



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL



Gasodutos de Alta Pressão

CARLOS STUART NORONHA DA CUNHA SOARES

Licenciado em Engenharia Mecânica

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Eduardo Manuel Dias Lopes

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogal: Professora Doutora Inês Ascenso Pires

Novembro de 2009



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Gasodutos de Alta Pressão

CARLOS STUART NORONHA DA CUNHA SOARES

Licenciado em Engenharia Mecânica

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Eduardo Manuel Dias Lopes

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogal: Professor Doutora Doutora Inês Ascenso Pires

Novembro de 2009



AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos que deram o seu contributo para que esta dissertação fosse realizada, a quem deixo o meu sincero agradecimento.

Agradeço ao Professor Dias Lopes pela forma como orientou o meu trabalho. As notas dominantes da sua orientação reflectiram-se nas suas recomendações, assim como na cordialidade e disponibilidade sempre presente.

Estou grato pela liberdade de acção que me facultou, que foi decisiva para que este trabalho contribuísse para o meu desenvolvimento pessoal.

De igual forma agradeço aos meus colegas de trabalho quer do Instituto de Soldadura e Qualidade quer da REN Gasodutos, cujo material de pesquisa disponibilizado, foi determinante para a construção da exposição deste tema.

Deixo também uma palavra de agradecimento aos professores do Mestrado, pela forma como leccionaram e por me terem transmitido o interesse por estas matérias. São também dignos de uma nota de apreço os colegas de grupo que me acompanharam neste projecto pela boa disposição com que realizámos os muitos trabalhos em comum.

Por último e não menos importante um sentimento de enorme gratidão aos meus familiares mais próximos, cujo suporte emocional é incondicional e único.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

RESUMO

A presente dissertação expõe o trabalho desenvolvido ao longo do estágio de natureza profissional, integrado no curso de Mestrado de Engenharia Mecânica – Perfil de Manutenção e Produção.

Sob uma orientação bem definida, a principal motivação deste trabalho consistiu na análise de eficácia dos métodos do projecto, construção e instalação dos gasodutos de gás natural em conformidade com os códigos e normas aplicáveis, de forma a verificar se a sua integridade pode ser eficazmente monitorizada pelas diversas técnicas de inspecção executadas.

No presente documento é inicialmente abordado o impacto do gás natural nos tempos actuais, seguidamente é descrita a metodologia adjacente aos processos de construção em que se incluiu a análise de um aço para o fabrico de tubagens.

Seguidamente é efectuada a descrição das etapas no terreno que constituem a construção de um gasoduto, designadamente a: Abertura de Pista, Alinhamento de Tubagem, Colocação do Tubo à Vala, Curvatura de Tubos, Atravessamentos, Soldadura, Controlo Não Destrutivo, Revestimento, Ensaios diversos (Dieléctricos, Resistência Mecânica, Estanquidade), Cobertura da Vala, Protecção Catódica, Sinalização e Instrumentação (e.g.: SCADA). Posteriormente são descritas as técnicas de inspecção.

Posteriormente são analisadas as técnicas de inspecção mais utilizadas em fase de exploração de um gasoduto, considerando a inspecção a sistemas de Protecção Catódica, a inspecção interna por PIGs e a inspecção por Ondas Guiadas.

Sob uma lógica de constante evolução tecnológica torna-se imperativo adaptar os actuais processos de construção a sistemas onde a optimização ao nível dos materiais (aços) pode constituir uma mais-valia para o projecto, pelo que é efectuada uma análise de abordagem futura para os gasodutos.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

A instalação de um gasoduto obedece ao complexo cumprimento das diversas etapas, sendo a fiabilidade de cada actividade determinante para o sucesso das fases subsequentes.

Foi dada uma especial atenção à Protecção Catódica, tendo-se demonstrado que esta técnica é actualmente um dos meios mais eficazes para atenuar e prevenir a degradação por corrosão, pois este é o mecanismo de falha mais premente.

A adopção de novos aços poderá traduzir-se numa redução de recursos materiais na construção e redução dos custos associados.

Um gasoduto é uma infra-estrutura ainda em constante dinamismo. A evolução tecnológica ao nível dos materiais tem efeitos práticos no cálculo, construção e exploração reflectindo a optimização dos processos e a satisfação das necessidades energéticas, por via da inovação nos gasodutos de alta pressão.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

ABSTRACT

This thesis presents the results of a training project, held in the Master in Science Degree of Mechanical Engineer course – Maintenance and Production branch.

Under a defined strategy, this thesis first goal was to achieve a relationship in between the detailed design, installation and commissioning procedures of the transmission gas pipelines, and the applicable codes and standards, thus proving its integrity effectiveness over the extended life of a gas pipeline, hence monitored by the suitable inspection techniques.

The thesis exposes the nowadays impact of the natural gas, therefore describes the technical framework over the pipelines construction methods and steel evaluation for the manufacture of the pipes.

Furthermore, it is presented the several pipeline installation activities, such as: Excavation, Pipe Lining, Pipe installation, Bends, Crossings, Welding, Non Destructive Tests, Coating, Tests (Holiday Test, Hydrostatic Test, Pressure Test), Pipe Backfill, Cathodic Protection, Test Posts and Wiring (e.g.: SCADA).

Supplementary, there is a description of the inspection techniques that are mostly applied on the commissioning phase, namely the Cathodic Protection, inspection PIG's and Guided Waves inspection technique.

Under a constant evolution, the update of the construction methods is mandatory, where the new raw materials enhancement, achieving practical effects at the design stage, hence there is composed a forecast of the materials to be selected for the new pipelines.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

A pipeline asset has to comply towards several procedures, where each the feasibility of each phase will ensure the success of the forward activity.

There is given a special concern to the Cathodic Protection subject, to exhibit that this technique is currently one of the most effective means to mitigate and prevent corrosion, as this is the major cause of failure.

The manufacture of a new class of steels may provide a cost reduction on the parent materials, on site pipeline erection and on the overall costs.

A pipeline is an asset with a dynamic and permanent upgrade. The background and foreground knowledge of new raw materials has practical developments on the design, pipeline erection and commissioning, thus displaying the processes optimization and the achievements of the energy needs, ensuring the innovation on the gas pipeline activity.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

INTRODUÇÃO

Um gasoduto é talvez uma das formas mais eficientes de transporte de um produto de potencial energético. A exploração do gás natural remonta a meados do século XX, pelo que a construção de gasodutos pode ser classificada como uma infra-estrutura recente.

No estágio que durou cerca de dois anos, o aluno pretendeu explorar as fases de selecção de materiais (aços) a utilizar, descreve as etapas de construção e as técnicas de inspecção ou avaliação da condição, onde o aluno teve intervenção directa.

De referir que para o presente trabalho, o aluno nem sempre exprimiu as unidades no Sistema Internacional, ao invés, utilizou as unidades expostas nas fórmulas pela transcrição directa destas, constantes nos documentos de consulta (e.g.:API 5L).

No que concerne à apresentação dos dados estatísticos, regista-se a recolha destes em anos anteriores a 2007. Tal deve-se ao facto de a presente dissertação ter tido início em Fevereiro de 2008, sendo que os dados estatísticos oficiais disponíveis na altura datavam de anos imediatamente anteriores.

Ao longo do texto, há três conceitos que deverão ser lidos na sua definição objectiva. Por tubo entende-se a peça singular, isto é, uma estrutura de comprimento médio de 12 metros. Por tubagem, entende-se o conjunto de tubos soldados. Por gasoduto, entende-se o sistema de tubagens compreendendo todos os elementos constituintes (e.g., válvulas, juntas isolantes, dispositivos de protecção); a clarificação destes conceitos é importante para a exposição do tema desta tese.

As fotografias que constam deste trabalho e que não apresentam referência à fonte, são da autoria do discente, uma vez que desenvolve actividades profissionais enquadradas no âmbito da tema desenvolvido (utilizando para o presente relatório imagens de projectos onde esteve directa ou indirectamente envolvido), mas que são propriedade sua.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

A dissertação permitiu ao aluno que exerce actividades profissionais no âmbito da tema analisado, (inspecção em gasodutos de transporte de gás natural), a adequação dos conceitos da engenharia explorados no Mestrado, à simultânea aplicação dos conhecimentos adquiridos em ambiente real, tendo permitido pela complexidade da abordagem, a identificação fundamentada de áreas para investigação futura nesta área bastante actual.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

PALAVRAS – CHAVE:

Gasodutos; Gás Natural; Materiais; Soldadura; Energia.

KEYWORDS:

Pipelines; Natural Gas; Materials; Welding; Energy.



ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iv
INTRODUÇÃO	vi
PALAVRAS – CHAVE:.....	viii
KEYWORDS:	viii
ÍNDICE GERAL.....	ix
LISTA DE SIGLAS	xii
GLOSSÁRIO	xiii
1. GASODUTOS.....	1
1.1 Gás Natural – Conceitos Gerais.....	1
1.2 Indicadores Gás Natural	4
1.2.1 Consumos das Várias Fontes de Energia	4
1.3 Reservas do Gás Natural.....	6
1.4 Consumo do Gás Natural.....	7
1.5 Preço do Gás Natural	8
1.6 Indicadores Nacionais do Gás Natural.....	9
1.7 Sistema de Transporte do Gás Natural.....	10
1.7.1 Sistema de Transporte Internacional do Gás Natural	10
1.7.2 Rede de Transporte Nacional de Alta Pressão.....	13
2. CONSTRUÇÃO DA TUBAGEM DE GN EM FÁBRICA	15
2.1 Aplicação de Materiais	15
2.2 Processos de Soldadura	19
2.2.1 Processos de Soldadura em Fábrica.....	19
2.2.2 Classificação dos Fluxos.....	21
2.2.3 Classificação dos eléctrodos.....	21
2.2.4 Binário Fio Fluxo.....	22
2.2.5 Classificação Internacional dos Consumíveis	22
2.3 Preparação e Protecção de Superfícies	23
2.3.1 Dimensões e Tolerâncias	23
2.3.2 Preparação de Superfície.....	24



ISEL

2.3.3	Revestimento Externo	25
2.3.4	Revestimento Interno	26
2.4	Controlo Não Destrutivo	27
2.5	Ensaio Hidrostáticos	28
2.6	Recepção de Tubagens Pré-Fabricadas	30
2.6.1	Marcação.....	30
2.6.2	Recepção em Fábrica	31
3.	PROCESSO DE MONTAGEM DE GASODUTOS DE ALTA PRESSÃO.....	33
3.1	Abertura de Pista.....	33
3.2	Alinhamento da Tubagem	35
3.3	Abertura de Vala	36
3.4	Curva de Tubos	37
3.5	Atravessamentos.....	40
3.6	Soldadura	41
3.7	Ensaio Não Destrutivos	45
3.7.1	Radiografia	45
3.7.2	Magnetoscopia	48
3.7.3	Líquidos Penetrantes.....	49
3.7.4	Ultra – Sons.....	50
3.8	Revestimento.....	51
3.9	Ensaio ao Gasoduto	52
3.9.1	Ensaio de Resistência Mecânica e Estanquidade	52
3.10	Ensaio Dielétrico.....	55
3.11	Protecção Catódica.....	56
3.12	Cobertura de Vala	57
3.13	Estações de Regulação e Medida.....	59
3.14	Instrumentação.....	61
3.15	Sinalização do Gasoduto	62
4.	TÉCNICAS DE INSPECÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE GASODUTOS	64
4.1	Protecção Catódica	64
4.1.1	Acção da Protecção Catódica e o controlo da Corrosão.....	67
4.1.2	Limite de Protecção	67
4.1.3	Tipos de Sistemas de Protecção Catódica	69
4.1.3.1	Sistema de Protecção Catódica por Ânodos de Sacrifício.....	69
4.1.3.2	Sistema de Protecção Catódica por Correntes Impressas	70



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

4.2	Técnicas de Inspeção de Protecção Catódica em Gasodutos.....	71
4.2.1	Técnica DCVG	71
4.2.2	Técnica CIPS	75
4.3	Inspeção Interna “PIGS”	77
4.4	Inspeção “Guided Waves”	79
5.	CARACTERIZAÇÃO DE AÇOS.....	82
5.1	Adopção de novo aço para construção de tubagem.....	87
5.2.1	Caracterização do aço X100	88
6.	DISCUSSÃO	92
7.	CONCLUSÕES	94
8.	BIBLIOGRAFIA	96
9.	NOTA BIOGRÁFICA	106



LISTA DE SIGLAS

API – American Petroleum Institute.

PEAD – Polietileno de Alta Densidade.

ASME – American Society of Mechanical Engineers.

PC – Protecção Catódica.

ASME – American Society of Mechanical Engineers.

PK – Ponto Quilométrico.

CEN – Comissão Europeia de Normalização.

TP – Tomadas de Potencial.

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia.

SCADA – Sistema de Comunicação e Aquisição de Dados. Permite a monitorização do sistema.

END – Ensaios Não Destrutivos.

EPC – Estação de Protecção Catódica.

FEM – Força Electromotriz

GRMS – Estação de Redução e Medida de Gás (Ground Reduce Metering Station)

JCT – Estação de Redução de Gás (Junction Cable Transmission).

JI – Junta Isolante.

LEAT – Linhas Eléctricas de Alta Tensão.



GLOSSÁRIO

Dono de Obra – Entidade concessionária da infra-estrutura de gás natural. Entidade adjudicatária.

Comissionamento – Após pressurização das instalações com gás natural, execução de todos os ensaios e verificações realizadas para entrada em serviço da tubagem de gás.

Factor de segurança – Factor utilizado no cálculo durante a fase de projecto. No caso particular do cálculo de espessuras de tubagens, este facto é definido pelo código ASME B31.8.

Fibra óptica - Filamento de vidro com capacidade de transmitir ondas electromagnéticas, para transporte dos parâmetros de operação do gás natural (caudal, pressão, volume, protecção catódica, e outros).

Fim-de-linha – Ponto terminal do gasoduto.

Inspeção – Processo de medida, examinação, teste, aferição ou outra forma de determinar o estado dos meios técnicos e humanos adoptados, comparando-os com os requisitos aplicáveis.

Linha – Conjunto de tubagens ligadas entre si, dispostas no terreno de acordo com o projecto de construção.

Material de adição – Composição química do eléctrodo, utilizado no processo de soldadura.

Metal Base – Corpo do elemento a ser soldado. Tubagem.

Ponto de entrega – Ponto de abastecimento do gasoduto a um determinado cliente.



Gasoduto – Sistema de tubagens compreendendo todos os elementos constituintes (válvulas, juntas isolantes, dispositivos de sobre-protecção, e outros).

Soldadura de garantia – Soldadura de ligação de vários troços soldados entre si; última soldadura de um determinado troço instalado.

Temperatura Inter-passes – Temperatura mínima requerida, medida entre as operações de soldadura.

Temperatura Pré-aquecimento – Temperatura definida para aquecimento de um aço antes do início das actividades de soldadura.

Tomadas de Potencial – Poste que permite a recolha de leituras relativas aos valores da Protecção Catódica.

Tubo – Estrutura tubular compreendendo aproximadamente 12 metros de comprimento.

Tubagem – Conjunto de tubos soldados entre si.

Traçado – Desenho de construção / perfil de instalação da tubagem.

Pipeline – Tubagem de Gás.

$V_{instOFF}$ – Potencial de polarização que a tubagem retém, medido um segundo após a interrupção de energia no sistema.

V_{OFF} – Potencial com o sistema de Protecção Catódica desligado.

V_{ON} – Potencial com o sistema de Protecção Catódica Energisado.

Zona Termicamente afectada – Zona cuja estrutura apresenta propriedades muito particulares, face ao material base / material de adição.



1. GASODUTOS

Gasodutos são tubagens de grande diâmetro utilizadas para efectuar o transporte e fornecimento de gases combustíveis.

A ligação dos diversos troços constitui um sistema de tubagens ao qual se encontra associada a designação de Gasoduto. Este por sua vez, deriva em subsistemas que abastecem os centros de consumo, constituindo as Redes de Transporte.

De entre os vários gases combustíveis empregues nos gasodutos, constitui particular relevância o transporte do Gás Natural, GN.

1.1 Gás Natural – Conceitos Gerais

O GN encontra-se no subsolo, por acumulações em rochas porosas, isoladas do exterior por rochas impermeáveis, associadas ou não a depósitos de petróleo. É o resultado da transformação anaeróbica da matéria orgânica oriunda de quantidades extraordinárias de micro organismos que, há muitos milhares de anos, se acumularam no litoral de costas marítimas.

