o coeficiente de arrasto.

Com recurso a um processo iterativo determinou-se, para a condição de FGE, os comprimentos mínimos necessários para ocorrer a separação da fase líquida dos efluentes provenientes dos sistemas FL-7100 e FL-7200 (Anexo 4).

No que respeita aos Knock Out Drums verticais, a dimensão relevante é o diâmetro. Neste tipo de acumuladores, assume-se que a velocidade do gás é igual à velocidade de queda das partículas de líquido na parte livre do Knock Out Drum. O diâmetro fica assim definido pela Equação 4:

$$D_c = \sqrt{\frac{A_{SR}}{\left(\frac{4}{\pi}\right)}} \quad (4)$$

Em que A_{SR} é a área da secção recta do Knock Out Drum (m^2). Por sua vez, esta é expressa através do quociente do caudal de gás no Knock Out Drum e a velocidade de queda das partículas de líquido.

Sistema de flare FL-7100

Na Tabela 16 apresenta os resultados no cálculo do comprimento mínimo necessário para os Knock Out Drums dos sistemas FL-7100 e FL-7200.

Tabela 16 - Comprimento mínimo para o Knock Out Drum horizontal D-7101 e D-7201.

Sistema de flare	Knock Out Drum	Q_m (kg/h)	L_{actual} (m)	$D_{c,actual}$ (m)	U_c (m/s)	L_{min} (m)
FL-7100	D-7101	111350	11,0	3,7	2,13	6,40
FL-7200	D-7201	588727	12,2	6,4	1,72	7,50

Ambos os comprimentos mínimos dos Knock Out Drums são inferiores aos actuais (L_{actual}), pelo que o D-7101 e o D-7201 têm dimensões suficientes para que ocorra a separação de fases nas novas condições.

Sistema de flare FL-7100 ácida

O diâmetro mínimo ($D_{c,\text{min}}$) necessário do Knock Out Drum para que haja separação de fases dos efluentes ácidos está descrito na Tabela 17.

Tabela 17 - Diâmetro mínimo para o Knock Out Drum vertical D-7104.

Q_m (kg/hr)	L_{actual} (m)	$D_{c,\text{actual}}$ (m)	U_c (m/s)	$D_{c,\text{min}}$ (m)
4450	1,65	0,55	3,12	0,72

Como se observa na tabela anterior, o D-7104 não é adequado para a separação de fases em caso de FGE, visto que o diâmetro actual ($D_{c,\text{actual}}$) é inferior ao diâmetro mínimo calculado. Assim sendo, o D-7104 deverá ser substituído por um Knock Out Drum de diâmetro igual ou superior ao diâmetro mínimo calculado, de modo a garantir a correcta separação de fases no pior cenário de descarga de efluentes na RP.

6.1.5 Determinação dos Níveis de Radiação

Quando os efluentes gasosos chegam ao topo do facho inicia-se o processo de combustão. Associado à combustão está a radiação emitida pela chama, que limita o tamanho do facho de acordo com os limites máximos impostos de radiação na periferia deste.

Para o cálculo dos níveis de radiação utilizou-se a Equação 5:

$$K = \frac{\tau FW}{4\pi D_r^2} \quad (5)$$

em que K é a valor de radiação (kW/m^2), F é a fracção de calor radiada, W é o calor libertado pela combustão (kW), D_r é a distância desde o centro da chama até ao ponto de medição (m) e τ é fracção de radiação transmitida através da atmosfera (API, 1997).

Os níveis de radiação na periferia dos fachos são influenciados não só pelo caudal e poder calorífico dos efluentes a queimar como também pela acção do vento. Desta forma,

considerou-se no cálculo da radiação as direcções do vento de Oeste e Este, visto serem os mais predominantes junto à RP. A velocidade mais elevada para o vento de Oeste e de Este é de 8,8 m/s (Agri-Pro Ambiente, 2008).

No que respeita aos efluentes a queimar, considerou-se a aproximação feita pelo simulador no que respeita a composição da mistura a queimar, de forma a determinar os calores de combustão (Anexo 1).

No cálculo da radiação do sistema de flare FL-7100 foi desprezada a combustão no facho ácido visto que, o caudal dos efluentes ácidos é bastante inferior ao caudal de hidrocarbonetos no facho principal.

Na Tabela 18 apresentam-se os principais níveis de radiação obtidos para os dois sistemas nas imediações da RP. No Anexo 5 é apresentada a localização dos sistemas de flare.

Tabela 18 - Níveis de radiação nas imediações da RP dos sistemas FL-7100 e FL-7200.

Efluentes	Radiação (kW/m ²)				
			Vento de Este		Vento de Oeste
	MM (g/mol)	W (J/s)	Rua Cel. Hélder Ribeiro	Junto ao facho FL- 7200/FL-7100	Rua Almeiriga Norte
FL-7100	51,4	1,9x10 ⁹	0,12	1,75	0,32
FL-7200	67,4	7,63x10 ⁹	1,48	4,40	0,53
Limite Máx. Radiação (kW/m ²)			1,59	9,49	1,59

Em análise isolada dos sistemas de flares, nenhum destes ultrapassa os limites máximos permitidos. No entanto, quando ocorre o cenário de FGE, ambos os sistemas descarregam em simultâneo pelo que, se torna relevante o estudo da radiação conjunta dos sistemas de flare (ver Tabela 19).

Tabela 19 - Níveis de radiação nas imediações da RP dos sistemas FL-7100 e FL-7200 em conjunto.

	Radiação (kW/m ²)		
			Vento de Oeste
	Rua Cel. Hélder Ribeiro	Junto ao facho FL-7200/FL-7100	Rua Almeiriga Norte
FL-7100 + FL-7200	1,60	6,15	0,85
Limite Máx. Radiação (kW/m ²)	1,59	9,49	1,59

Os sistemas de flare em conjunto apresentam níveis de radiação que ultrapassam os limites máximos na Rua Cel. Hélder Ribeiro, quando a chama é influenciada pelo vento de Este. No

entanto, a diferença relativamente ao limite máximo é mínima, pelo que se assume que os níveis de radiação dos dois sistemas de flares em FGE estão dentro dos limites permitidos.

6.2 Interligação dos Sistemas de Flare

A interligação dos sistemas, foi efectuada tendo em consideração os critérios de paragem da RP. O problema principal foi delimitado em torno de critérios de paragem do Knock Out Drum e facho do sistema de flare FL-7100.

A paragem deste sistema implica que os efluentes que nele descarregam, sejam encaminhados para o sistema de flare FL-7200. Os efluentes provenientes que descarregam no sistema de colectores da FL-7100 vão assim ser desviados para o sistema de flare FL-7200 através da ligação dos colectores de alta e baixa pressão ao Knock Out Drum D-7202. Esta ligação estabelece-se através da introdução de um novo colector de diâmetro igual ao colector de maior diâmetro, ou seja, o colector de baixa pressão - 30 polegadas⁷. (Figura 31).