Essa matéria orgânica foi soterrada a grandes profundidades tendo a sua degradação ocorrido fora do contacto com o ar, a grandes temperaturas e pressões elevadas.

O GN é assim extraído de jazidas¹ naturais subterrâneas cobertas por estratos impermeáveis que impedem a sua saída para o exterior e permitem a transformação anaeróbica. A formação do GN nas jazidas subterrâneas é, desta forma o resultado da decomposição de sedimentos naturais ao longo do tempo.

A extracção deste produto constitui por isso a primeira forma de energia da qual resulta o GN.

¹ Jazidas são bolsas onde se encontra uma concentração local ou massa individualizada de uma ou mais substâncias úteis que contenham valor económico, localizadas no interior da Terra.

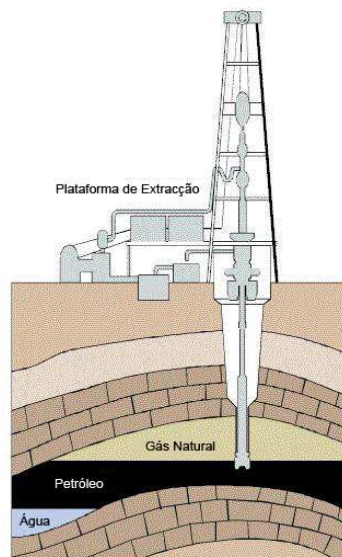


Figura 1 – Representação esquemática da extração do gás natural^{2[33]}

Pode classificar-se o GN como uma mistura de hidrocarbonetos^[10] e outros compostos de menor quantidade, existentes em estado gasoso ou em solução com o petróleo bruto em reservatórios naturais subterrâneos.

O seu principal constituinte é o metano (superior a 70%), destacando-se entre os restantes constituintes o metano, o propano, o oxigénio, o azoto e o enxofre. Fisicamente trata-se de um gás com uma massa volúmica de $0,84 \text{ kg/m}^3$ e uma densidade relativamente ao ar de 0,65.

Esta característica confere-lhe uma razoável segurança em caso de fuga, pelo seu rápido escoamento ascensional. O poder calorífico superior³ (PCS), depende da proveniência do gás variando entre $9\,000 \text{ kcal/m}^3$ e $12\,000 \text{ kcal/m}^3$. Dado o peso relativo do hidrogénio, o poder calorífico inferior³ (PCI) é cerca de 10% inferior ao PCS.

² Imagem modificada de documentação ISQ.

³ O Poder Calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa (ou de volume no caso dos gases) libertada na oxidação de um determinado combustível. Existem duas formas de considerar o poder calorífico: Poder Calorífico Superior (P.C.S) e Poder Calorífico Inferior (P.C.I).

O P.C.S é dado por a soma da energia libertada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reacção de oxidação.

O P.C.I é a energia libertada na forma de calor.



ISEL

O GN é preferível face a outros combustíveis fósseis, como o petróleo ou o carvão. Dado que possui um teor mais baixo em carbono, compostos de enxofre e outros elementos como o hidrogénio, este combustível apresenta-se mais limpo e energeticamente mais eficiente.

A sua menor contribuição para a degradação da camada do ozono e menor efeito de estufa revertem-se em vantagens adicionais, face a outras fontes de energia.

A adição de uma substância odorante⁴, introduzida no gás natural inodoro, permite mais facilmente a detecção de eventuais fugas deste combustível e aumenta o nível de segurança na sua utilização.

Realizada a refinação deste composto, procede-se ao seu transporte e distribuição em tubagens de grande diâmetro, em aço carbono, numa construção totalmente soldada, vulgarmente designada por **Gasodutos**.



Figura 2 – Vista geral de gasoduto em Norte de África⁵

⁴ O gás natural é odorado em conformidade com o legislado. Limiar de detecção 1/5 LII. A substância utilizada como agente odorante do Gás Natural é o Tetrahidrotiofeno (THT).

⁵ Todas as imagens fotográficas sem identificação de fonte, são da autoria do discente, recolhidas no âmbito da sua actividade profissional.



ISEL

1.2 Indicadores Gás Natural

1.2.1 Consumos das Várias Fontes de Energia

Actualmente o GN satisfaz aproximadamente um quarto das necessidades mundiais de energia primária e após mais de duas décadas de crescimento estável e sustentado, apresenta ainda um significativo potencial de expansão⁶. O desenvolvimento tecnológico, quer no campo da exportação, produção e transporte, quer ao nível das aplicações, a opção política dos países para reduzirem a sua dependência face ao petróleo, a menor emissão de CO₂ para a mesma energia produzida e sobretudo, o preço competitivo, são alguns dos principais factores que têm vindo a impulsionar o desenvolvimento da indústria gasista em todo o mundo. No actual panorama energético mundial, o GN encontra-se em terceiro lugar no crescimento da procura face a 2005. A nível Europeu, o GN encontra-se actualmente em segundo lugar entre as energias primárias que maior procura obteve, logo atrás do petróleo.

Como se pode observar no gráfico seguinte, o carvão continua a ser a matéria mais utilizada na produção de energia, com 3090 Mtoe⁷, o que corresponde a um crescimento de 4,5 % face ao consumo de 2005.

⁶ Segundo a A.T. Kearney, a procura de gás natural líquido vai triplicar até 2020. A British Gás e a Qatar Petroleum serão os maiores investidores em terminais de regaseificação com 1.600 e 1.000 milhões de euros, respectivamente.

Em Portugal a REN Gasodutos prevê que a procura do gás duplique nos próximos seis anos, passando dos actuais 4 mil milhões de metros cúbicos para os 7 mil milhões de metros cúbicos. A REN tem previsto um plano de investimentos até 2012 de 330 milhões de euros para o GN e de 1,3 mil milhões de euros para a electricidade.

⁷ Mtoe – unidade designada “Milion Tones oil equivalent”, o que corresponde a milhão de toneladas do produto analisado. Designação do relatório “BP sustainability report 2007”.



ISEL

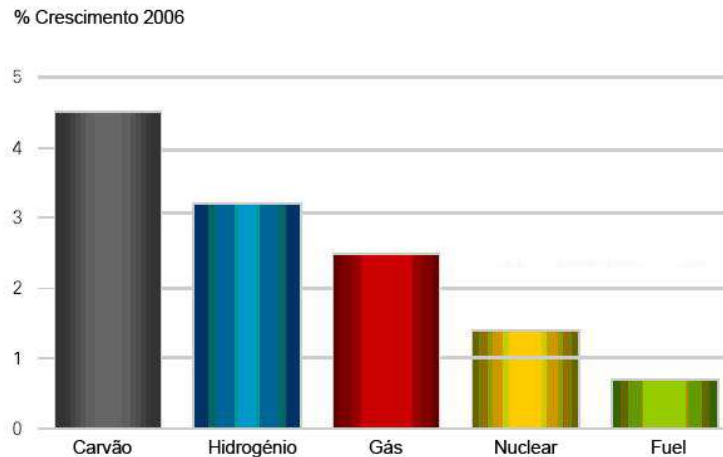


Gráfico 1 – Consumo Mundial das principais fontes de energia ^[11]

O hidrogénio obteve um consumo de 3040 TWh em 2006, o que corresponde a um crescimento na procura de 3,2 % face ao ano transacto.

Em 2006, o Gás Natural registou um consumo de 2574 Mton, o que corresponde a um aumento na procura em 2,5% face à procura registada em 2005.

A energia nuclear apresenta um consumo de 2006, de 2808 TWh, ao qual corresponde um aumento de 1,4% na procura face ao ano anterior.

O fuel, apesar de apresentar um consumo de 3889 Mton regista um aumento na procura de apenas 0,7%, pelo que é notória a tentativa de redução da dependência do petróleo^[11], reflectindo também compromissos assumidos dos estados com União Europeia, dada a abolição do fuel estar prevista até ao ano de 2012.



ISEL

1.3 Reservas do Gás Natural

De acordo com o Gráfico 2 ^[11] seguidamente apresentado é visível o volume de reservas de GN e sua distribuição pelo mundo.

O Médio Oriente conjuntamente com a Europa constituem as zonas do globo que mais reservas acumulam em GN.

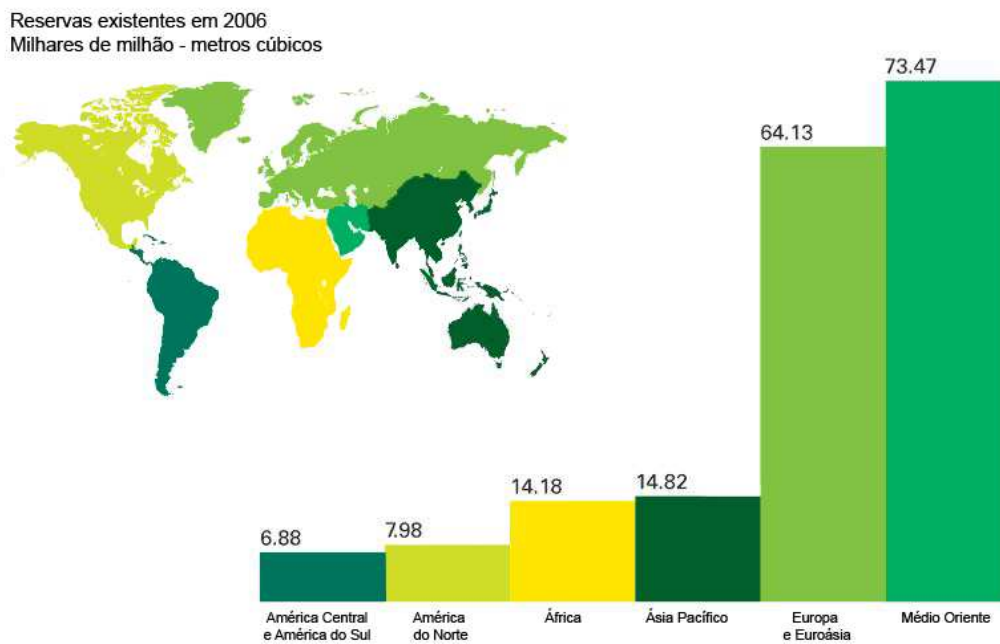


Gráfico 2 – Reservas mundiais do gás natural ^[11]



ISEL

1.4 Consumo do Gás Natural

De acordo com os indicadores facultados pela BP – British Petroleum^[11], pode-se afirmar que o consumo mundial de GN tem vindo a registar uma consecutiva progressão.

Em 2006 o consumo de GN registou um aumento na ordem dos 2,5%, tendo a Rússia contribuído em cerca de 40% para o consumo mundial. Seguidamente é a Ásia que regista um considerável aumento na procura do GN. O consumo nos Estados Unidos e no Reino Unido, é o que mais estabilizou nos últimos anos, muito em virtude de uma política de construção de gasodutos e de alimentação a centrais de ciclo combinado, já concretizada ao longo dos últimos anos.

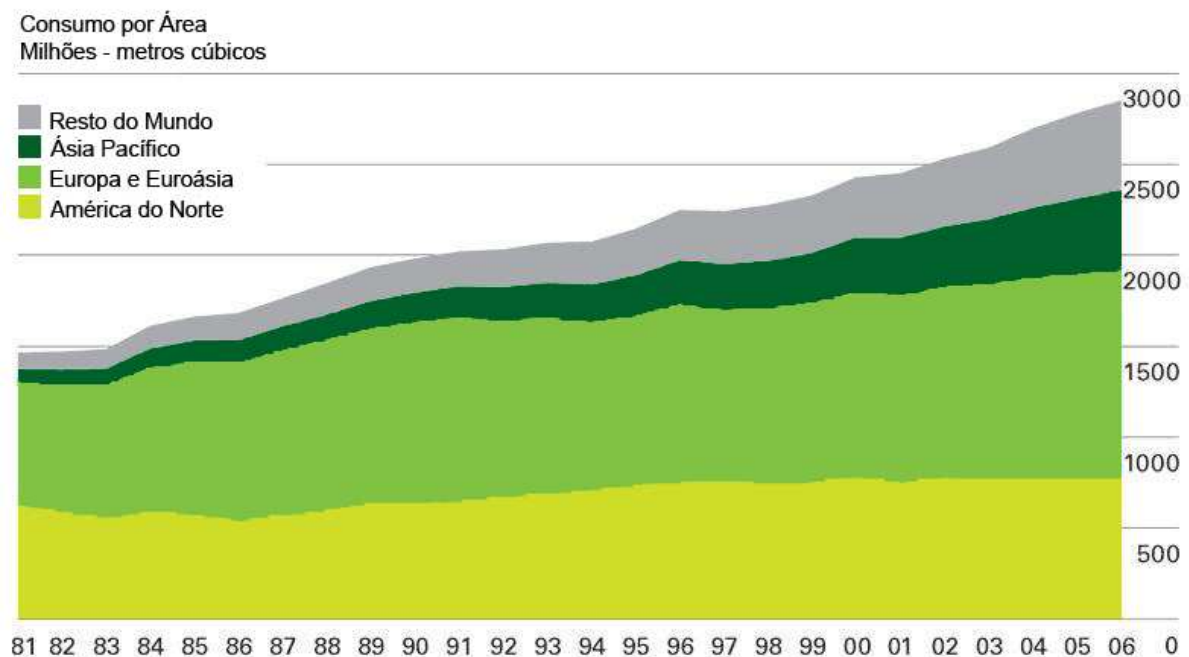


Gráfico 3 – Consumos Mundiais do gás natural ^[11]



ISEL

1.5 Preço do Gás Natural

Com a actual crise de subida do preço do petróleo ao qual o GN está associado, é interessante observar a curva de preços do Gás Natural desde 1994 a 2006⁸, apresentada no Gráfico 4.

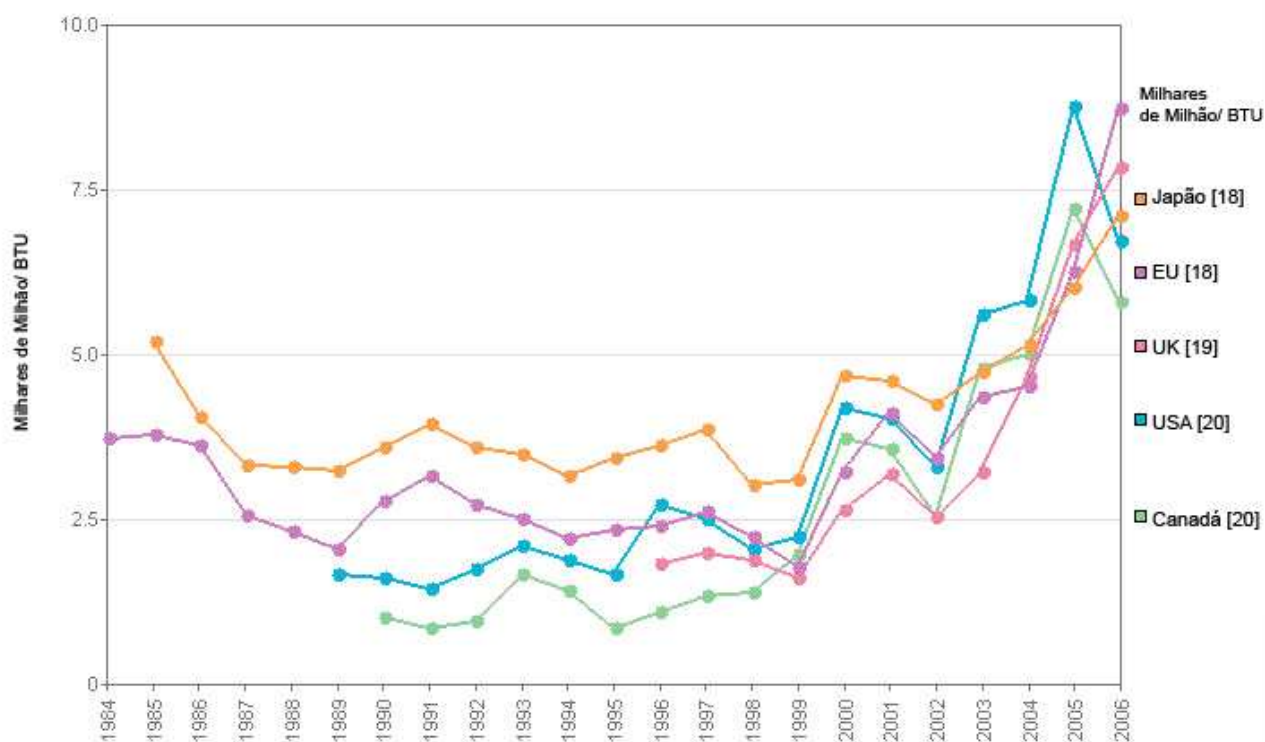


Gráfico 4 – Evolução de preços do gás natural no mundo^[11]

⁸ O mercado do GN é relativamente rígido, devido à indexação do seu preço, aos contratos de entrega a longo prazo e ao seu encaminhamento por gasoduto. De acordo com dados recolhidos no “Green paper energy supply” da Comissão Europeia, prevê-se que o preço do GN aumente 20% entre 2007 a 2010.