Primeira Abordagem

Recorrendo à simulação desta nova configuração dos sistemas de flares, verifica-se que ocorre uma violação do número de Mach máximo permitido, no colector que sai do D-7201 até à entrada no facho (ver de “D-7201” até “Con.Facho II” - Figura 30).

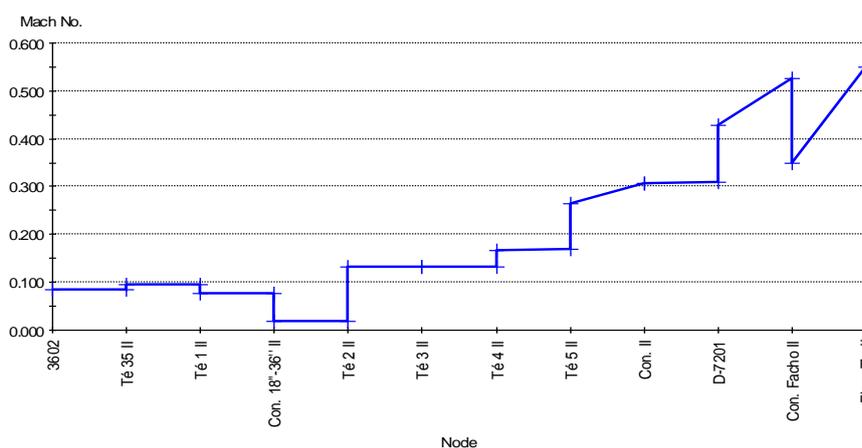


Figura 30 - Perfil de velocidade no colector principal do sistema FL-7200 com a nova configuração - Paragem da FL-7100.

⁷ De forma a prevenir um elevado número de Mach nos colectores.

A violação do número de Mach implica a alteração deste colector, para um de diâmetro superior.

Segunda Abordagem

Após a simulação e recorrendo a uma análise prévia dos níveis de radiação, verifica-se que nas imediações da RP são ultrapassados os níveis de radiação permitidos com esta nova configuração. A Tabela 20 lista os valores de radiação para esta nova configuração.

Tabela 20 - Níveis de radiação nas imediações da RP da nova configuração de flares.

	Efluentes			Radiação (kW/m ²)		
				Vento de Este		Vento de Oeste
	Caudal mássico (kg/h)	MM (g/mol)	W (J/s)	Rua Cel. Hélder Ribeiro	Junto ao facho FL- 7200/FL- 7100	Rua Almeiriga Norte
Interligação de flares	700077	57,7	1,06x10 ¹⁰	2,16	5,72	0,75
	Limite Máx. Radiação (kW/m ²)			1,59	9,49	1,59

O valor de radiação na Rua Cel. Hélder Ribeiro ultrapassa o valor máximo permitido nesse local. Para satisfazer os limites é necessário a colocação de um novo facho de maiores dimensões no sistema de flare FL-7200.

Nas duas primeiras abordagens à nova configuração, número de Mach e radiação, verifica-se que esta nova configuração não é suficiente para garantir um correcto funcionamento sem infringir os limites máximos permitidos. De modo a tornar a configuração dentro dos limites permitidos, é necessário a alteração de elementos constituintes do sistema FL-7200 (colectores e facho).

Com vista a minimizar as alterações físicas aos sistemas de flares, adoptou-se uma diferente estratégia, mantendo esta nova configuração sem alteração de mais nenhum elemento do sistema. Desta forma, adequou-se para esta interligação dos dois sistemas de flares, um cenário que engloba a paragem de unidades, de modo a diminuir assim as descargas para o sistema FL-7200.

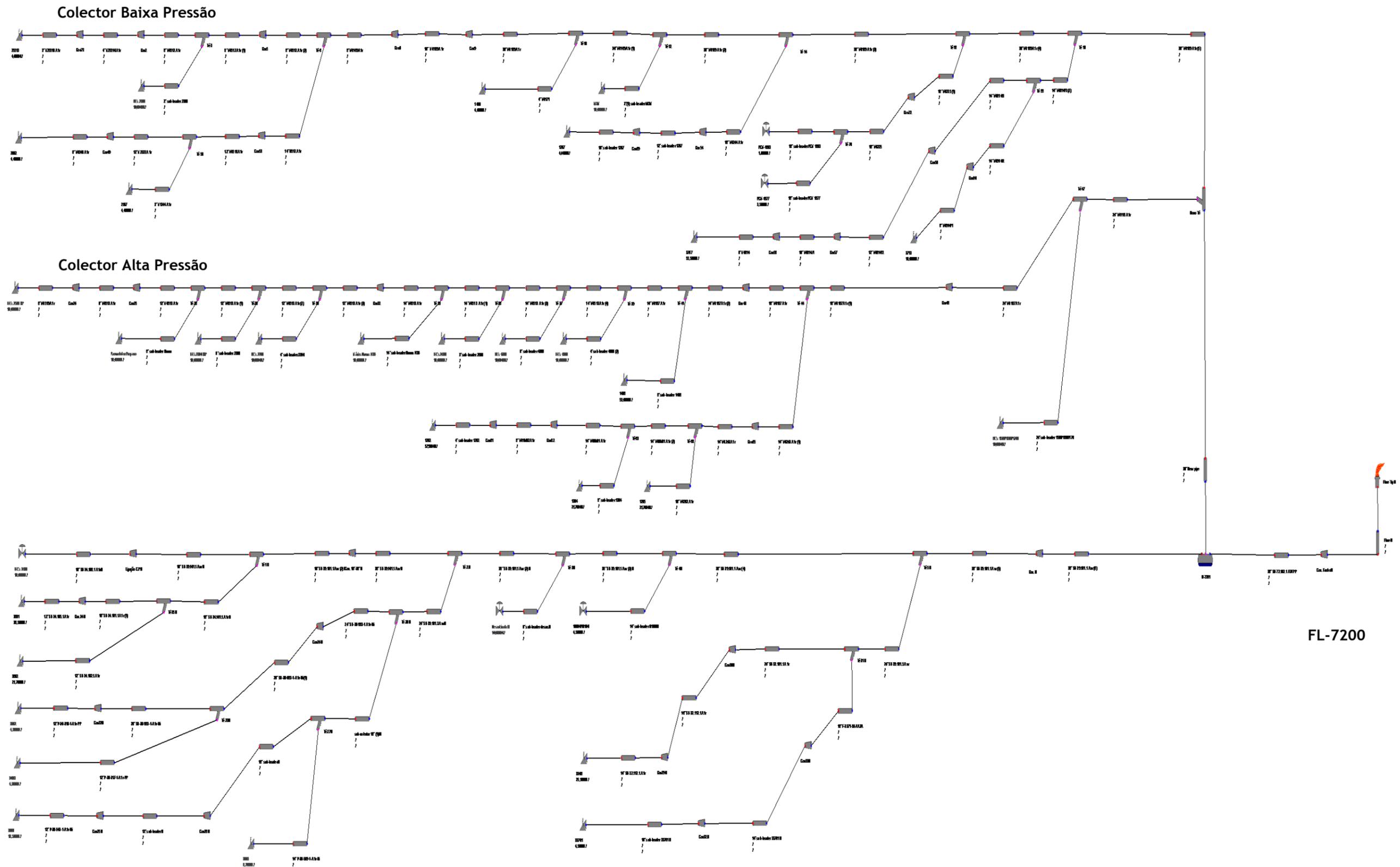


Figura 31 - Diagrama do fluxo do processo da interligação dos sistemas de flare FL-7100 e FL-7200.

A criação de um cenário de paragem de unidades aplicado ao diagrama de fluxo de processo da Figura 31 implica numa primeira fase a análise das quantidades de efluentes descarregadas por cada unidade processual em caso de FGE.

Tabela 21 - Descargas das unidades processuais em condição de FGE.

Unidades Processuais	1200/1300/ 1400/1600	3700	2000/ 2100/2500	3000	3300	3600	10000/ 10100
Q _m (kg/h)	41000	16000	48000	288000	224000	46000	32000

O cenário que vai fazer com que a interligação dos sistemas de flares seja possível é aquele que permita manter o sistema de colectores, os níveis de radiação dentro dos limites impostos e a adequabilidade do Knock Out Drum. Considerando estes pontos, a criação de um cenário adequável ao novo sistema é criado com base na paragem da unidade que maior caudal descarrega para o sistema de flares. Assim, ao baixar a quantidade descarregada, diminui-se o número de Mach nos colectores e também o calor de combustão, que por sua vez leva a baixar os índices de radiação. A unidade estudada para a criação deste cenário foi a U-3000.

6.2.1 Cenário de paragem do sistema de flare FL-7100 com paragem U-3000

Como a U-3000 é a unidade que mais descarrega para o sistema de flares em caso de FGE, admitiu-se a criação de um cenário onde para ocorrer a paragem do sistema FL-7100 terá de ocorrer forçosamente a paragem da U-3000⁸. A estrutura da interligação dos dois sistemas é assim mantida na íntegra conforme designado inicialmente.

Atendendo ao critério de paragem estabelecido, averiguou-se adequabilidade dos sistemas a este novo cenário nos mesmos moldes do que foi realizado para na Secção 4.1. Em termos de perfis de velocidade nos colectores, verifica-se que não ocorre violação do número de Mach. A Figura 32 mostra a variação do número de Mach desde a U-3600 até à cabeça da flare (“Flare Tip II”).

⁸ A unidade U-10000/10100 vai futuramente alimentar a U-3000; No entanto não se considera a paragem das novas unidades uma vez que haverá um armazenamento intermédio.

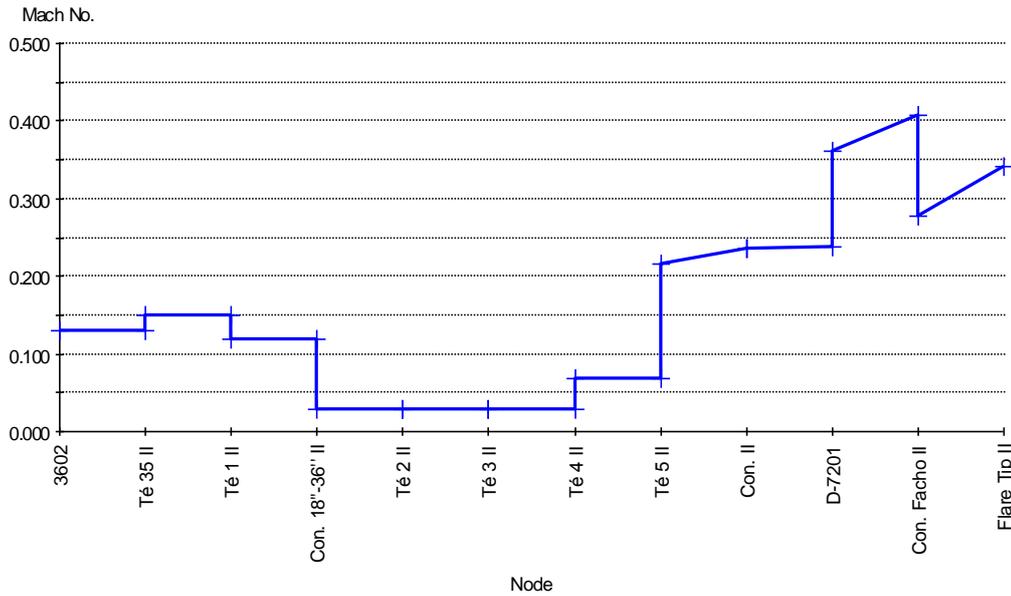


Figura 32 - Perfil de velocidade desde a U-3600 até ao facho.

A zona crítica para esta nova configuração, no que respeita à variação do número de Mach, compreende os colectores desde a saída do D-7201 até à entrada no facho (“*Con. Facho II*”). No entanto, os valores de Mach nunca chegam a atingir o limite máximo permitido para os colectores.

6.2.2 Análise da Contra-Pressão

A interligação do sistema FL-7100 no sistema FL-7200 provocou uma alteração na estrutura que liga os dois sistemas. Esta modificação provocou um impacto nas contra-pressões admitidas nas PSVs (Tabela 22).

Tabela 22 - Contra-pressão admitida para as PSVs no cenário de interligação dos sistemas de flares com paragem da U-3000

PSV	Tipo	BP (barg)	MABP (barg)	Adequabilidade
3601	Convencional	0,75	3,55	Adequada
3602	Convencional	0,75	2,07	Adequada
3306	Convencional	0,67	2,41	Adequada
33701	Balanceada	0,67	1,05	Adequada
10023	-	0,73	-	-
10105	-	0,73	-	-
1406	Convencional	0,60	5,20	Adequada
1408	Balanceada	0,54	1,40	Adequada
1207	Balanceada	0,56	1,05	Adequada
1202	Convencional	0,60	5,69	Adequada
1304	Convencional	0,60	2,07	Adequada
1205	Convencional	0,60	2,07	Adequada
2002	Balanceada	1,32	1,40	Adequada
2107	Balanceada	1,32	1,05	Não Adequada
25513	Balanceada	1,35	1,05	Não Adequada

No caso das PSV das novas unidades, 10023 e 10105, a contra-pressão observada é inferior à que se verificava no cenário de FGE sem paragem da U-3000. Pelo que, a anterior estimativa da área mínima de orifício continua a ser válida.

Analisando a Tabela 22, verifica-se que só as PSVs 2107 e 25513 é que violam a contra-pressão máxima admitida. Como as contra-pressões agora verificadas nestas válvulas são superiores às observadas sem interligação dos sistemas de flares (Tabela 11 e Tabela 13), é necessário estimar a nova área do orifício de descarga das PSVs.

Tabela 23 - Área mínima para as PSVs.