ISEL

1.6 Indicadores Nacionais do Gás Natural

O mercado Nacional ^[35] tem vindo a registar uma coerente crescida no consumo do GN. De acordo com dados facultados pela DGE registam-se um progressivo aumento ao longo dos últimos anos. Em 1997, ano que marca a introdução do gás natural em Portugal, para o caso dos clientes domésticos o preço do metro cúbico era vendido a 50 cêntimos e hoje custa 71,5 cêntimos, ou seja, subiu 43% em 8 anos. Nesse mesmo período o preço do petróleo de Brent aumentou 364,3%, de um preço médio de 14 dólares o barril em 1999 para 65 dólares o barril em 2007.

Em Portugal a Galp Energia comercializou em 2006, 3856 mil milhões de metros cúbicos de GN.

CONSUMO DE GÁS NATURAL POR CONCELHO DE 2001 A 2006 [conversões](#)
unidade: 10⁹Nm³

		2001	2002	2003	2004	2005	2006
CONTINENTE		2.410.974	2.932.833	2.827.960	3.542.518	4.014.832	3.856.270
DISTRITO							
CONCELHO	codigo						
AVEIRO	01	277.658	296.485	292.815	297.623	304.839	313.050
BEJA	02					293	742
BRAGA	03	130.189	159.242	167.695	180.789	183.174	198.931
BRAGANÇA	04	532	899	1.667	2.552	3.885	4.865
CASTELO BRANCO	05		1.487	4.814	7.211	9.113	11.622
COIMBRA	06	184.183	185.167	204.194	196.326	198.861	201.909
ÉVORA	07		369	2.073	2.787	3.288	3.608
FARO	08		199	713	1.054	1.733	4.304
GUARDA	09		126	1.244	2.454	3.390	4.058
LEIRIA	10	192.004	210.118	239.962	280.168	291.225	291.685
LISBOA	11	369.420	562.985	606.795	1.083.048	1.333.746	1.476.020
PORTALEGRE	12	18.808	14.504	16.848	19.917	23.533	25.618
PORTO	13	1.155.712	1.370.343	1.114.325	1.253.879	1.303.587	925.496
SANTARÉM	14	6.482	15.611	38.163	51.250	69.014	75.448
SETÚBAL	15	67.201	82.610	121.995	143.145	219.622	228.731
VIANA DO CASTELO	16					41.297	62.700
VILA REAL	17	2.554	2.822	2.718	3.596	5.886	6.320
VISEU	18	6.231	9.426	11.939	16.719	18.346	21.173

Gráfico 5 – Consumo de gás natural por concelhos do País ^[16]



ISEL

1.7 Sistema de Transporte do Gás Natural

1.7.1 Sistema de Transporte Internacional do Gás Natural

O sistema mundial de transporte de Gás Natural é composto por tubagens de aço ao carbono (API 5L^[2]), representando estas 97,5% das tubagens de gás existentes⁹. O sistema de transporte de Gás permite a conjugação de uma política energética à escala global, otimizando assim os recursos e a sua distribuição gerando energia de uma forma eficaz, segura e menos poluente.

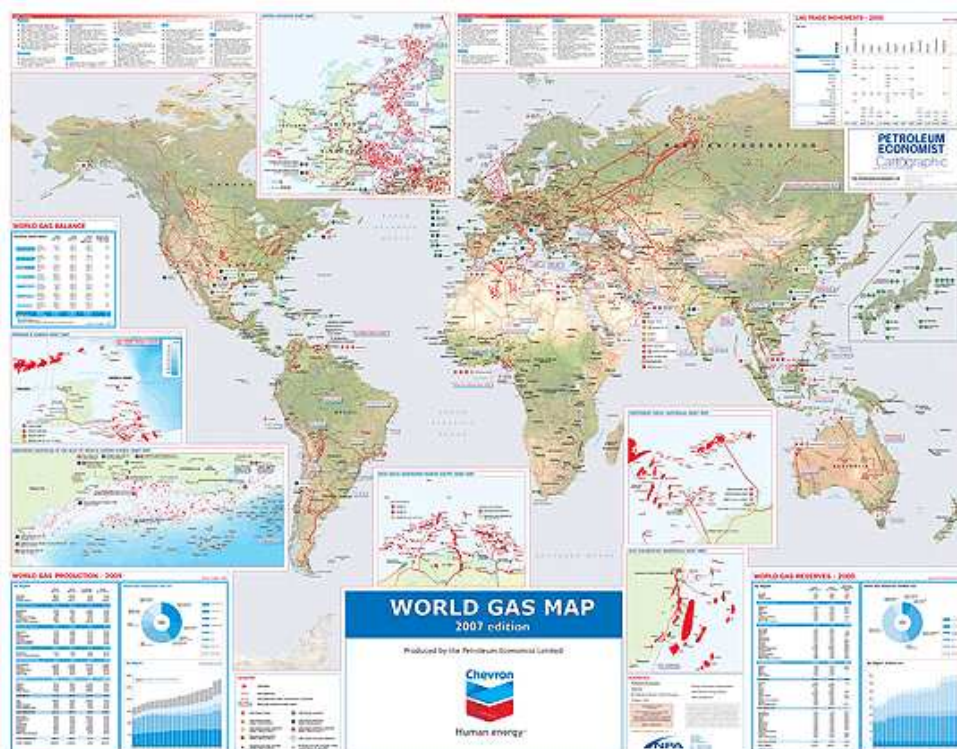


Figura 3 – Rede de Transporte Mundial de gás natural

⁹ Os restantes 2,5% correspondem a tubagens de polietileno, mais vulgarmente utilizadas na distribuição de gás (Pressões de serviço inferior a 6bar).



ISEL

O sistema Europeu consiste numa rede de gasodutos interligada pelos diversos países, em que estes assumem entre si uma relação mútua de cliente e fornecedor, i.e., qualquer país tem esta dupla função, dependendo da capacidade armazenada e da sua posição geográfica resultando tal, na constituição de rotas de maior optimização no transporte e distribuição de G.N., idêntica à rede europeia de fornecimento de energia eléctrica.



Figura 4 – Rede Europeia de Transporte de gás natural ^{10 [31]}

10 Imagem modificada e actualizada a partir de documentação ISQ.



ISEL

Realidade idêntica se verifica a nível Ibérico, onde o gasoduto nacional tem o seu início em Campo Maior¹¹, oriundo da província de Huelva. Complementarmente, Portugal abastece a cidade Espanhola de Vigo fechando assim um anel Ibérico (ver Figura 5).

O gás fornecido a Portugal é oriundo de jazidas Argelinas¹² abastecendo o nosso País através de um sistema de gasodutos proveniente do Norte de África. Desde 2003, o Gás Natural Liquefeito (GNL) é simultaneamente fornecido a Sines, com proveniência nomeadamente da Nigéria¹³.



Figura 5 - Proveniência de gás natural em território nacional ¹⁴[33]

11 A Estação de Gás Natural que abastece Portugal é a Estação GRMS 7009 da REN Gasodutos, localizada em Campo Maior.

A Estação de Gás Natural que abastece Vigo é a Estação CTS 6000 da REN Gasodutos, localizada em Valença.

12 Jazidas de Hassi R Mell, exploradas pela Sonatrach – Argélia.

13 O gás natural liquefeito proveniente da Nigéria chega a Sines por via marítima em navios metaneiros, sendo posteriormente armazenado em dois tanques com a capacidade de 120 mil metros cúbicos cada.

14 Imagem modificada e actualizada a partir de documentação ISQ.



Actualmente, as importações do gás consumido em Portugal (para produção de energia, consumo à indústria e consumo privado) provêm em 66% da Nigéria (através do Terminal de Sines) e 34% da Argélia (através do Pipeline do Maghreb - Badajoz)¹⁵. Destas duas entradas de gás em Portugal, Sines tem uma capacidade de 5,8 mil milhões de metros cúbicos, enquanto que o terminal do Maghreb tem uma capacidade de 9 mil milhões de cúbicos^[24]. A capacidade do terminal de Sines está abaixo da sua capacidade de utilização (actualmente é apenas utilizado 34% do total)¹⁶.

1.7.2 Rede de Transporte Nacional de Alta Pressão

A rede de transporte em alta pressão por gasoduto, ou rede de 1.º escalão, contava em 2003 com 1194 km de extensão. Destacam-se ainda os ramais de média pressão, também denominados ramais industriais ou rede de 2.º escalão, compreendendo cerca de 208 km de extensão total, no final de 2002. Desde 2008 reiniciou-se a actividade de construção de gasodutos de alta pressão, gasodutos estes de menores extensões, fundamentalmente para abastecimento a centrais de cogeração.¹⁷

O GN é transportado a uma temperatura de cerca de 10° C e a uma pressão variável, que pode atingir os 84 bar. O gasoduto encontra-se enterrado a uma profundidade mínima de 0,80m¹⁸ e compreende secções com diâmetros de 813 mm, 700 mm, 508 mm e 305 mm para a rede de transporte, e de cerca de 200 mm nos ramais industriais. A rede de alta pressão encontra-se dividida em sete lotes, conforme exposto na Figura 6.

15 Dados constantes no “Press Release” da consultora A. T. Kearney Portugal, de 27 de Novembro de 2007. Filial portuguesa da consultora Norte Americana A. T. Kearney Chigago.

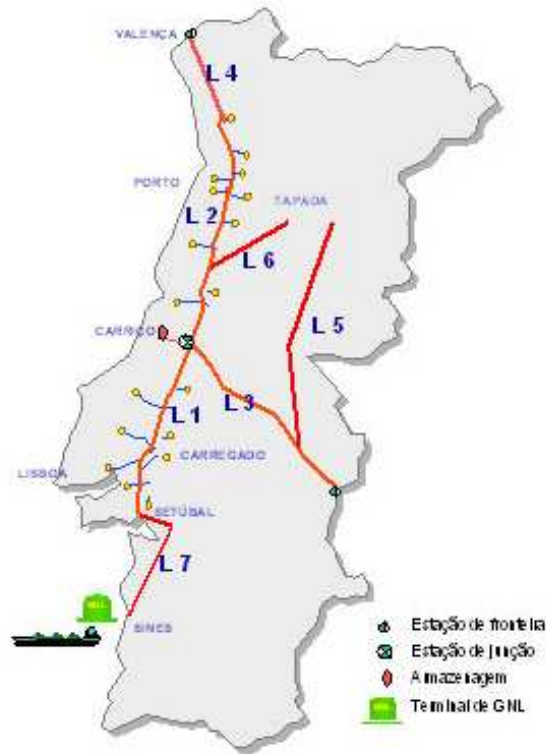
16 Relativamente às infra-estruturas, Portugal deve passar dos 2.200 MW instalados em 2007 para 5.400 entre os anos de 2010/2012.

17 Desde 2008 foram construídos novos Ramais Industriais: Ramal de Estarreja; Ramal de Lares – Lavos; Ramal do Chaparral; Ramal da Mitrena; Ramal do Barreiro e ampliações de Estações de Redução e Medição de Gás. Presentemente está a decorrer a construção do Ramal do Pego e Ramal de Leça.

18 Conforme requisito legal Dec.lei-390 / 94 – Regulamento Técnico Relativo ao Projecto, Construção, Exploração e Manutenção de Gasodutos de Gases Combustíveis.



ISEL



		Entrada em funcionamento	Diâmetro (mm)
Lote 1	Setúbal - Leiria Leiria - Sto. Tirso	Fev - 87	700
Lote 2	Sto Tirso - Braga	Fev - 87	506
Lote 3	Campo Maior - Leiria	Fev - 87	700
Lote 4	Braga - Tuy	Dez - 97	506
Lote 5	Monforte - Guarda	Out - 99	305
Lote 6	Mesfada - Viseu	Set - 99	506
Lote 7	Setúbal - Sinces	Nov - 03	813

Figura 6 – Rede de Alta Pressão da GN em Portugal¹⁹

¹⁹ Imagem modificada e atualizada de dados facultados pela empresa Transgás em 2003.



2. CONSTRUÇÃO DA TUBAGEM DE GN EM FÁBRICA

A construção de uma tubagem implica o rigoroso cumprimento de processos e procedimentos.

O sistema de tubagens é composto pela união de tubos, cujo processo de fabrico é determinante para o regime de operação a que o gasoduto ficará sujeito.

2.1 Aplicação de Materiais

A produção de tubos permite duas designações relativas ao seu método de fabrico: tubos com costura ou sem costura.

Os tubos sem costura são obtidos a partir de uma barra maciça de aço, ou seja por via de um lingote ou massa de aço equivalente obtida em vazamento contínuo, que por sua vez é submetido a um processo de extrusão²⁰ a quente. Seguidamente a estrutura obtida é sujeita ao processo de deformação a frio seguido de trefilagem, permitindo alcançar as dimensões pretendidas no tubo.

No caso dos tubos com costura²¹, as matérias-primas básicas consistem em chapas provenientes de bobinas ou chapas previamente laminadas a frio ou a quente. Tais chapas são aplicadas para a largura requerida, unidas por processo de soldadura, do qual resultará o diâmetro final do tubo, sendo ambos os processos igualmente utilizados no fabrico de tubagem.

Os tubos de aços sem costura são vulgarmente usados em redes de gás com menores diâmetros. Com o actual desenvolvimento dos polímeros, a construção de ramais de gás²² generalizou o uso de tubagens de Polietileno de Alta Densidade (PEAD). Estas, para além da clara viabilidade económica face às tubagens de aço, satisfazem grande parte dos requisitos técnicos de operação de tubagens secundárias de gás enterradas, pelo que a utilização da tubagem de aço sem costura é

²⁰ Operação que consiste em forçar a saída por orifício, sob a acção de forças de pressão, num metal.

²¹ A denominação “Tubos com costura”, é presentemente uma designação errónea. Tal denominação resultou no facto do processo de fabrico inicial utilizar uma baixa frequência (50 ou 60Hz), o que conferia ao material uma aparência de forte coesão. Actualmente o processo de fabrico mais utilizado para os “Tubos com costura”, é o processo de soldadura por arco submerso.

²² Entenda-se por ramal de gás uma tubagem de gás a operar em média ou baixa pressão.



ISEL

apenas viável, em ramais de gás expostos^[41] ²³ ou sujeitas a uma grande severidade de esforços mecânicos.



Figura 7 – Pormenor de tubos sem costura²⁴

Em tubagens de gás submetidas a elevadas pressões compreendendo elevados diâmetros recorre-se unicamente a tubagens de aço^[41] ²⁵, na maior parte aços com costura (e.g.: construção de gasodutos de alta pressão).

A costura dos tubos é constituída pela deformação plástica da chapa, em processo helicoidal²⁶ ou longitudinal²⁷. De referir que para gasodutos de alta pressão, a grande maioria dos fabricantes mundiais de tubagens²⁸ recorre à produção de tubos com costura helicoidal, conforme exposto na Figura 8.

²³ De acordo com o Dec. Lei 386/94, Art.º23, “Os tubos de polietileno só podem ser utilizados no exterior dos edifícios até 0,60m, ou em troços enterrados”.

²⁴ Os tubos sem costura são normalmente tubos de menores diâmetros, i.e., diâmetros inferiores a 4 polegadas.

²⁵ De acordo com o Dec. Lei 390/94, Art. 9º, “Na construção de tubagens devem ser utilizados tubos de aço”.

²⁶ Tubos com costura helicoidal.

²⁷ Tubos com costura longitudinal.

²⁸ Mannesman, Noksel, Umran, ou Erciyas.



ISEL



Figura 8 – Operação de soldadura helicoidal da chapa para fabrico de tubos

Como anteriormente referido, os tubos com costura são produzidos a partir de bobines, como evidenciado na Figura 9. Estas deverão conferir as propriedades físicas e químicas exigíveis ao produto final (tubo) pelo que a composição base da bobine é determinante para o grau final do aço da tubagem a obter. A bobine é primeiramente submetida a uma análise química, a ensaios mecânicos sendo posteriormente sujeita a um tratamento de limpeza por jacto de areia, o que possibilitará a remoção de vestígios de oxidação presentes na tubagem. Posteriormente, cada bobine tem um controlo dimensional, à qual está associado um número de vazamento²⁹. Este parâmetro possibilitará a rastreabilidade de todo o processo produtivo de fabrico, desde a bobine validada como matéria-prima, até aos tubos produzidos (produto final).