PSV	A_{actual} (in ²)	% BP	$A_{\text{mín}}$ (in ²)
2107	1,28	39	0,21
25513	0,78	40	1,10

Os valores de área mínima de orifício obtidos para este novo cenário (Tabela 23), são superiores aos valores obtidos no anterior estudo, pois a contra-pressão observada com a paragem da U-3000 é superior.

6.2.3 Análise do Knock Out Drum

Na Tabela 24 apresentam-se os valores relativos à verificação da adequabilidade do D-7201 quanto à separação da fase líquida da fase gasosa dos efluentes.

Tabela 24 - Verificação da adequabilidade do Knock Out Drum D-7201 Interligação dos sistemas de flares com paragem da U-3000.

Sistema de flare	Knock Out Drum	Q_m (kg/h)	L_{actual} (m)	$D_{c_{actual}}$ (m)	U_c (m/s)	L_{min} (m)
Interligação dos sistemas	D-7201	412216	12,2	6,4	2,26	8,07

O comprimento mínimo calculado é inferior ao comprimento actual, pelo que o Knock Out Drum é adequado para este novo processo de interligação dos sistemas de flares.

6.2.4 Verificação dos Níveis de Radiação

Após efectuada análise aos colectores e ao Knock Out Drum nesta nova configuração, surgiu a necessidade de averiguar quais os níveis de radiação admitidos nas imediações da RP, de acordo com o realizado na Secção 5.1.5. Os níveis de radiação encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Níveis de radiação nas imediações da RP - Interligação dos sistemas de flares com paragem da U-3000.

Efluentes	Radiação (kW/m ²)					
	Q_m (kg/h)	MM (g/mol)	W (J/s)	Vento de Este		Vento de Oeste
Rua Cel. Hélder Ribeiro				Junto ao facho FL-7200/FL-7100	Rua Almeiriga Norte	
Interligação de flares	412216	53,5	$6,74 \times 10^9$	1,38	3,65	0,48
Limite Máx. Radiação (kW/m ²)				1,59	9,49	1,59

Com a paragem da U-3000 e a respectiva diminuição de caudal de efluentes, permitiu que os níveis de radiação nas zonas perto do facho da FL-7200 fossem para valores dentro dos limites máximos permitidos.

6.2.5 Verificação da condição limite dos sistemas de flares

Ao efectuar a paragem da unidade U-3000 e interligando os dois sistemas de flares torna-se relevante a análise da pior condição para os sistemas de flares, visto que, ao parar a U-3000 não são contabilizadas as descargas desta unidade em condição de FGE. Assim, analisou-se novamente o pior cenário mas não considerando as descargas das PSVs da U-3000 que são afectadas por FGE. Após análise verifica-se que o pior cenário continua a ser a FGE nos sistemas de flares FL-7100 e FL-7200 (Wheeler, 1973).

6.3 Interligação do sistema de flare FL-7100 ácido

A paragem do sistema de flare FL-7100 só se completa quando se faz também a interligação do sistema ácido desta Flare.

Na flexibilização do sistema de flare ácida, o estudo efectuado teve por base a ligação do colector principal ácido do sistema de flare FL-7100 ao colector principal ácido do sistema de flare FL-7200.

Análise Knock Out Drum ácido

Como foi verificado anteriormente para o D-7104 (Secção 5.1.4), o diâmetro mínimo necessário em caso de falta geral de energia é 0,72 metros.

Ao efectuar a ligação do colector ácido FL-7100 ao Knock Out Drum ácido, D-7202, do sistema FL-7200 era necessário que o D-7202 tivesse um diâmetro igual ou superior a 0,72 metros pois, as quantidades descarregadas de efluentes são mantidas. No entanto, o diâmetro deste Knock Out Drum é 0,55 metros não sendo adequado para este processo.

Considerando a inexistência de um Knock Out Drum capaz de efectuar a separação dos efluentes, surgem outras alternativas de modo a tornar o sistema adequado.

As possíveis alternativas são:

- i) Paragem da unidade U-10775, U-10800 e U-1500 aquando paragem da Flare 7100;
- ii) Colocação dos actuais Knock Out Drums, D-7104 e D-7202, em paralelo.

A pior condição no sistema FL-7100 ácido é provocada pela descarga da PSV-10704, pertencente à U-10775. Efectuando a paragem da U-10775, U-10800 e U-1500 torna-se desnecessária a interligação dos sistemas ácidos, visto serem as únicas unidades que descarregam para o sistema ácido.

A colocação do D-7104 e do D-7202 em paralelo, permite que o D-7202 receba um caudal 2300 kg/h e o D-7104 um caudal de 2150 kg/h, com uma margem de segurança no D-7202 de 16% e no D-7104 de 10% relativamente a um possível aumento de caudal. Assim sendo, o sistema torna-se adequado à separação dos efluentes ácidos.

Quanto às condições hidrodinâmicas, não há violação do número de Mach nos colectores e no facho, pelo que o sistema se torna adequado. Isto porque, se na análise da simulação do sistema de flare ácida FL-7100 em FGE não ocorria violação do número de Mach então, com a divisão de caudais sem alteração do diâmetro dos colectores também não ocorre.

No caso da contra-pressão imposta na PSV-10704, verifica-se que aumenta relativamente à configuração anterior do sistema de flare ácida.

Tabela 26 - Contra-pressão obtida para a PSV-10704.

PSV	P_d (barg)	% BP
10704	3,50	61

Como se pode verificar na Tabela 26, a percentagem de contra-pressão é elevada, pelo que a PSV-10704 deverá ser dimensionada especialmente para estas capacidades, para que esta descarregue na condição de falta de um sistema de bombagem na U-10775.

7 Conclusões

O trabalho realizado com os sistemas de flares da RP permite concluir que:

- I. Os sistemas de flares FL-7100 e FL-7200 são adequados para receber as descargas das futuras novas unidades em cenário de falta geral de energia, mas com algumas limitações estruturais;
- II. As limitações relacionam-se com a necessidade de substituição de algumas das válvulas de segurança, pertencentes à FOB e FCO (linha II) e do Knock Out Drum ácido do sistema FL-7100;
- III. No que respeita ao processo de paragem destes sistemas, encontrou-se um modelo e um cenário de paragem do sistema de FL-7100 (principal e ácido), limitando apenas as descargas de uma unidade processual da FCO, a U-3000;
- IV. A criação deste cenário implica a substituição do actual Knock Out Drum do sistema FL-7200 ácido por outro de maior capacidade ou a aplicação das seguintes medidas: i) colocação dos actuais Knock Out Drums ácidos dos dois sistemas em paralelo no sistema de FL-7200 ou ii) paragem da U-10775 aquando da paragem da FL-7100.

Verificou-se ainda que o simulador *Aspen Flare System Analyzer* é uma ferramenta adequada e prática para a avaliação dos sistemas de flares da RP, assim como para a realização de estudos relacionados com a estruturação de futuras configurações na RP.

O processo de flexibilização dos sistemas de flares da RP foi estruturado e analisado. No entanto, são necessários estudos de mais alguns cenários não abordados neste trabalho.

8 Avaliação do trabalho realizado

8.1 Objectivos Realizados

O trabalho realizado teve como principais objectivos a análise da adequabilidade dos sistemas de flares à nova reestruturação da RP e a criação de um modelo de flexibilização dos sistemas de flares (exceptuando o sistema associado à FAR).

A verificação da adequabilidade dos sistemas foi conseguida bem como a determinação dos factores limitantes aos sistemas de flares com a introdução das novas unidades processuais. No que diz respeito ao modelo de flexibilização, foi elaborada uma estrutura de interligação dos sistemas de flares e criado um cenário que permite a paragem de um dos sistemas, sem que ocorra a paragem completa de todas as unidades que descarregam para este. Desta forma, foi atingido os objectivos principais propostos quanto à flexibilização dos sistemas de flares.

8.2 Outros Trabalhos Realizados

Paralelamente ao estudo de flexibilização dos sistemas de flares, foram realizados outros trabalhos. Aquando da elaboração do diagrama do fluxo do processo no simulador, tornou-se necessário averiguar as condições de descarga das válvulas que interferem com os sistemas de flares. O facto desta informação necessária não se encontrar centralizada e de fácil procura, levou a criação de um sistema de procura e listagem das condições das válvulas de segurança da RP.

Simultaneamente, propôs-se a elaboração de um modelo completo no simulador de todas as PSVs que descarregam para os sistemas de flares. O modelo permitiria à RP obter o impacto da descarga de qualquer unidade para os colectores dos sistemas de flares. O modelo encontra-se ainda em fase de desenvolvimento.

8.3 Limitações e Trabalho Futuro

A existência de algumas limitações quanto aos verdadeiros valores de descarga das futuras unidades e o local onde vão estar ligadas no colectador principal, irão contribuir positivamente na obtenção de resultados distintos. Quanto ao processo de flexibilização obtido, este é numa primeira fase apropriado, porém necessita de ser mais explorado quanto ao sistema de interligação dos sistemas de flares.

Como trabalho futuro aponta-se o estudo mais detalhado da interligação entre os dois sistemas de flares, colectores principais e ácidos, de forma a minimizar os custos associados à introdução destas ligações. Um outro ponto de interesse, será o estudo do comportamento dos sistemas de flares noutras condições de emergência, como fogo ou falta de água de arrefecimento em algumas unidades, de modo a prever as consequências nestes sistemas.

Com vista a tornar os processos mais eficientes da RP, aponta-se como uma medida de interesse, o estudo da aplicação de um sistema de recuperação de gases nos Knock Out Drums, para reaproveitamento destes como gás combustível.

Numa abordagem geral destes sistemas, sugere-se também o estudo de viabilidade de uma possível conversão dos sistemas de flares FL-7100 e FL-7200 num único sistema.

8.4 Apreciação final

O projecto decorreu de uma forma contínua e de acordo com os objectivos propostos desde início, demonstrando-se de elevado interesse para a RP e bastante proveitoso para mim, tanto a nível pessoal como a nível profissional.

A nível pessoal, criou a oportunidade de trabalhar numa indústria de grande interesse, aprendendo dinâmicas de trabalho e formas de comportamento perante novas situações. Como valorização profissional, foram vários os contributos, desde aprendizagem do funcionamento de todos os elementos pertencentes aos sistemas de flares e sistemas de descarga até à aquisição de competências a nível de simulação destes sistemas.

9 Bibliografia

Agri-Pro Ambiente, Porto Wind Rose, 2008.

Alves, F., *Sistemas de Flares*, Galpenergia, 2008.

American Petroleum Institute, API Standard 521 - Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems, Fourth Edition, 1997.

American Petroleum Institute, API Standard 520 - Sizing, Selection and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries, Seventh Edition, 2000.

Crosby Valve Inc., Pressure Relief Valve Engineering Handbook, 1997.

Charles, E., Baukal, J. *The John Zink Combustion Handbook*. Tulsa, Oklahoma: CRC Press, 2001.

Fisher, P., Brennan, D. Minimize Flaring with Flare Gas Recovery. *Hydrocarbon Processing*, 83-85, 2002.

Fluor, Flare System Study, 2008

Galp Energia 2009. Acedido em Junho de 2009, de Web site informação.press Galpenergia: <http://press.galpenergia.com/galpmedia/vPT>, 2009.

Hong, J., Fox, S., Patel, A., Baukal, C., Leary, K. *INNOVATIVE STEAM-ASSISTED FLARE TECHNOLOGY*. Tulsa, Oklahoma: John Zink Company, LCC, 2006.

Hydrocarbon Research, Inc., Project Specification FL-7101, 1967.

Leary, K., Knott, D., & Thompson, R. Water-injected Flare Tip Reduce Radiation Heat, Noise. *Oil & Gas Journal*, 2002 .

Peterson, J., Tuttle, N., Cooper, H., & Baukal, C. Minimize Facility Flaring. *Hydrocarbon Processing*, 111-115, 2007.

Société Foster Wheeler Française, Flare Systems, 197

Stone, D., Lynch, S., Pandullo, R., *Flares*, USA, 1995

Technip, Project Specification FL-7200, 1974.

The John Zink. Acedido em Junho de 2009, de Web site do John Zink: <http://www.johnzink.com>, 2009.

UOP, Project Specification FL-7201, 1974.

Anexo 1 Simulação - *Aspen Flare System Analyzer*

1.1 Condições de Simulação

Os métodos de cálculo foram os recomendados de acordo com a bibliografia, API-521 e com os do manual do *Aspen Flare System Analyzer* para simulações de sistemas de flares similares aos existentes na RP. As simulações efectuadas foram baseadas nos métodos de cálculo apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Métodos de cálculo usados pelo simulador *Aspen Flare System Analyzer* na simulação dos sistemas de flares.

Métodos						
Gerais Termodinâmicos		Estimativa Temperatura		Escoamento Fluídos		
Equilíbrio Líquido-Vapor	Entalpia	Equilíbrio Líquido-Vapor	Entalpia	Queda-Pressão	Perdas Localizadas	Factor Fricção
Gás Compressível	Gás Ideal	Peng Robinson	Peng Robinson	Gás Isotérmico	Miller	Chen

1.2 Estimativa das Composições dos Efluentes

O cálculo dos níveis de radiação da chama proveniente da queima dos efluentes nos fachos, envolve numa primeira etapa a determinação do calor de combustão. Assim sendo, recorreu-se às capacidades do simulador e foram obtidas as composições dos efluentes a queimar na cabeça da flare. Na Tabela 28 são apresentadas as estimativas feitas pelo simulador *Aspen Flare System Analyzer*.

Tabela 28 - Estimativa da composição dos efluentes a queima realizada pelo simulador *Aspen Flare System Analyzer*.