²⁹ A cada nº de vazamento estará associado um nº de produção do tubo, vulgarmente designado por “Heat Number”. O “Heat Number” é puncionado em cada tubo, possibilitando a verificação de idêntico parâmetro constante no certificado do respectivo tubo.



ISEL



Figura 9 – Bobines para fabrico de tubos

Concluída esta fase é dado início ao processo de soldadura das chapas, onde a bobine é colocada numa máquina que enforma a chapa de forma helicoidal ou longitudinal³⁰, processando-se uma soldadura na junta enformada, da qual resultará o tubo³¹.



Figura 10 – Deformação plástica de chapa em forma helicoidal para fabrico de tubos

³⁰ Consoante o tipo de máquina de enformação de tubos.

³¹ Entende-se por tubo, estrutura tubular com comprimento aproximado de 12 metros.



2.2 Processos de Soldadura

2.2.1 Processos de Soldadura em Fábrica

O processo de soldadura^[36] mais frequentemente utilizado no fabrico de tubagens de gás é o arco submerso (SAW³²).

Este processo consiste na soldadura por fusão com protecção de fluxo sólido.

O calor necessário ao processo é produzido em parte pelo efeito de Joule, resultante da passagem da corrente eléctrica entre o fio eléctrodo e pelo arco estabelecido sob o fluxo fundido. O referido fio é continuamente alimentado, constituindo o material de adição para a peça a soldar, através de um meio físico particular, nomeadamente pelo fluxo granulado electro-condutor.

O fluxo fundido (após reacções de afinção metalúrgica) constitui a escória, a qual recobre não só o banho de fusão mas também as gotas transferidas através do arco eléctrico, sendo o efeito de Joule o factor preponderante.

O arco eléctrico encontra-se assim totalmente submerso pelo fluxo granulado, o qual garante uma função de revestimento eléctrico em todo o processo de soldadura evitando escorvamentos laterais. Assim, mesmo a utilização de elevadas correntes não implicará a difusão do metal em fusão para o exterior, simultaneamente protegendo-o da acção contaminadora dos gases atmosféricos, pela ausência de contacto entre o metal em fusão e a atmosfera.

As elevadas correntes³³ utilizadas na soldadura originam uma forte penetração do material de adição no material base, resultando num rendimento térmico elevado.

Este processo é apresentado na Figura 11.

³² De acordo com a designação internacional, SAW – Submersed Arc Welding.

³³ Valores de Corrente com uma intensidade na ordem dos 200 a 200A, resultando como tal uma elevada taxa de diluição.



ISEL

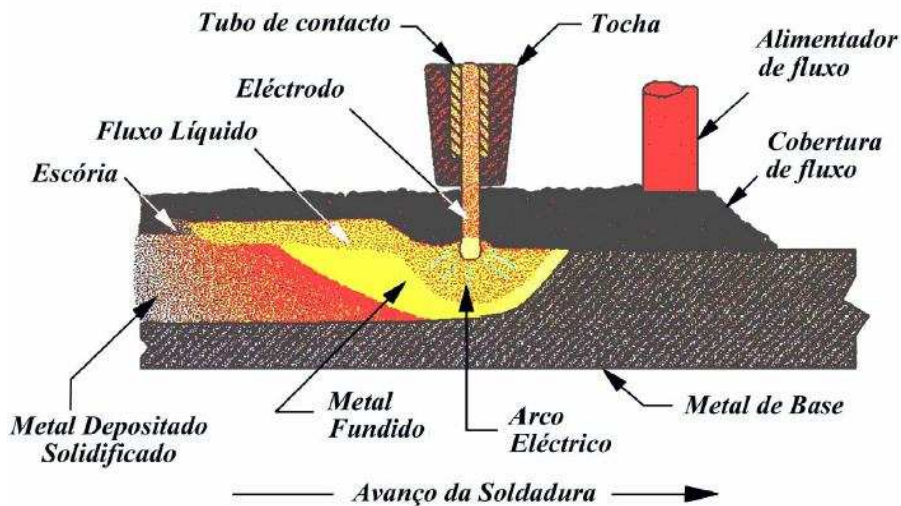


Figura 11 – Representação do processo de soldadura por arco submerso³⁴

Deste processo salientam-se as seguintes vantagens:

- Processo automático com produtividade elevada (2,0 a 3,0 Kg/h), com alimentação contínua de consumível;
- Adequado para grandes penetrações;
- Aconselhável para grandes espessuras e soldaduras de grandes comprimentos (inferiores a 1,5m);
- Grande tolerância à contaminação.

Complementarmente o processo de Soldadura por Arco Submerso apresenta as seguintes desvantagens:

- Soldadura aplicável apenas na posição ao baixo ou na horizontal para juntas de canto;
- Necessidade de limpeza de escória;
- Necessidade de posicionamento rigoroso;
- Arco eléctrico não visível;
- Equipamento relativamente complexo;
- Obrigatoriedade de secagem do fluxo.

³⁴ Imagem modificada de documentação do Curso “Certified Welding Inspector” – American Welding Society, 2004.



2.2.2 Classificação dos Fluxos

Os fluxos podem ser do tipo fundido ou aglomerado, consoante o modo como são fabricados. A classificação dos fluidos é estabelecida de acordo com a sua composição química definindo-se estes em fluxos do tipo ácido, neutros ou básicos, consoante as características dos diversos óxidos.

A sua classificação é feita com recurso ao índice de basicidade³⁵ de Bóneszewski:

$$B = \frac{CaO + MgO + SrO + LiO_2 + K_2O + CaF_2 + 0,5(FeO + MnO)}{SiO_2 + 0,5(Al_2O_3 + TiO + ZrO_2)}$$

(Eq. 1)

Deste modo, a classificação do fluxo é determinada da seguinte forma:

Índice de basicidade de Bóneszewski	Classificação do fluxo
$B < 1$	Ácido
$1,5 < B \leq 1$	Neutro
$B \geq 1,5$	Básico

Quadro 1 – Classificação do fluxo em função do índice de basicidade

2.2.3 Classificação dos eléctrodos

Os eléctrodos são normalmente fios sólidos compactos fornecidos na forma de carretos ou bobines, compreendendo diferentes tamanhos dependendo do tipo e quantidade de soldaduras a realizar. Estes fios são produzidos por trefilagem³⁶, podendo apresentar um revestimento superficial de cobre em forma de fita ou tubular.

³⁵ Razão entre a ponderância de óxidos básicos e de óxidos ácidos que compõe o fluxo.

³⁶ Este processo consiste em forçar a passagem de varão de liga metálica, através de uma fieira, mediante a aplicação de uma força de tracção à saída desta fieira. O material deforma-se plasticamente à medida que atravessa a fieira e desta maneira reduz o seu diâmetro ao valor pretendido. Como resultado, obtém-se um produto de secção menor e de comprimento maior.



ISEL

A principal forma de classificar os fios eléctrodos é através do teor em Manganês (Mn). Os fios mais vulgarmente comercializados apresentam teores de 0,5; 1; 1,5 e 2% Mn, sendo o seu teor em Mn tão mais elevado, quanto maior a resistência do material fundido a obter.

2.2.4 Binário Fio Fluxo

É necessário seleccionar o fio conjuntamente com o fluxo^[47], já que este último afecta o teor de Mn durante a soldadura. Assim, quando se selecciona uma determinada designação de consumível, a referência é efectuada para o par fio-fluxo.

Este binário é o responsável pelas características mecânicas e químicas do cordão de soldadura, ou seja, alterando um dos componentes alterar-se-à as características desejadas no cordão de soldadura.

2.2.5 Classificação Internacional³⁷ dos Consumíveis

Um consumível no processo de Soldadura por Arco Submerso pode ser classificado da seguinte forma:

$FX_1X_2X_3 - EX_aX_bX_c$

Onde:

F – Fluxo;

X_1 – Identificação da Resistência mecânica do depósito feito com o binário fio/fluxo (e.g: 7-70Ksi de tensão de rotura);

X_2 – Identificação do Tratamento Térmico (e.g.: A – Com Tratamento Térmico; P – Tratamento Térmico após a soldadura);

³⁷ A Classificação Internacional mais vulgarmente utilizada é a definida pela American Welding Society (AWS).



ISEL

X_3 – Temperatura de ensaio de impacto (e.g.: Z - Sem garantia de Impacto; 0 – 8 Temperatura definida);

E – Eléctrodo;

X_a – Identificação do teor de Manganês do Fio (e.g.: L- Baixo; M – Médio; H – Alto);

X_bX_c – Identificação da composição química do fio (e.g: 8-16);

A título demonstrativo a designação F 7 A 6 – EM 12 K significa, um metal depositado com uma tensão de rotura de 70 Ksi, sem tratamento térmico, apresentando uma garantia de impacto de 20 ft-lb (27J) a 60F (-51°C).

Por sua vez, o Fio EM 12K, representa uma composição química com 0,05 a 0,15% de C; 0,80 a 1,25%Mn; 0,10 a 0,35%Si; 0,030% máximo de S e P e um teor máximo de Cu de 0,35%.

2.3 Preparação e Protecção de Superfícies

2.3.1 Dimensões e Tolerâncias

Os tubos devem ser fornecidos de acordo com as dimensões especificadas na encomenda.

De acordo com a Especificação Técnica GER^[24] (e.g.: 061³⁸ da Galp Energia), as tubagens deverão compreender as dimensões constantes na seguinte tabela:

³⁸ GER Galp Energia – Especificações Técnicas. GER 061 – Especificação Técnica para Tubos de Aço.



Diâmetro Nominal		Diâmetro Externo	Espessura Mínima	Diâmetro interno	Massa por unidade de comprimento	Revestimento Mínimo (Espessura)		Tubo Revestido (Diâmetro)	
						Normal	Reforçado	Normal	Reforçado
polegadas	mm	mm	mm	mm	Kg/m	mm	mm	mm	mm
4	100	114,3	4,4	105,5	11,93	1,8	2,5	117,9	119,3
6	150	168,3	4,4	159,5	17,78	2,0	2,7	172,3	173,7
8	200	219,1	4,8	209,5	25,37	2,0	2,7	223,1	224,5
10	250	273,0	5,6	261,8	36,93	2,0	2,7	277,0	278,4
12	300	323,9	6,4	311,1	50,11	2,2	2,9	328,3	329,7
14	350	355,6	7,1	341,4	61,02	2,2	2,9	360,0	361,4

Quadro 2 - Dimensões para o fornecimento de tubagem ^[25]

2.3.2 Preparação de Superfície

A superfície é decapada com jacto de areia, para um grau de acabamento SA 2½³⁹ ^[3]. O revestimento é aplicado e ensaiado de acordo com a Recomendação Prática^[3], onde a espessura mínima do revestimento seco deverá ser de 60µm.



Figura 12 - Preparação da superfície, com inserção do tubo em máquina para limpeza por jacto de areia

³⁹ No grau SA 2 ½, a limpeza do aço é feita através de jacto abrasivo de areia, aplicado pelo tempo necessário à obtenção de uma superfície isenta de oxidação e partículas estranhas. Após a limpeza a superfície poderá apresentar uma ligeira descoloração evidenciada num cinza claro. Os resíduos são removidos com um aspirador de pó, ar comprimido seco e limpo ou escova limpa. No final da limpeza, deverá registar-se a inexistência de resíduos em 95% de cada 25 mm² de superfície analisada. O grau de acabamento indica a maior ou menor dimensão do conjunto de irregularidades superficiais resultantes do fabrico da peça.



2.3.3 Revestimento Externo

O revestimento é constituído pela aplicação das três seguintes camadas: primário à base de polímeros epoxídicos (com uma espessura mínima de $50\mu\text{m}$), seguido da aplicação de uma película adesiva e concluído com a aplicação de polietileno extrudido, compreendendo uma densidade entre $0,920$ e $0,924 \text{ g/cm}^3$.

As extremidades dos tubos devem estar isentas de revestimento numa extensão de 150mm , protegendo assim a zona do chanfro de soldadura de uma eventual deposição de contaminantes.

Os extremos do revestimento obedecem a um chanfro com um ângulo entre $30^\circ - 45^\circ$ permitindo assim, uma soldadura eficaz das tubagens em campo com a qualidade necessária.



Figura 13 – Aplicação de revestimento externo com PEAD (cor preta) sobre a película adesiva (cor cinza)



2.3.4 Revestimento Interno

Caso o tubo apresente um diâmetro interno igual ou superior a 500mm, este deve ser revestido interiormente com uma pintura à base de betume de alcatrão.

O revestimento deve ser resistente à passagem do gás nomeadamente não deve dissolver-se, não permitir a oxidação, não criar bolhas ou desagregar-se nas condições normais de operação.

O revestimento deve resistir a temperaturas de armazenagem até 20°C, ao teste hidrostático, à permanência de água na tubagem, à passagem de esponjas de limpeza⁴⁰, à dobragem a frio dos tubos até um raio equivalente a 30 vezes o diâmetro, conforme exposto no código ASME B 31.8^[5].

O revestimento deve ainda resistir a vestígios de metanol, trietilenoglicol e outros agentes químicos usados, no processo de secagem de linhas de gás.



Figura 14 – Aplicação de revestimento interno, por pistola pulverizante a 360° no interior do tubo

⁴⁰ Mais vulgarmente designadas por “PIGS”. Este assunto é desenvolvido no § 4.3 – Inspeção Interna “PIGS”



2.4 Controlo Não Destrutivo

Por exigências normativas, um gasoduto de alta pressão é integralmente inspeccionado por Radiografia^{[5][20]}. Em produção em série é frequente o recurso à fluoroscopia⁴¹ obtendo-se um acompanhamento em tempo real da inspecção radiográfica para a produção.

A interpretação das indicações é efectuada por técnicos qualificados do Nível II⁴², conforme o código API 1104^[1].

Em caso da existência de algum defeito, a tubagem é removida da linha de produção procedendo-se assim à sua reparação ou mesmo remoção, caso a análise do defeito assim o determine, conforme apresentado na imagem seguinte.



Figura 15 - Execução de controlo radiográfico por fluoroscopia

⁴¹ Processo de Controlo Radiográfico digital, onde a visualização da imagem é efectuada em tempo real.

⁴² Nível de certificação para inspectores de controlo radiográfico.



2.5 Ensaio Hidrostáticos

Em fase de produção cada tubo é submetido a um ensaio hidrostático. Para a determinação do valor da pressão e tempo de ensaio, é efectuado um cálculo tal como descrito no código API 5L^[2], o qual determina o valor da pressão de ensaio mediante a seguinte fórmula:

$$P = \frac{2000 \times St}{D}$$

(Eq. 2)

Onde:

P – Pressão do Teste Hidrostático, em kPa⁴³

S – Tensão da fibra neutra, em MPa, equivalente ao valor em percentagem da tensão de limite de elasticidade

t – Espessura da parede da tubagem, em mm

D – Diâmetro exterior, em mm

A título indicativo, poderão ser considerados os seguintes valores percentuais da tensão de rotura:

⁴³ Para exprimir o valor da pressão em unidade bar é realizada a conversão de 1kPa igual a 0,01bar.



GRAU DO AÇO (Classificação AWS)	DIÂMETRO DO TUBO (Polegadas)	PERCENTAGEM DO VALOR DA TENSÃO DE ROTURA	
		PRESSÃO NORMAL	PRESSÃO ALTERNATIVA
A 25	$5^{9/16}$	60	--
A	$\geq 2^{3/8}$	60	75
B	$\geq 2^{3/8}$	60	75
X42 → X 80	$\leq 5^{9/16}$	60	75
	$> 5^{9/16}$ e $\leq 8^{5/8}$	75	75
	$> 8^{5/8}$ e < 20	85	85
	≥ 20	90	90

Quadro 3 – Valores do parâmetro S para cálculo da pressão de teste hidrostático de acordo com a equação 2^{[2][44]}



Figura 16 – Realização de ensaio hidrostático em fábrica

⁴⁴ Tabela elaborada a partir de dados constantes no código API 5L^[2], §9.4.3 – “Test Pressure”.



ISEL

2.6 Recepção de Tubagens Pré-Fabricadas

2.6.1 Marcação

Antes da inspeção final é efectuada a marcação a cada tubo realizada por estampagem com tinta branca indelével, compreendendo os seguintes elementos:

- Denominação do cliente (e.g.: REN Gasodutos);
- Marca do fabricante;
- Número do contrato;
- Número da norma de fabrico e grau do aço;
- Número do tubo;
- Dimensões (diâmetro e espessura da parede);
- Comprimento do tubo (em metros, com duas casas decimais).