Estimativa da composição dos efluentes						
Sistema de Flares	FL-7100		FL-7200		Interligação FL-7100 e FL-7200	
MM (g/mol)	51,4		59,0		53,7	
Componentes	C ₃ H ₈	N-C ₄ H ₁₀	N-C ₄ H ₁₀	N-C ₅ H ₁₂	C ₃ H ₈	N-C ₄ H ₁₀
Composição	0,478	0,522	0,934	0,066	0,314	0,686

Anexo 2 Perfis de Pressão

As figuras seguintes apresentam os perfis de pressão nos colectores dos sistemas de flares com a introdução das novas unidades processuais.

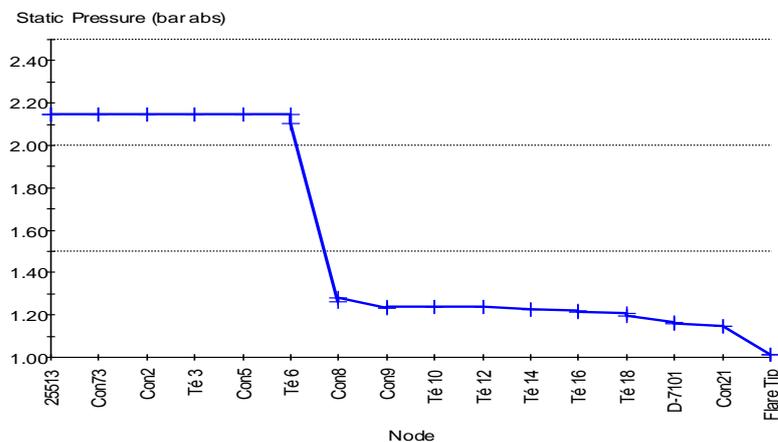


Figura 33 - Perfil de pressão no colector de baixa pressão do sistema de flare FL-7100.

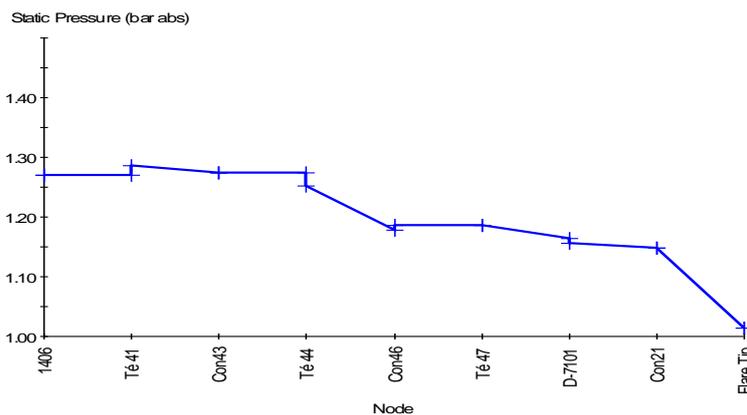


Figura 34 - Perfil de pressão no colector de alta pressão do sistema de flare FL-7100.

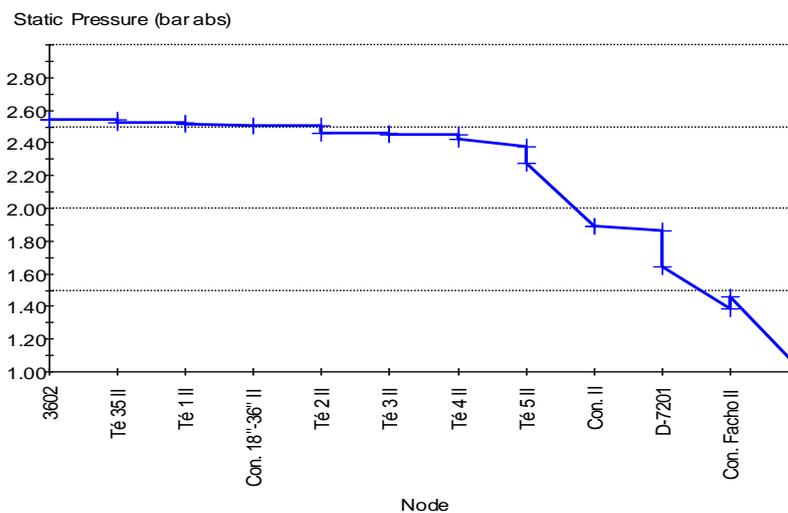


Figura 35 - de pressão no colector principal do sistema de flare FL-7200.

Anexo 3 Níveis de Radiação

O cálculo do nível de radiação provocada pela chama nas imediações dos sistemas de flares realizou-se seguindo o método descrito no API-521 (API, 1997).

A metodologia adoptada para o cálculo dos níveis de radiação é descrita por uma sequência de etapas.

Etapa 1 Cálculo da Estimativa do Comprimento de Chama

A determinação do comprimento de chama implica numa primeira fase a determinação do calor libertado na combustão dos efluentes na cabeça das flares (Equação A1).

$$W = H \times Q_m$$

(A1)

em que W é o calor libertado (kW), H é o calor de combustão(kJ/kg) e Q_m é o caudal mássico (kg/s). Com base no calor libertado calculado, estimou-se o comprimento de chama por interpolação a partir de informação apresentada na Figura 36.