Figura 17 – Exemplo de marcação de um tubo à saída da fábrica



2.6.2 Recepção em Fábrica

A auditoria ao processo de fabrico permite a sua rastreabilidade identificando a compatibilidade do produto final, com o certificado emitido. A análise à composição química do material, a análise ao processo de fabrico e a análise dimensional da tubagem, constituem os elementos mais importantes de verificação para a garantia do produto encomendado.

O fabricante deve fornecer à entidade compradora uma especificação descrevendo os processos de fabrico do produto, explicitando:

- Processo de fabrico do aço, incluindo refinamento e métodos para controlo de segregações na linha central;
- Análise química;
- A temperatura mais baixa para a laminagem da chapa, a qual deve estar acima da temperatura $Ar3$ ⁴⁵ para o aço proposto;
- Condição de tratamento térmico do material base;
- Registos de ensaios não destrutivos das chapas;
- Processo de deformação relativo à circularidade;
- Processo de soldadura para produção e reparações;
- Condição do tratamento térmico dos tubos e reparações (caso aplicável);
- Processos de controlo não destrutivo dos tubos e soldaduras;
- Fórmula de cálculo para o ensaio hidráulico;
- Processo de revestimento;
- Plano de inspeção e ensaios.

⁴⁵ Curva de temperatura para diferentes transformações austeníticas do aço. Esta curva descreve o refinamento do grão ferrítico em virtude do arrefecimento da temperatura onde se inicia a transformação austenítica para ferrítica.



ISEL



Figura 18 – Inspeção de tubos em fábrica.



3. PROCESSO DE MONTAGEM DE GASODUTOS DE ALTA PRESSÃO

De acordo com o Decreto-lei 374 / 89, a “construção de uma rede de transporte de gás, constitui um valioso meio de diversificação energética e um factor importante de desenvolvimento das regiões que serve”.

A instalação de um gasoduto é exercida por empresas legalmente constituídas e vocacionadas para o efeito, sendo a sua qualificação como fornecedor, precedida por concurso público.

As várias etapas do processo de instalação são decorrentes de forma encadeada, estando assim associado um elevado grau de rigor em cada actividade para a viabilidade das condições da tarefa subsequente.

No § 3.1 são expostos os principais aspectos de análise num processo de instalação de tubagem.

3.1 Abertura de Pista

A abertura de pista⁴⁶ é efectuada dentro dos limites da designada “faixa de servidão”. A servidão de passagem de gás relativamente a gasodutos implica as seguintes obrigações contratuais: o terreno não poderá ser arado, nem cavado, a uma profundidade superior a 50cm, numa faixa de 2 metros para cada lado do eixo longitudinal da tubagem; é proibida a plantação de árvores ou arbustos, numa faixa de 5 metros para cada lado do eixo longitudinal da tubagem; é proibida a construção de qualquer tipo, mesmo provisória, numa faixa de 10m para cada lado do eixo longitudinal da tubagem e é permitido o livre acesso do pessoal e equipamento necessário à instalação, manutenção, reparação e renovação do equipamento instalado e respectiva vigilância.

⁴⁶ Zona desmatada para instalação da vala de gasoduto, contemplando um corredor de circulação dos meios técnicos e humanos para realização dos trabalhos.



ISEL

A largura da faixa de servidão compreende as seguintes distâncias:

DIÂMETRO NOMINAL DA TUBAGEM	LARGURA NORMAL DA FAIXA
100-450 mm	14 m
500 – 650 mm	20 m
700 – 900 mm	22 m
950 – 1100mm	24 m

Quadro 4 – Distâncias da largura da Faixa em função do diâmetro do gasoduto^[42]

Os limites da pista são habitualmente delimitados com estacas de cor vermelha, sendo o eixo da tubagem assinalado no terreno com estacas de cor azul.

De referir que previamente ao início dos trabalhos de construção é efectuada uma localização e devida sinalização das instalações subterrâneas existentes (e.g.: condutas, cabos, ou outras infra-estruturas) estabelecendo os contactos com as autoridades competentes, e executando as sondagens que forem necessárias, para que sejam tomadas as máximas precauções contra a eventualidade de danos a causar no decurso da obra.



Figura 19 – Abertura de pista e pormenor de verificação da delimitação da faixa com estacas



3.2 Alinhamento da Tubagem

O alinhamento da tubagem consiste no posicionamento de tubos forma sequencial, ao longo da pista do gasoduto, dispostos paralelamente ao eixo da vala, conforme apresentado na Figura 20. A disposição dos tubos ao longo da pista é acompanhada por um topógrafo, definindo-se em campo os pontos exactos de instalação da tubagem em conformidade com as distâncias definidas nos desenhos de instalação⁴⁷.

Complementarmente, esta operação reveste-se entre outras vantagens, nomeadamente, da execução de uma inspecção visual, garantindo assim um correcto estado de posicionamento de cada tubo ou curva a soldar. Aspectos como o estado do revestimento externo, chanfro da soldadura, existência de danos mecânicos na tubagem resultantes do manuseamento da tubagem e ou a confirmação dos diâmetros e espessuras dos tubos a utilizar para aquela zona do traçado, constituem elementos de análise com vista à conformidade dos trabalhos em coerência com o projecto de engenharia.

A deposição da tubagem no solo implica a execução dos seguintes requisitos técnicos: os tubos não deverão conter quaisquer objectos no seu interior; deverão ser assentes sem que estejam sujeitos a qualquer tensão externa; deverão ficar assentes em paletes de madeira, evitando o contacto directo com o solo ao longo de todo o seu comprimento, não sendo admissível o emprego de calços ou cunhas e não menos importante deverá ser garantido que as extremidades dos tubos já assentes devam ser tamponadas garantindo a não entrada de elementos contaminantes e obstrutores à passagem do fluído na tubagem.

⁴⁷ Em gasodutos estes desenhos são vulgarmente designados por “Folhas de Alinhamento”.



ISEL



Figura 20 – Alinhamento da tubagem.

3.3 Abertura de Vala

A vala deverá compreender uma dimensão adequada para permitir o aterro da tubagem à cota prescrita no projecto. De acordo com o Decreto-lei 390/94^{48[41]}, a profundidade normal de implantação das tubagens, determinada pela distância entre a geratriz superior da tubagem e o nível do solo, deve ser pelo menos de 0,8m, tendo-se em consideração as características dos terrenos.

A profundidade sob vias-férreas ou estradas de grande circulação deve ser de 1m, devendo nestes casos a tubagem ser envolta numa manga⁴⁹.

As tubagens devem assentar uniformemente sobre o fundo da vala e ser acondicionadas com os materiais adequados, de forma a garantir a integridade do revestimento da tubagem.

Como tal, a tubagem é assente sobre uma camada de areia doce, uniformemente distribuída no fundo da vala, com uma espessura mínima de 10cm.

Toda a tubagem é envolta então na referida areia doce, isenta de pedras ou outros materiais contundentes.

⁴⁸ Decreto-lei 390/94 Regulamento técnico relativo ao projecto, construção, exploração e manutenção de gasodutos. Artigo 33º - Profundidade.

⁴⁹ Manga – troço de tubagem que envolve o troço de tubagem sujeito à travessia. Ambos tubo e manga são separados por espaçadores equidistantes posicionados, garantindo o correcto isolamento entre ambos os metais.



Figura 21 – Abertura de vala e segregação de pedras no leito da vala

3.4 Curva de Tubos

As curvas e outros acessórios utilizados⁵⁰ na construção dos gasodutos devem ser do mesmo material da tubagem ou material equivalente, satisfazendo as condições requeridas para a compatibilidade no processo de soldadura e minimização de corrosão galvânica pela utilização de materiais dissimilares. É permitida a utilização de curvas enformadas a frio, desde que o raio de curvatura (R) em relação ao diâmetro externo (De), compreenda os seguintes valores:

R= 20De	100 <De ≤ 355,6 mm
R= 30De	De > 355,6 mm

Quadro 5 – Relação de diâmetros permitida^[43]

⁵⁰ Acessórios de ligação “T”, válvulas; flanges juntas isolantes.



ISEL



Figura 22 – Equipamento de encurvamento a frio.

A deformação longitudinal resulta de uma força axial aplicada a uma certa distância do eixo neutro, dependendo do momento aplicado e da resistência à dobragem.

Sempre que o cumprimento destes requisitos não é exequível, as alterações de direcção da tubagem devem ser realizadas com recurso a acessórios. A inspecção da curva executada é feita pela introdução de uma placa calibre⁵¹ na tubagem, cuja passagem sem obstruções traduz inexistência de ovalizações ou outros defeitos na curva executada.



Figura 23 – Introdução da placa calibre

⁵¹ Calibre – Peça introduzida no interior da tubagem de diâmetro equivalente a 95% do diâmetro pretendido pela curva a obter.



ISEL

À esta deformação estão associadas alterações das propriedades mecânicas, bem como a determinada redução na espessura da parede do material.

A espessura mínima requerida^[4] após dobragem é determinada pela seguinte forma:

$$t = \frac{PD}{2 \left[\left(\frac{SE}{I} \right) + P\gamma \right]}$$

(Eq. 3)

Onde:

t – Espessura mínima da parede, em mm

P – Pressão interna da curva em, N/mm^2

D – Diâmetro externo da tubagem, em mm

S – Tensão de limite de elasticidade^[4], N/mm^2

E – Factor de segurança^[4]

γ - Coeficiente retirado da tabela 304 do código ASME B 31.3^[4]

O parâmetro I é retirado pela seguinte fórmula de cálculo:

$$I = \frac{4(R_1 / D) - 1}{4(R_1 / D) - 2}$$

(Eq. 4)

Onde

R_1 – Raio de curvatura, em mm

D – Diâmetro da tubagem, em mm



ISEL

3.5 Atravessamentos

Nos pontos de travessia de obstáculos, travessias de vias férreas, cursos de água ou estradas, deverão ser tomadas medidas especiais adequadas a assegurar a estabilidade da tubagem no nível previamente estabelecido, devendo estar compreendidos dispositivos que impeçam a sua subida para a superfície do solo.

Na tentativa de assegurar a integridade da tubagem, esta deverá ser envolta numa manga de protecção metálica⁵², de resistência adequada aos esforços a que irá ser submetida, em toda a extensão da travessia.

A manga tem como principal função a protecção contra a corrosão interna e externa e a protecção contra o revestimento da tubagem.

O espaço anelar entre a tubagem e a manga deve ser convenientemente ventilado, de modo a que eventuais fugas de gás sejam conduzidas até aos extremos da manga⁵³ dissipando-se para a atmosfera, conforme exposto na Figura 24.

As mangas deverão ser suportadas por espaçadores, colocados no espaço anelar evitando assim o contacto galvânico entre ambos os materiais (tubagem e manga de protecção).

⁵² Manga de Protecção – Tubagem de diâmetro superior à tubagem a proteger, com vista a proteger a primeira do dano mecânico por acção das operações de atravessamento.

⁵³ Decreto-lei 390/94 Regulamento técnico relativo ao projecto, construção, exploração e manutenção de gasodutos. – Artigo 35º – 6 - Precauções na instalação dos gasodutos.



ISEL



Figura 24 – Colocação de tubagem com espaçador e cabodutos de fibra óptica, em manga de atravessamento

3.6 Soldadura

A soldadura representa um dos pontos mais críticos no processo de instalação de tubagem. As actividades de soldadura são inicialmente concebidas sob uma especificação de soldadura, que por sua vez deverá ser submetida a uma entidade de inspeção para elaboração do procedimento de soldadura. O procedimento atesta a eficácia⁵⁴ da construção soldada, sendo a execução da soldadura acompanhada de inspeção visual complementada com a realização de ensaios destrutivos⁵⁵ ao corpo de prova⁵⁶ soldado.

⁵⁴ Entende-se por eficácia as propriedades mecânicas da junta soldada (resistência, dureza e ou, ductilidade).

⁵⁵ Ensaios destrutivos – variáveis em função da norma adoptada: (e.g.: o Código API 1104 requer ensaios de tracção e dobragem).

⁵⁶ Corpo de prova – peça soldada em condições idênticas às requeridas em obra de construção de tubagem.



ISEL

O Procedimento de Soldadura deverá descrever com rigor todas as variáveis essenciais⁵⁷ intrínsecas à execução dessa soldadura: processo de soldadura, classe de materiais, intervalo da gama de diâmetros e espessuras para a qualificação do procedimento, geometria do chanfro, metal de adição e nº de cordões da junta soldada e polaridade eléctrica.

Complementarmente, a empresa que pretende executar o trabalho de soldadura deverá submeter os seus soldadores à prova de certificação, sendo esta executada em conformidade com o procedimento anteriormente elaborado. Desta forma, a empresa que pretende vir a executar os trabalhos de soldadura garantirá por via do Procedimento de Soldadura a viabilidade do processo adoptado; pela certificação dos soldadores atesta a eficácia da técnica operativa adoptada, na execução da soldadura com os parâmetros descritos no procedimento.

Para a soldadura de tubagens são seguidas as normas de referência (Norma Europeia^{58[19][23]} ou Americana^{59[1]}), servindo estas de base na elaboração do procedimento de soldadura e certificação dos soldadores.

Em construção de gasodutos é vulgar o recurso à soldadura mecanizada⁶⁰. Exemplo disso foi a construção do gasoduto Sines – Setúbal⁶¹, onde se procedeu à execução deste processo⁶² quase na totalidade do troço instalado.

Este sistema é composto por uma sequência de cabines posicionadas em cada ponto de soldadura, conforme exposto na Figura 25. Cada cabine contém no seu interior uma máquina de soldar, para a execução de um específico passe de soldadura. A soldadura é executada pelo varrimento da máquina ao longo do perímetro da união das tubagens, assim: a primeira cabine apenas executa o 1º passe de soldadura, enquanto a 2ª cabine executa o segundo passe de soldadura e a 3ª cabine executa somente o 3º passe de soldadura.

⁵⁷ Variável essencial – variável que sendo alterada, implica a elaboração de novo procedimento.

⁵⁸ Para a qualificação de procedimento é seguida a Norma Europeia – EN ISO 15614 – Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Welding Procedure Test – Part 1 e para a certificação de soldadores é utilizada a Norma EN 287 – Approval Testing of Welders.

⁵⁹ Norma Americana – API 1104 – Welding of Pipelines and Related Facilities, utilizada quer para qualificação de procedimento quer para a certificação de soldador.

⁶⁰ Soldadura Mecanizada – soldadura com equipamento que requer ajustamento manual dos controlos do equipamento em resposta à observação visual da soldadura.

⁶¹ O Gasoduto Sines – Setúbal, “Lote 7”, compreende cerca de 86Kms de extensão, construído com tubagens de diâmetros 700 a 900 mm.

⁶² Soldadura mecanizada com aplicação do processo GTAW (TIG) para o 1º passe e GMAW (MIG-MAG) para os restantes passes.



ISEL

Após a execução de cada passe em cada junta soldada, todo o sistema de cabines é movido para a junta soldada seguinte, pelo que cada junta é submetida sequencialmente à execução dos passes de soldadura seguintes até ao completar do cordão soldado.



Figura 25 – Execução de soldadura mecanizada



Figura 26 – Equipamento de soldadura no interior de cada cabine



ISEL

Naturalmente que muitas vezes as condições geométricas da vala são pouco adequáveis à colocação destes equipamentos de soldadura, como é o caso dos pontos de fecho de linha, pontos de reparação⁶³, ou pontos de soldadura de acessórios à linha.

Nestes casos recorre-se vulgarmente à técnica de soldadura manual por eléctrodo revestido⁶⁴, sendo na maior parte das vezes adoptado como consumíveis de soldadura, eléctrodos revestidos celulósicos de sódio ou eléctrodos revestidos básicos com pó de ferro, com baixo teor de hidrogénio⁶⁵. Eléctrodos que compreendem um baixo teor de hidrogénio permitem minimizar a deposição deste elemento químico na peça, do qual resulta uma menor probabilidade de indicações ou defeitos relacionados com a fissuração a frio. O Processo de soldadura SMAW foi detalhadamente abordado no § 2 – Construção de Tubagem de GN em Fábrica.



Figura 27 – Execução de soldadura em obra por eléctrodo revestido em tubo com 500mm⁶⁵ de diâmetro

⁶³ Defeitos encontrados por radiografia, onde o código permite a reparação pontual do defeito para sua eliminação.

⁶⁴ Mais vulgarmente conhecido por “SMAW – Shielded Metal Arc Welding”.

⁶⁵ Em conformidade com a Especificação P-00000-SPC-PCO-0105 da REN Gasodutos, na soldadura de tubos com diâmetro superior a 350mm, é requerida a presença de dois soldadores em simultâneo, soldando cada um em cada lado oposto da circunferência do tubo.



3.7 Ensaios Não Destrutivos

O termo Ensaios Não Destrutivos (END) é um termo vulgarmente utilizado como um processo de inspeção⁶⁶ para a avaliação do metal base e soldaduras, sem que tal implique a sua destruição.

As técnicas de Ensaios Não Destrutivos visam analisar eventuais descontinuidades^{67[7]}, passando estas a defeito caso excedam as dimensões e formas definidas como rejeitáveis pela especificação, código ou norma aplicável.

Os principais factores para a determinação dos métodos de inspeção de END^[47] consistem na análise do método próprio⁶⁸, dimensões, tipos de descontinuidades previstas, critérios de aceitação e custos associados.

3.7.1 Radiografia

A Radiografia é um método de END que utiliza a radiação para penetrar a soldadura e assim revelar a informação sobre a sua condição interna. A soldadura é exposta à radiação penetrante por via de fótons ou isótopos emitidos⁶⁹, absorvidos para uma película radiográfica.

O processo radiográfico está dependente da quantidade de massa representada pelo metal (a qual se encontra associada à espessura e tipo de aço da tubagem) e da energia da fonte de radiação (tipo de isótopo adoptado⁷⁰), sendo o ensaio efectuado sobre todo o perímetro da junta soldada com sobreposição oportuna das películas.

No caso dos gasodutos o controlo radiográfico processa-se com recurso a raios gama. A radiação gama é emitida por radioisótopos, cuja selecção é determinada em função do período de vida e da espessura da parede do gasoduto a inspeccionar.

⁶⁶ A portaria 390 /94, Artigo 43º refere que: “As soldaduras devem ser controladas a 100% por exames radiográficos ou outros meios não destrutivos, com interpretação dos resultados feita por um técnico certificado”.

⁶⁷ A descontinuidade é uma interrupção na estrutura típica do material, tal como falta de homogeneidade nas suas características mecânicas, físicas ou químicas.

⁶⁸ Definição do ensaio a realizar: radiografia; ultra-sons; magnetoscopia, conforme abordagem em § 3.7.1; § 3.7.2; § 3.7.3 e § 3.7.4.

⁶⁹ No caso da radiografia são emitidos raios X de energia menor ou igual a 400 KeV. No caso da gamografia são emitidos isótopos radioactivos.

⁷⁰ Em gasoduto é habitual utilizar-se isótopos de Iridio 192 ou Cobalto 60.



ISEL

	ISÓTOPOS		
	Cobalto 60	Irídio 192 ⁷¹	Túlio 170
Período de meia vida ⁷²	5,3 Anos	74 dias	129 dias
Aplicação	50 a 150mm	10 a 100mm	2 a 12 mm

Quadro 6 – Fontes de radiação gama para os isótopos utilizados^[6]

Como anteriormente mencionado, a radiação é absorvida para uma película radiográfica.

O filme radiográfico é composto à base de um polímero, revestido com cristais de brometo de prata de granulometria variável⁷³. A emulsão do brometo de prata é sensível à radiação assim como, um filme fotográfico é sensível à luz.

A revelação, processo químico do filme, converte a imagem produzida pela exposição da radiação na emulsão, a uma imagem permanente e visível.

A interpretação da radiografia^[20] envolve a identificação de imagens resultantes das várias áreas claras e escuras. As áreas mais escuras representam as partes de maior penetração da soldadura⁷⁴, enquanto que as regiões mais claras representam as áreas de mais difícil penetração. A interpretação é normalmente executada numa sala escura (com luz fraca indirecta)^[22].

⁷¹ O Irídio 192 é o isótopo mais vulgarmente utilizado em gamografia de gasodutos, dado conseguir concentrar num importante volume, uma grande actividade de radiação, o que implica uma boa definição da imagem radiográfica, mesmo para uma pequena relação distância fonte vs filme para tempos de exposição curtos.

⁷² Período de meia vida – A forma mais usual de exprimir a velocidade de desintegração radioactiva dos isótopos.

⁷³ Um filme de grão grosso é utilizado para reduzir o tempo de exposição, enquanto que um filme de grão fino proporciona melhor definição.

⁷⁴ Zonas onde se concentram a existência de indicações ou defeitos.



ISEL

A qualidade do filme radiográfico tem como parâmetro base um Indicador de Qualidade de Imagem (IQI), colocado sobre o filme a radiografar, para posterior análise dimensional das indicações ou defeitos.



Figura 28 – IQI de arame DIN 54109

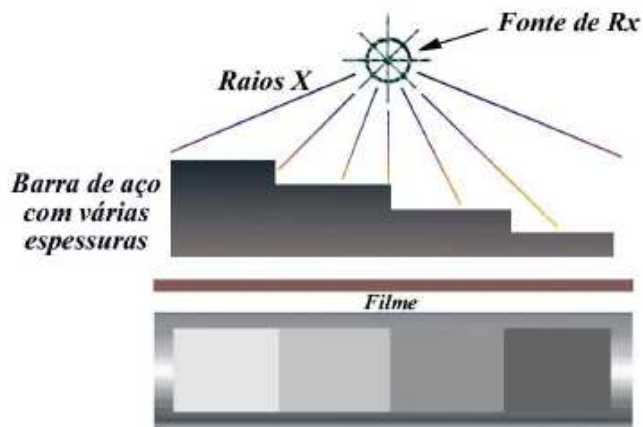


Figura 29 – Ensaio por radiografia⁷⁵

Como qualquer outro método de END, o controlo radiográfico compreende as suas vantagens e limitações, conforme o exposto no Quadro 7:

⁷⁵ Imagem modificada da documentação do curso de Certificação “Welding Inspector”, AWS, 2004.



ISEL

CONTROLO RADIOGRÁFICO	
Vantagens	Limitações
Registo Permanente (Película)	Necessidade de protecção contra radiações
Detecção de descontinuidades Internas e Externas	Necessidade de acesso aos dois lados da peça
Utilização em todos os materiais	Impossibilidade de detecção de determinadas descontinuidades (e.g.: folheamentos e delaminações)
	Necessidade de revelação e exposição da película

Quadro 7 – Vantagens e limitações do controlo radiográfico^[6]

3.7.2 Magnetoscopia

O controlo por Magnetoscopia permite a detecção de descontinuidades superficiais ou subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. O ensaio é baseado no princípio de que as linhas magnéticas de força serão distorcidas pela alteração da continuidade do material^[36], isto é, da descontinuidade de um campo magnético irá resultar um campo de fuga. A magnetização da peça a inspeccionar é efectuada pela passagem de uma corrente eléctrica, onde as partículas ferromagnéticas tornam a descontinuidade visível no campo de fuga, dado que qualquer descontinuidade transversal que exista atrairá as partículas magnéticas causando uma descontinuidade nas linhas de força do campo magnético observado.

Após a remoção do excesso de partículas, as restantes partículas presas num campo de fuga revelam a forma e dimensão da descontinuidade detectável.



ISEL



Figura 30 – Realização de ensaio por magnestocopia

3.7.3 Líquidos Penetrantes

A técnica de controlo por Líquidos Penetrantes consiste num método sensível de detecção e localização de descontinuidades superficiais com acessibilidade directa e desde que as mesmas se encontrem livres e abertas à superfície. Este ensaio baseia-se no princípio da capilaridade^[36].

O método consiste na aplicação de um líquido penetrante colorido à superfície a inspeccionar. Após o devido tempo de penetração, o excesso de penetrante é removido da superfície e o componente é seco. É aplicada então uma suspensão de partículas sólidas muito finas, que ao serem vaporizadas sobre a superfície a inspeccionar actuam sob o líquido penetrante, absorvendo este para fora da descontinuidade. A existência de líquido penetrante colorido à superfície da peça revela a existência de uma descontinuidade ou defeito.



ISEL



Figura 31 – Realização de ensaio por líquidos penetrantes

3.7.4 Ultra – Sons

Esta técnica consiste na aplicação de ondas sonoras de alta-frequência, com vista à detecção e localização de descontinuidades internas existentes no material. Este método é também largamente utilizado para a medição de espessuras, por intermédio do tempo de percurso dos ultrasons emitidos por cristais piezoelétricos (sondas) de alta frequência, incluindo a avaliação da quantidade de energia reflectida numa interface^[44], ou seja, as ondas de sons deslocam-se por entre a espessura do material, onde o reflexo destas nas interfaces é detectado e analisado para definição da presença e localização das descontinuidades^[7] existentes.

Com recurso a um ecrã digital para visualização da informação referente ao ensaio, este é normalmente realizado pela emissão de ondas longitudinais (feixe direito) ou com ondas de corte (feixe angular). As frequências mais utilizadas variam entre 1 a 5 MHz, com feixes de som a ângulos de 0°, 45°, 60° e 70° cuja referência é a perpendicular à superfície do material.



ISEL



Figura 32 – Realização de ensaio por ultra - sons

3.8 Revestimento

Conforme analisado no § 2 – “Construção da Tubagem de GN em Fábrica”, o revestimento dos tubos é produzido em fábrica, garantindo que as extremidades de cada tubo são isentas de revestimento numa extensão de 150mm, protegendo assim o próprio revestimento da sua degradação por acção do calor proveniente da soldadura, bem como a zona do chanfro de uma eventual deposição de contaminantes.

Após a execução e consequente validação dos ensaios radiográficos, a zona soldada é revestida com materiais à base de betume ou alcatrão isento de fenóis ou resinas sintéticas.

A aplicação dos revestimentos deverá obedecer às especificações dos fabricantes. São vulgarmente utilizadas mangas termo retrácteis^{76[3]}, facultando uma protecção química e mecânica.

⁷⁶ Resinas epoxídicas cuja adesão à tubagem é efectuada por acção do calor.



Figura 33 – Aplicação de manga termo retráctil em junta soldada

3.9 Ensaios ao Gasoduto

3.9.1 Ensaios de Resistência Mecânica e Estanquidade

Antes da entrada em serviço, as tubagens deverão ser submetidas a ensaios de resistência mecânica e de estanquidade^[43]. O comprimento máximo do troço a ensaiar deverá ser inferior a 15Km, ou o volume da tubagem inferior a 3000m³ ^[43]. A pressão máxima de ensaio^[2] não deverá exceder 95% do valor da tensão de limite de elasticidade da tubagem, sendo determinada pela fórmula da Equação. 5.

$$P_t = \frac{20 \times 0,95 \times S \times t}{D_e}$$

(Eq. 5)



ISEL

Onde:

P_t = Pressão de Teste, em bar

S – Tensão de limite de elasticidade da tubagem, em N/mm^2

t – Espessura mínima da tubagem, em mm

D_e – Diâmetro externo da tubagem, em mm

A pressão mínima de ensaio, é determinada da seguinte forma:

$$P_{t\min} = 1,4 \times MAOP$$

(Eq. 6)

Onde:

P_t = Pressão de teste, em bar

MAOP – Pressão de operação máxima admissível, em bar

De referir que após o enchimento com água, o gasoduto deverá estar isento de ar⁷⁷, procedendo-se à purga do volume de ar remanescente estando o volume de água associado a uma determinada pressão de ensaio, evidenciada num registador contínuo e comprovada por um manómetro ligado a uma balança de pesos mortos.⁷⁸

⁷⁷ Por forma a garantir a ausência de ar na tubagem, a velocidade pressurização da água deverá ser realizado a uma pressão inferior a 3bar/minuto.

⁷⁸ Método comparativo para análise do valor da pressão registado no registador de pressão. A balança de pesos mortos actua sob o princípio dos vasos comunicantes, onde discos com diferentes pesos são colocados em cima das bandejas rotativas. A pressão exercida é transferida para um manómetro permitindo a leitura do valor de pressão. A leitura do manómetro reflecte o somatório dos pesos colocados na bandeja.



ISEL



Figura 34 – Execução de ensaio hidráulico a gasoduto com recurso a balança de pesos mortos



Figura 35 – Vista de ponto terminal de enchimento do gasoduto, vulgarmente designado por “cabeça de teste”



ISEL

A metodologia de ensaio pode ser descrita através da visualização das operações, conforme o exposto na Figura 36.^{16] [17] [42]}:

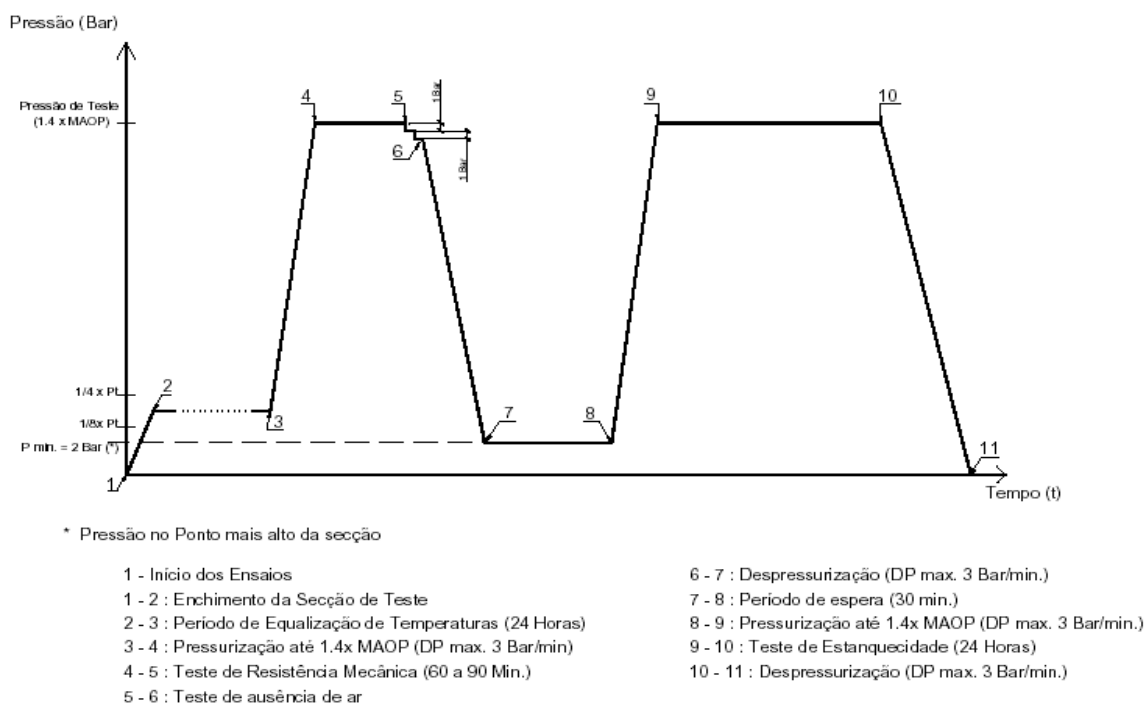


Figura 36 – Procedimento de execução de ensaio hidráulico e de estanquidade

3.10 Ensaio Dielétrico

A rigidez dielétrica do revestimento deve ser de 5000V acrescida de 5000V por milímetro de espessura de camada isolante, até um máximo de 25 000V.



ISEL

O ensaio dieléctrico é realizado com recurso a uma máquina de detecção de porosidades do revestimento, composta por uma anel que envolve a tubagem a inspeccionar, sendo este anel movido manualmente por uma haste que se encontra ligada a um gerador portátil de alta tensão. Caso o metal do referido anel estabeleça algum contacto directo com o metal da tubagem, tal indicará a existência de uma falha no revestimento no ponto de contacto metal/metal, detectado pela emissão de um sinal sonoro agudo e localizado pela visualização de um arco eléctrico na zona da falha do revestimento.



Figura 37 – Execução de ensaio dieléctrico ao revestimento de tubagem

3.11 Protecção Catódica

Este tema é abordado detalhadamente no § 4 “Técnicas de Inspeção e Monitorização”.



ISEL

3.12 Cobertura de Vala

Antes da colocação da tubagem, o fundo da vala deverá ser coberto com areia doce, isenta de pedras ou outros elementos contundentes e distribuída uniformemente compreendendo uma espessura de 10cm.

Sobre a tubagem deverá ser colocada uma camada de areia compactada com 15cm, conforme apresentado na Figura 38.