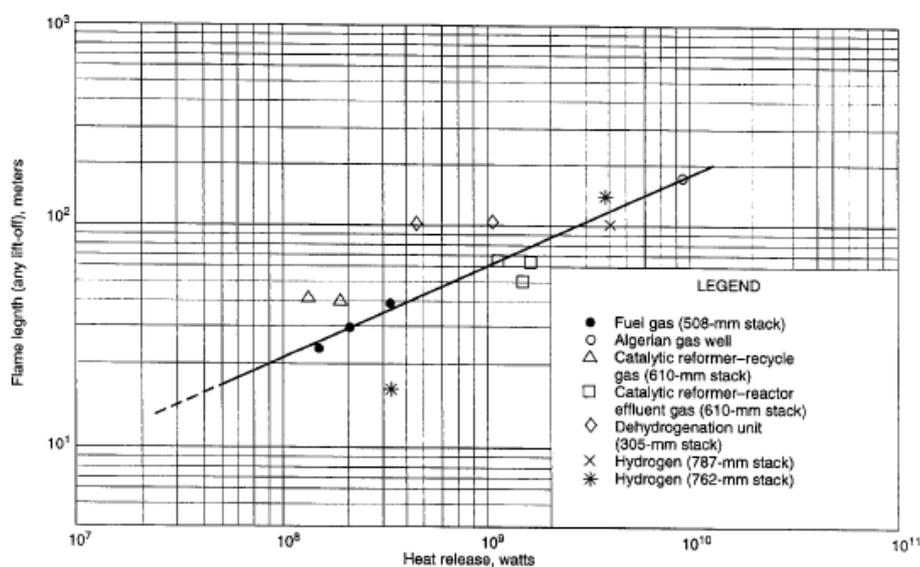
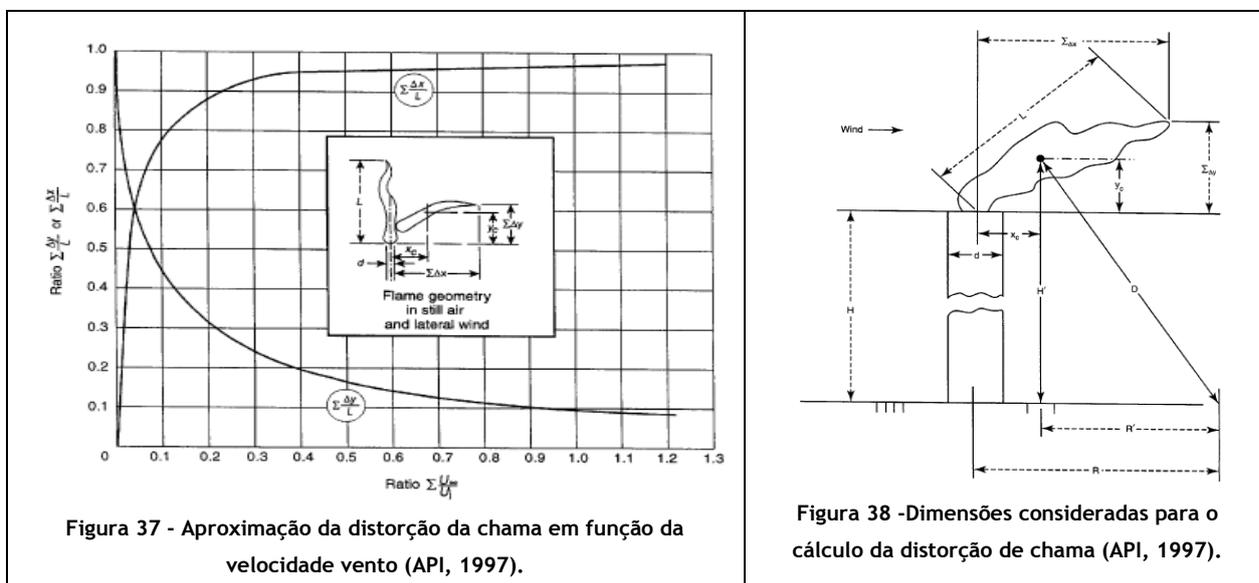


Figura 36- Comprimento de chama em função do calor libertado na combustão para vários tipos de combustíveis (API, 1997).

Etapa 2 - Cálculo Distorção Chama pelo Vento

A distorção da chama foi calculada tendo em consideração as duas principais direcções do vento na RP; Oeste e Este. Considerando a maior velocidade atingida por este vento, determinou-se a distorção da chama através da Figura 37:



sendo U_{∞} a velocidade do vento, U_j^9 a velocidade do gás à saída do facho, Δx a distorção na da chama na horizontal, Δy a distorção da chama na vertical e L o comprimento de chama. Considerando os valores de distorção de chama e as relações apresentadas na Figura 38 obteve-se a localização do centro de chama.

Etapa 3 - Cálculo da Radiação

Considerando a distância do centro de chama até ao local de estudo, recorreu-se-se às Equações A2 e A3 para o cálculo da radiação.

$$K = \frac{\tau FW}{4\pi D_r^2} \quad (\text{A2})$$

$$\text{com, } \tau = 0,79 \times \left(\frac{100}{r}\right)^{1/16} \times \left(\frac{30,5}{D_r}\right)^{1/16} \quad (\text{A3})$$

⁹ Calculada a partir do caudal volúmico de efluentes no topo no facho.

em que K é a valor de radiação (kW/m^2), F é a fracção de calor radiada (0,3), W é o calor libertado pela combustão (kW), D_r é a distância desde o centro da chama até ao ponto de medição (m), r é a percentagem de humidade relativa ($r=70\%^{10}$) e τ é a fracção de radiação transmitida através da atmosfera e (API-521, 1997).

¹⁰ Valor obtido pela Fluor (Fluor, 2008).

Anexo 4 Knock Out Drum Horizontal

A verificação da adequabilidade dos Knock Out Drums horizontais no processo de flexibilização foi estudada conforme descrito no API-521 (API, 1997). O modelo de cálculo apresentado no API-521 determina o comprimento mínimo necessário para a separação de fases gasosa e líquida dos efluentes, com base no tamanho de gota e no tempo de residência da fase gasosa no Knock Out Drum (t_r).

A metodologia adoptada no cálculo dos níveis de radiação segue uma sequência de etapas:

Etapa I - Determinação da Velocidade de Queda das Partículas de Líquido (U_c)

O cálculo da U_c implica, numa primeira fase, a determinação do coeficiente de arrasto (C). Este coeficiente é determinado a partir da Figura 7, após a determinação do parâmetro $C(Re)^2$ através da Equação A1.

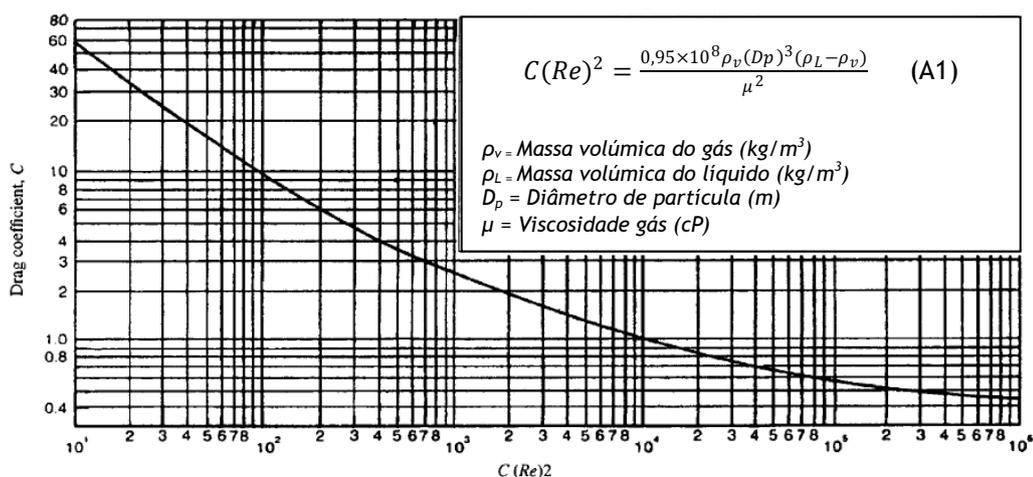


Figura 39 - Determinação do coeficiente de arrasto (C) (API, 1997).

A Massa volúmica e viscosidade do gás são obtidas a partir do simulador; O diâmetro de partícula e Massa volúmica do líquido são assumidos conforme descrito no Capítulo 5.