Figura 38 – Colocação de tubagem na vala

A sinalização do gasoduto na vala é efectuada pela colocação de uma fita amarela contendo a inscrição das palavras “ATENÇÃO – GÁS”, espaçadas a cada metro, conforme exposto na figura seguinte.



Figura 39 – Colocação de fita avisadora “Atenção Gás”

Sobre o leito de areia anteriormente referido e até ao nível de colocação da fita avisadora (a 30cm da geratriz superior da tubagem), a vala é coberta com o material proveniente da escavação, caso este seja adequado, caso contrário, deverá ser coberta com areia ou pó de pedra, sendo esta camada sujeita a compactação mecânica.

A profundidade mínima de implantação das tubagens é de 80cm, medida esta determinada pela distância entre a geratriz superior da tubagem e o nível do solo.

Para a travessia de terrenos de fraca consistência são adoptadas medidas especiais^[42] destinadas a assegurar a estabilidade da tubagem no nível fixado, impedindo-a quando for caso disso de subir para a superfície do solo ou flutuar⁷⁹.

⁷⁹ Para zonas de instalação de tubagem em cursos de água é aplicado o Betão “in situ”, para zonas de elevado nível freático são utilizados muretes de betão.



ISEL



Figura 40 – Colocação de muretes de betão

3.13 Estações de Regulação e Medida

As Estações de Regulação e Medida são sistemas constituídos por tubagens, válvulas, equipamentos de filtragem, regulação de pressão, segurança e medida, instalados no gasoduto. A pressão inicial da linha é dependente de variáveis como a energia potencial do fluido⁸⁰, ou da variação de caudal⁸¹. No sentido de garantir um determinado caudal de gás na linha, é necessário compensar as perdas de pressão que se verificam ao longo do traçado do gasoduto.

Tal compensação poderá ser efectuada das seguintes formas: aumento da pressão em pontos intermédios do gasoduto, caso se verifique uma descida indesejada nos valores de pressão, ou pelo aumento da entrada de gás para compensação de um eventual consumo em excesso, pelo que dependendo da sua capacidade, cada Estação^[42] terá a sua constituição específica.

⁸⁰ Considera-se como energia potencial a diferença de cotas altimétricas entre os pontos de entrada e abastecimentos ao longo do traçado.

⁸¹ Resulta da variação das forças de atrito entre o escoamento do fluido e as parede interna da tubagem.



ISEL

Uma Estação de Regulação e Medida⁸² deverá compreender as seguintes instalações:

Sala de Processo – Sistema de regulação e medição completamente equipados com filtros, permutadores, medidores de caudal, respectivas tubagens, válvulas e acessórios associados, para fornecimento de gás natural às caldeiras⁸³;

Sala de Aquecimento – Conjunto de caldeiras com as respectivas chaminés, para produção da água quente necessária aos permutadores de calor, bombas de circulação de água quente, vasos de expansão, válvulas tubagens e acessórios necessários para garantir o correcto funcionamento dos sistemas de aquecimento;

Sala de Odorização – Equipamento de odorização constituído pelo contentor odorizante⁸⁴;

Sala Eléctrica – Constituída por duas zonas separadas: uma das zonas contém o equipamento de alimentação, comando e controlo das válvulas da estação e do equipamento da GRMS e a outra zona destina-se ao armazenamento de baterias eléctricas para alimentação à Estação em caso de falha de alimentação de energia da rede pública.



Figura 41 – Vista geral de uma estação de gás “GRMS”

⁸² Vulgarmente designada por “GRMS – Ground Reduce Metering Station”.

⁸³ A alimentação do gás as Caldeiras pretende aquecer o gás da temperatura de 0°C (temperatura de entrada) para os 5°C (temperatura de saída), evitando a condensação do gás nas paredes das tubagens expostas da GRMS.

⁸⁴ THT – Tetrahidrotiofeno. Substância que confere o tradicional “cheiro a gás”. Ver § 1.1.



3.14 Instrumentação

Os gasodutos compreendem um sistema de comunicação para a recolha e processamento de dados dos vários elementos que constituem uma rede de transporte de gás natural. Tal informação é integrada no sistema de instrumentação SCADA⁸⁵.

Este sistema visa assegurar o controlo da informação em tempo real, garantindo a segurança de pessoas e bens com monitorização remota⁸⁶ dos dados. O SCADA poderá ser configurado de acordo com os elementos disponíveis pelo sistema de instrumentação da concessionária, sendo na maioria das vezes utilizado para a monitorização da seguinte informação: pressão, temperatura, caudal, visualização de estados de válvulas em tempo real, sincronização dos vários equipamentos, distribuição de dados de qualidade obtidos em equipamentos de análise, valores da protecção catódica e comandos de emergência.

Através das Unidades Terminais Remotas (RTU), Controladores Lógicos Programáveis (PLC) e outros equipamentos electrónicos de medição é efectuada a transmissão da comunicação via GPRS para o Sistema Central, bem como para os telemóveis dos colaboradores da concessionária, cuja transmissão de alertas é estabelecida em tempo real.

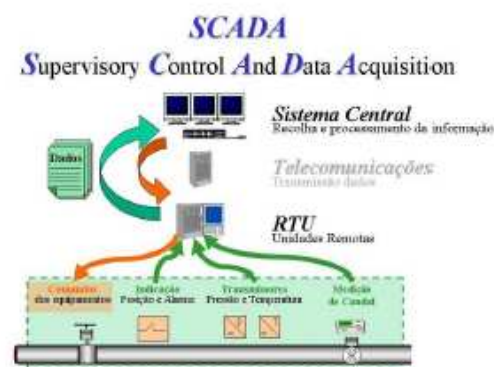


Figura 42 – Sistema SCADA da REN Gasodutos^[42]

⁸⁵ SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition.

⁸⁶ Sistemas de programação, responsáveis pelas acções de telecomando e telemetria. Os sistemas de telecomando permitem operar à distância actuadores que manipularão a abertura e fecho de válvulas, param e repõe em funcionamento os pontos de entrega, actuam sobre a injeção da corrente de protecção catódica, aumentando o potencial de protecção. Os sistemas de telemetria, armazenam os dados físicos (ex: pressão, caudal e temperatura), sendo esses dados enviados ao centro principal de controlo do sistema SCADA.



Todos os dados de instrumentação recolhidos no gasoduto são baseados em infra-estruturas de fibra-óptica. A conduta de fibra-óptica⁸⁷ é instalada^[43] paralelamente ao gasoduto na posição das 2 horas em relação ao sentido do fluxo de gás, conforme apresentado na Figura 43.



Figura 43 – Instalação de caboduto de fibra óptica, para transmissão de dados

3.15 Sinalização do Gasoduto

Após a reposição dos terrenos tem início a actividade de sinalização do gasoduto, executado através da instalação de tomadas de potencial para identificação das linhas de transporte de gás natural, conforme pode ser evidenciado pela Figura 44. A sinalização do gasoduto é contemplada em fase de projecto. Em campo deverão ser instaladas tomadas de potencial espaçadas a cada 500 metros, ou sempre que se verifique um ponto de inflexão no traçado, ou pontos de travessia do gasoduto.

⁸⁷ Designação comum – Caboduto.



ISEL

Desta forma é garantido o acesso visual da tomada de potencial anterior à tomada de potencial seguinte, possibilitando a realização de inspeções visuais após a cobertura do gasoduto na vala. Cada tomada de potencial deverá contemplar a seguinte informação: identificação da linha e da Concessionária, profundidade de instalação do gasoduto naquele ponto específico e a distância a uma referência fixa.



Figura 44 – Instalação de uma Tomada de Potencial para sinalização do Gasoduto e recolha do potencial de Protecção Catódica



4. TÉCNICAS DE INSPECÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE GASODUTOS

A integridade de um gasoduto é assegurada por um conjunto de técnicas de inspecção que permitem a detecção de defeitos de fabrico⁸⁸ de materiais, defeitos de construção⁸⁹ e defeitos de operação⁹⁰.

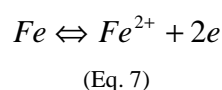
Modernas técnicas utilizadas para a avaliação da condição dos gasodutos possibilitam a monitorização das características de um gasoduto em serviço, assegurando a sua avaliação, face às condições de operação.

Deu-se particular relevância à protecção catódica, face a outros processos descritos complementares de avaliação da condição dos gasodutos.

4.1 Protecção Catódica

De forma a se entender o mecanismo básico da protecção catódica é primeiramente necessário entender o mecanismo do processo de corrosão. A corrosão^[27] é na maior parte das vezes desencadeada por uma reacção electroquímica, envolvendo um metal (superfície da tubagem) e um meio electrolítico (solo). Os solos, por mais secos que aparentem ser contem sempre água, actuando como excelentes meios electrolíticos para a passagem de corrente eléctrica. A resistividade eléctrica do solo é um dos factores mais relevantes no processo de corrosão de metais enterrados, sendo que quanto menor o seu valor, mais facilmente se formarão pilhas de corrosão. A Corrosão é um processo electroquímico^[39] envolvendo a transferência de electrões e de iões.

O processo da dissolução do metal ou no caso presente do aço é composto pela dissolução do ferro, designada por reacção anódica e pode ser representada conforme apresentada na Equação 7:



⁸⁸ Laminagem, fissuração por fadiga.

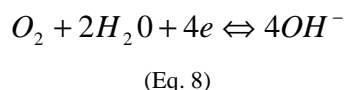
⁸⁹ Defeitos de soldadura, ineficiente aplicação do revestimento ou outros.

⁹⁰ Cargas externas que actuam sobre o tubo, podendo provocar entalhes ou arranque de material.

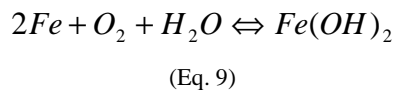


ISEL

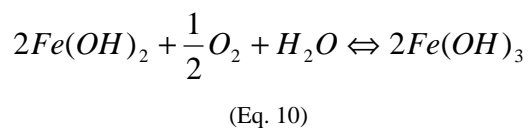
A reacção anódica envolve a perda de electrões e simultaneamente a dissolução do ferro. Os electrões encontram-se no metal e migram da superfície do ferro por meio condutor, sendo então consumidos pelo processo de remoção do oxigénio dissolvente no meio electrolítico que envolve a tubagem. Este processo é designado por reacção catódica e implica o ganho de electrões conforme apresentado na Equação 8:



A corrosão de um aço envolve ambas as reacções anódicas e catódicas. Conjugando as Equações 7 e 8 tem-se, a reacção química apresentada na Equação 9 seguidamente descrita:



O hidróxido ferroso pode então sofrer uma oxigenação, pela dissolução do oxigénio no meio para se formar hidróxido férrico conforme exposto na Equação 10. O produto final é a conhecida ferrugem avermelhada ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$).



Em cada peça de aço observa-se que a sua superfície está longe de ser homogénea. Há diferentes áreas de concentração de tensões, micro impurezas, em micro estruturas diferenciadas, que irão conduzir a uma gama de diferentes potenciais na interface com o electrolito (solo). A superfície do aço actua assim como uma área distribuída de aleatórias zonas catódicas e anódicas de dimensão microscópica. Como resultado, há um fluxo de corrente e a corrosão ocorre ao longo das zonas anódicas. Nas zonas catódicas não ocorre corrosão, sendo que o único processo em decurso é o da redução.



ISEL

METAL	POTENCIAL (MV) COM RELAÇÃO A CU/CUSO ₄ , À TEMPERATURA AMBIENTE	
Carbono	+300	nobre/ electropositivo
Platina	-100	
Aço finamente maquinado	-200	
Ferro fundido com silício	-200	
Cobre, latão, bronze	-200	
Betão em malha de aço	-200	
Chumbo	-300	
Ferro fundido	-300	
Aço macio (corroído)	-200 a -500	
Zinco	- 1.100	
Liga de magnésio	-1.600	base/electronegativo
Magnésio	-1.750	

Quadro 8 – Tabela de séries galvânicas⁹¹

A protecção catódica numa tubagem enterrada irá prevenir o risco de corrosão galvânica e também a existência de pilhas de arejamento diferencial, uma vez que toda a estrutura adquire um potencial uniforme e mais electronegativo da peça (cátodo) à qual se encontra ligada.

⁹¹ Valores retirados de documentação do curso NACE, Certificação CP 1, 2008 USA.



ISEL

4.1.1 Acção da Protecção Catódica e o controlo da Corrosão

Tendo em conta as considerações anteriores é evidente que, se a corrente circula de uma estrutura metálica (tubagem) para um electrólito (solo), irá ocorrer a perda de electrões na tubagem e sua consequentemente degradação por corrosão. Ao converter a tubagem em cátodo, esta não irá mais ceder electrões e consequentemente a corrosão será impedida pelo que a estrutura permanecerá imune à corrosão. Este é o conceito da **Protecção Catódica**^[31].

A Protecção Catódica é aplicada em complemento ao revestimento exterior da tubagem e actua como a forma mais primária no processo de controlo da corrosão, uma vez que o revestimento externo não permite garantir uma adesão à totalidade da tubagem. A combinação da protecção catódica com a acção do revestimento é reconhecidamente a forma mais viável do ponto de vista técnico e económico para mitigar o processo de corrosão em tubagens de aço enterradas.

A protecção catódica é pelo anteriormente exposto, uma medida imprescindível na prevenção da corrosão, aplicada com o objectivo de prolongar a vida útil da tubagem e reduzir a probabilidade de falhas e suas consequentes implicações.

4.1.2 Limite de Protecção

Geralmente os limites de protecção estabelecidos baseiam-se no facto do potencial da semi-pilha formado pela tubagem (eléctrodo) enterrada em terreno normal (electrólito), medido em relação ao eléctrodo de referência de Cu/CuSO₄, se situar compreendido entre -1000mV e -2000mV^[39].

Este critério é aplicado ao posicionar-se o eléctrodo de referência à superfície do solo na geratriz do eixo da tubagem, posição válida para se medir o potencial natural⁹² da tubagem.

⁹² Potencial medido antes da aplicação da protecção catódica.

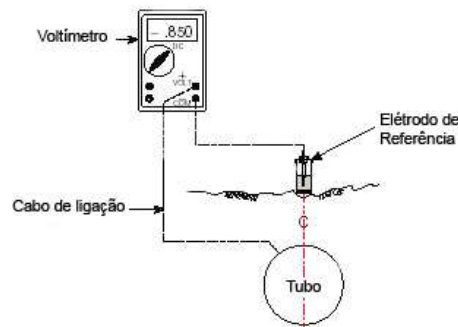


Figura 45 – Representação esquemática da recolha do potencial de protecção catódica⁹³

Naturalmente a Protecção Catódica obedece à concepção de um projecto previamente executado em função de um estudo de viabilidade (medição da resistividade dos solos, selecção dos locais para instalação do leito de ânodos, cálculos e outros). Após a instalação de um sistema, este deverá ser comissionado⁹⁴ de forma a garantir a sua operacionalidade.

De referir que um dimensionamento incorrecto do sistema poderá resultar no fenómeno de Sobre Protecção da tubagem, ou seja, um nível excessivo de protecção catódica aplicado.

A sobre protecção pode ocorrer, caso a corrente a fornecer pelo sistema seja excessiva e o potencial da estrutura demasiado negativo. Complementarmente representa um desperdício de energia^[15], podendo também ter efeitos contra-producentes na tubagem, como por exemplo defeitos na pintura ou descolamento do revestimento.

⁹³ Imagem modificada de documentação do curso NACE, Certificação CP 1, 2008 USA

⁹⁴ O comissionamento é a recolha de um conjunto de medições que certifica a conformidade do sistema de Protecção Catódica instalado. A Norma Design Engineering Practice 30.10.73.33 – Installation and Commissioning of Cathodic Protection Systems, apresenta as medições que deverão ser executadas.

⁹⁴ Com conseqüente encargo financeiro, associado ao valor do KW/hora.



4.1.3 Tipos de Sistemas de Protecção Catódica

4.1.3.1 Sistema de Protecção Catódica por Ânodos de Sacrifício

No caso de uma tubagem enterrada de menor extensão, o processo da protecção catódica realiza-se de troço em troço^[13], ao estabelecer a ligação destes a peças de magnésio⁹⁵ ou zinco igualmente enterradas, conforme representado na Figura 46. Estabelece-se portanto uma diferença de potencial entre ambos (tubagem e ânodos), onde o potencial dos referidos ânodos (mais electronegativo) tende a polarizar a tubagem, que por se encontrar envolta num meio electrolítico como o solo, adquire um comportamento anódico, elevando o seu potencial natural⁹⁶, para um potencial mais electronegativo, isto é para um potencial de protecção⁹⁷.