Assim, U_c é calculado pela Equação A4.

$$U_c = 1,15 \frac{\sqrt{gD(\rho_l - \rho_v)}}{\rho_v C} \quad (A4)$$

Em que g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

Etapa II - Determinação do Tempo de Queda das Partículas de Líquido (θ)

A determinação de θ obtém-se a partir do cálculo das áreas de secção do Knock Out Drum (exemplificadas na Figura 40 e descritas na Tabela 29).

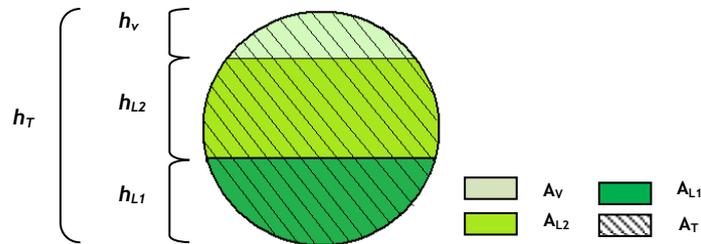


Figura 40 - Esquema exemplificativo das áreas de secção recta dos Knock Out Drum's horizontais.

As áreas respectivas calculam-se utilizando as equações mencionadas na Tabela 29. O processo de cálculo inicia-se arbitrando o diâmetro (D_c) e o comprimento (L) do Knock Out Drum.

Tabela 29 - Equações para o cálculo das áreas de secção recta no Knock Out Drum.

A_{SR}	Área secção recta do Knock Out Drum	$A_{SR} = \frac{\pi}{4} \times D_c^2$	(A5)
A_{L2}	Área secção parcial (associada à condensação)	$A_{L2} = \frac{F_v \times L_r}{L}$	(A6)
A_{L1}	Área secção parcial (fase líquida)	$A_{L1} = V/L$	(A7)
A_v	Área secção parcial (fase gasosa)	$A_v = A_T - (A_{L1} + A_{L2})$	(A8)

Nota: Os valores de volume de líquido no Knock Out Drum (V) e caudal volúmico da fase gasosa (F_v) foram assumidos conforme o descrito no Capítulo 5.

Com base nas áreas e nas relações geométricas para o cálculo de h_v , determina-se o tempo de queda das partículas de líquido pela Equação A9.

$$\theta = \frac{h_v}{U_c} \quad (A9)$$

Etapa III - Determinação do Comprimento Mínimo (L_{\min})

O cálculo do L_{\min} do Knock Out Drum obtém-se utilizando a Equação A10.

$$L_{\min} = U_v \times \theta \times N \quad \text{com, } U_v = \frac{F_v}{A_v \times N} \quad (A10) \quad (A11)$$

em que, U_v é a velocidade da fase gasosa no Knock Out Drum (m/s), N é o número de passagens de gás para o Knock Out Drum e F_v é o caudal volúmico da fase gasosa (m^3/s).

O processo de cálculo segue um processo iterativo até que o L arbitrado seja menor que o L_{\min} . Caso o L seja menor que o L_{\min} , o processo de cálculo retorna à Etapa I arbitrando novos valores de D e L .

Anexo 5 Refinaria do Porto

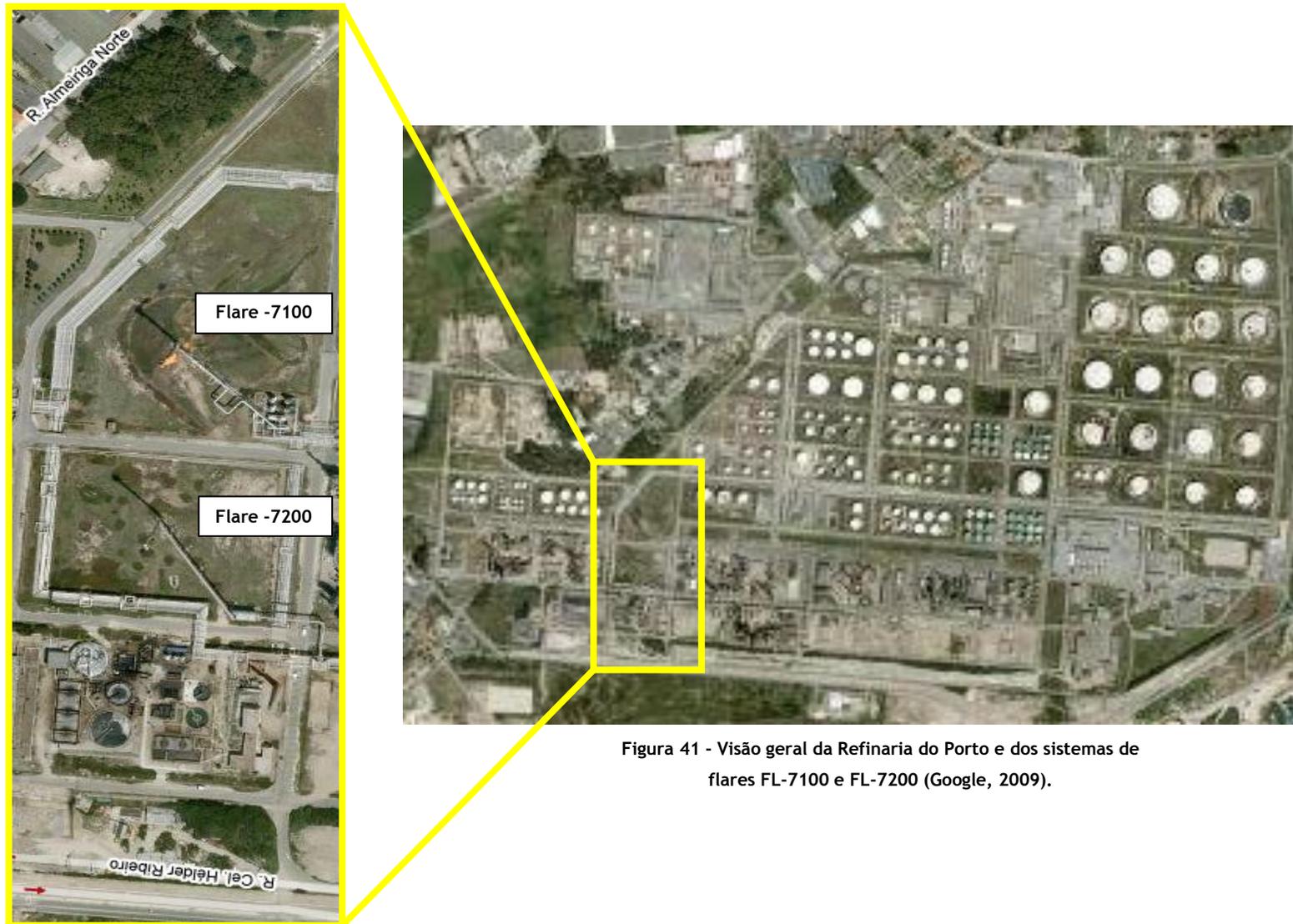


Figura 41 - Visão geral da Refinaria do Porto e dos sistemas de flares FL-7100 e FL-7200 (Google, 2009).