Em resultado, o potencial dos ânodos de sacrifício tenderá a assumir um valor menos electronegativo, à medida que os ânodos se vão consumindo para proteger a tubagem.

Este tipo de sistema é concebido para solos de baixa resistividade, indicado para instalações de pequena extensão. A polarização da tubagem é efectuada de forma auto-compensada, pela ligação directa de ambos, uma vez que não existe qualquer fonte externa de energia.

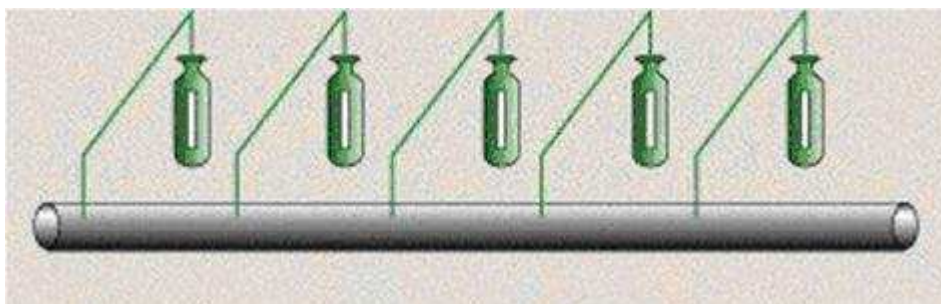


Figura 46 – Representação esquemática de um Sistema de PC por ânodos de sacrifício^[33]

⁹⁵ São mais vulgarmente utilizados ânodos de sacrifício de magnésio, que apresentam um potencial de -1650mV face aos ânodos de zinco que compreendem um potencial na ordem dos -1100mV .

⁹⁶ Potencial remanescente na tubagem, antes da instalação de um sistema de protecção catódica.

⁹⁷ Considera-se que uma tubagem se encontra catodicamente protegida quando atinge um potencial de protecção mais electronegativo que -950mV .



4.1.3.2 Sistema de Protecção Catódica por Correntes Impressas

Este constante fornecimento de electrões ao gasoduto pode no entanto ser processado a partir de uma fonte de corrente externa de corrente contínua⁹⁸, que terá o seu pólo negativo ligado à tubagem que se pretende proteger e o seu pólo positivo ligado ao leito de ânodos de sacrifício⁹⁹, por sua vez, enterrados a uma distância conveniente para a tubagem^{100[12]}. Sob este esquema de ligação representado na Figura 47, a corrente contínua circula a partir do condutor (ânodo) em direcção à tubagem, utilizando a terra como electrólito, produzindo uma concentração de electrões na parede externa da tubagem^[12].

Esta corrente é dimensionada em função da capacidade de débito dos ânodos utilizados¹⁰¹. Este último procedimento denomina-se protecção catódica por Correntes Impressas. Este sistema é concebido para gasodutos de maiores extensões onde as condições das envolventes específicas (elevada resistividade dos solos, requisitos elevados de corrente para proteger o sistema ou pela necessidade de maior vida útil de projecto a implementar), determinam a adopção deste sistema.

O leito de ânodos poderá ser disposto horizontalmente ou verticalmente, devendo o seu local de instalação ser conjugado em função da resistividade dos solos, que por sua vez não deverá ser superior a 50 ohm.cm, bem como da disponibilidade de energia eléctrica naquele ponto do traçado para alimentação ao Transformador Rectificador.

⁹⁸ Vulgarmente designado de Transformador – Rectificador.

⁹⁹ Conjunto de ânodos envoltos em carvão activado. Ambos os sistemas de PC utilizam ânodos de sacrifício. O sistema de PC por correntes impressas utiliza complementarmente uma fonte externa de corrente, vulgarmente designada por Transformador – Rectificador.

¹⁰⁰ A distância mínima entre os ânodos e a tubagem num sistema de PC por correntes impressas, deverá ser de 100 metros.

¹⁰¹ Num sistema de PC por correntes impressas são normalmente utilizados ânodos de material em ferro-silício ou óxido de titânio, que apresentam um potencial na ordem dos -2000mV e -2200mV respectivamente.

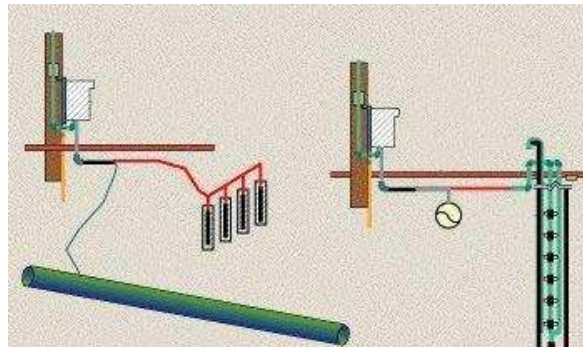


Figura 47 – Representação esquemática de sistema de PC por correntes impressas com leito de ânodos horizontal (esquerda) e leito de ânodos vertical (direita)^[33]

4.2 Técnicas de Inspeção de Protecção Catódica em Gasodutos

A manutenção de um gasoduto implica a análise do estado de integridade da tubagem, do seu revestimento, bem como dos seus elementos constituintes.

A presente análise focaliza a sua acção em duas grandes técnicas de inspeção de gasodutos sem necessidade à sua exposição, dado estas inspeções serem realizadas por via da protecção catódica: a técnica DCVG¹⁰² e a técnica CIPS¹⁰³, descritas em § 4.2.1 e § 4.2.2 respectivamente.

4.2.1 Técnica DCVG

A inspeção DCVG (Direct Current Voltage Gradient) permite a identificação de defeitos no revestimento. Esta técnica consiste, na inspeção sobre o gasoduto enterrado, monitorizando o potencial de protecção catódica ao longo da linha e identificando através do gradiente de tensões possíveis defeitos no revestimento.

Desta forma pode também ser aferida a interpretação sobre o estado do sistema de protecção catódica e do nível de corrosão da tubagem, em pontos de possíveis defeitos no revestimento.

¹⁰² DCVG – Direct Current Voltage Gradient.

¹⁰³ CIPS – Current Interrupter Potential Survey.



Figura 48 – Inspeção DCVG ^[32]

Este método é realizado pela injeção de uma corrente contínua pulsada na tubagem enterrada¹⁰⁴. Para injectar esta corrente é utilizada a energia de um sistema de protecção catódica, podendo este ser por correntes impressas ou por ânodos de sacrifício.

A corrente pulsada injectada origina nas tomadas de potencial um sinal de tensão oriundo dos impulsos enviados pelo sistema DCVG (por exemplo de 1,5 V ou 2 V), onde caso se verifique um defeito do revestimento da tubagem, a corrente pulsada irá provocar um gradiente de tensão no solo em torno da tubagem investigada.

A dimensão da falha no revestimento é detectada pela relação entre o potencial do sistema de protecção catódica e o potencial registado no DCVG¹⁰⁵.

Ao gradiente de tensão irá estar associada uma deflexão no ponteiro do voltímetro. Por sua vez, na geratriz da tubagem localizada, sob um possível defeito estará associada uma deflexão nula do ponteiro.

¹⁰⁴ Valor que varia entre os 2/3 de segundo e 1/3 de segundo.

¹⁰⁵ Potencial medido com os eléctrodos de referência de Cu/CuSO₄ do DCVG no contacto com o solo.



ISEL

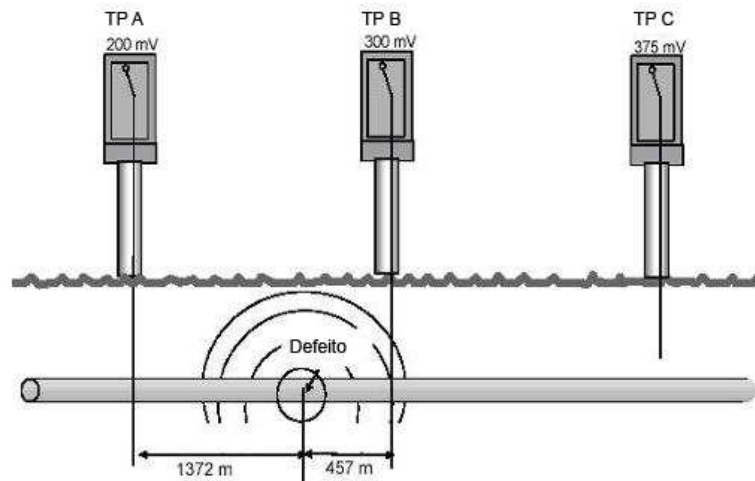


Figura 49 – Esquema de detecção de falha no revestimento pela análise do gradiente de tensões¹⁰⁶

Assim, a fórmula de cálculo para a caracterização de defeitos DCVG^[14] é dada pela seguinte equação:

$$S_D = S_A + \left[\left(\frac{d_A}{d_A + d_B} \right) (S_B - S_A) \right]$$

(Eq. 11)

Onde,

S_A : valor do sinal medido na Tomada de Potencial localizada a montante do defeito

S_B : valor do sinal medido na Tomada de Potencial localizada a jusante do defeito

S_D : valor do sinal medido na ponto de falha do revestimento

d_A : distância da Tomada de Potencial localizada a montante do local do defeito

d_B : distância da Tomada de Potencial localizada a jusante do local do defeito

¹⁰⁶ Imagem modificada de documentação do curso NACE, Certificação CP 1, 2008 USA.



ISEL

A dimensão ou severidade do defeito do revestimento, é dado pelo parâmetro %IR, determinado em campo pela seguinte equação:

$$\text{Dimensão/Severidade do defeito (\%IR)} = \frac{\sum \text{Potenciais na zona do defeito}}{S_D} \times 100\%$$

(Eq. 12)

em que:

IR – indicação do defeito, (%)

Σ Potenciais na zona do defeito – potencial registado no DCVG, em mV

S_D – valor do sinal medido na ponto de falha do revestimento, em mV

Com os valores recolhidos da Equação 12, procede-se à acção correctiva em conformidade com o Quadro 9.

% IR	ACÇÃO
0 – 15	Pela pequena dimensão do defeito, considera-se o defeito como sendo desprezável.
15 – 35	Considerar reparação. Há um defeito no revestimento, de reduzidas dimensões.
35 - 50	Necessidade de Intervenção. Existe um dano no revestimento que caso não seja reparado, poderá acentuar o início de um processo de corrosão.
>51	Reparação Imediata. A extensão da falha no revestimento implica uma exposição de uma considerável superfície da tubagem, que coloca em causa o funcionamento da protecção catódica de forma eficiente, aumentando assim, o risco de corrosão.

Quadro 9 – Classificação de defeitos pelo método DCVG^[14]



ISEL

4.2.2 Técnica CIPS

Esta técnica de inspecção permite através de uma análise ao sistema de protecção catódica a possível aferição da qualidade e detecção de zonas com defeitos no revestimento, que consiste na inspecção sobre o gasoduto enterrado, realizando recolhas das leituras de protecção catódica ao longo das tomadas de potencial existentes.

A inspecção CIPS (Current Interval Potential Survey) compreende um equipamento de leitura composto por um quadro electrónico, ligado a uma haste contendo na sua extremidade um eléctrodo de referência de Cu/CuSO_4 , que por sua vez, ao contactar com o solo recolhe os valores de potencial a analisar registando-os na memória interna do dispositivo. Para garantia da tubagem a analisar, a inspecção CIPS é precedida por uma identificação à referida tubagem, com recurso a um equipamento de radiodeteção, desfasando-se o posicionamento de ambos (CIPS e radiodeteção) em poucos metros e de forma síncrona, o que permite uma progressão no terreno de forma mais otimizada para a inspecção a realizar, conforme apresentado na imagem seguinte.



Figura 50 – Inspeção CIPS, seguida de identificação da tubagem por radiodeteção ^[32]



ISEL

Esta técnica é apenas aplicável a sistemas de Protecção Catódica por Correntes Impressas. A análise CIPS consiste na interpretação conjunta do potencial ON¹⁰⁷, potencial instantâneo OFF¹⁰⁸, e débitos de corrente do sistema de PC. A diferença entre o potencial ON e o potencial OFF é designada por “IR drop”^[14]. Este parâmetro reflecte a diferença entre o potencial de protecção medido à superfície do solo na geratriz da tubagem e o potencial de protecção medido em contacto directo com a tubagem. Em suma, a diferença de potencial designada por “IR drop” é um valor composto pela diferença de potenciais ao qual está associado a resistividade do solo e a resistência do revestimento. Desta forma, uma redução do parâmetro “IR drop” constitui um indicador da redução da qualidade do revestimento.

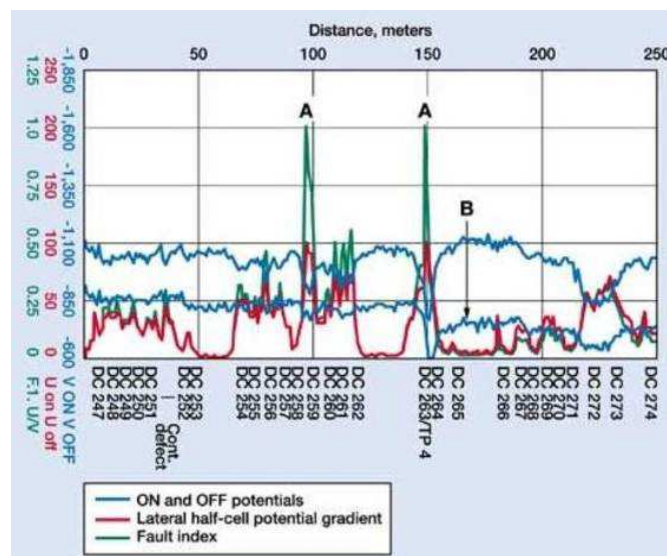


Figura 51 – Visualização de um registo de medição CIPS.¹⁰⁹

¹⁰⁷ Potencial de protecção catódica com o sistema energizado.

¹⁰⁸ Potencial de protecção catódica que a tubagem conserva, um segundo após a interrupção do sistema de PC.

¹⁰⁹ Imagem modificada de documentação facultada pelo Prof. Dr. Patrick Lydon, Londres UK.



4.3 Inspeção Interna “PIGS¹¹⁰”

Outro processo bastante importante mas bastante oneroso é a inspeção interna aos gasodutos através de dispositivos PIG. Este dispositivo consiste num corpo de espuma de poliuretano em forma de bala, que pode ter várias densidades, cujo revestimento do corpo vai desde o elastómero de poliuretano a escovas de aço.

Após a entrada em serviço de um gasoduto há um conjunto de parâmetros relativos ao estado de integridade das tubagens, cuja monitorização é determinante para a detecção de análise de falhas.

A utilização de PIGS constitui por isso uma das mais importantes técnicas de inspeção utilizada na manutenção de gasodutos, onde a informação recolhida por este elemento requer uma interpretação em conformidade com as normas¹⁴ e códigos aplicáveis. A colocação e recolha destes dispositivos no gasoduto é executada em infra-estruturas próprias para o efeito, designadas por Rampas Lançadoras ou Receptoras de PIGs¹¹¹. Uma vez colocado o PIG no gasoduto, este se deslocará por acção da pressão do fluido.

Após a devida análise a recolha de informações possibilita o conhecimento do: nº de soldaduras, variação de espessura, válvulas e ramais. Complementarmente, o PIG permite a recolha de elementos relativos a um eventual defeito na linha: tipo, dimensão, caracterização da descontinuidade¹¹² e localização¹¹³.

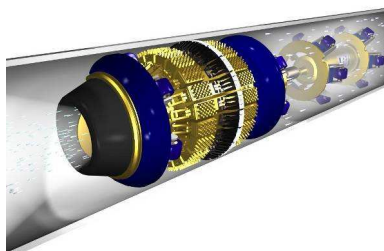


Figura 52 – Representação de um PIG com tecnologia VSL¹¹⁴ para inspeção de tubagem¹¹⁵

¹¹⁰ Do inglês Pipeline Inspection Gauge, i.e, equipamento de inspeção a tubagens.

¹¹¹ As rampas lançadoras ou receptoras de PIGS são instaladas nas Estações de Gás, e.g: GRMS.

¹¹² Entende-se por caracterização de uma descontinuidade, os dados relativos a: profundidade, comprimento, largura e perfil.

¹¹³ Os graus de incerteza variam entre os $\pm 1\%$.

¹¹⁴ A tecnologia VSP (“Variable Speed Pig”) permite regular a quantidade de gás que passa pelo corpo do mandril, permitindo o controlo da velocidade com referência a um valor pré-estabelecido.

¹¹⁵ Imagem modificada de documentação Transgás, 2001.



Registam-se os tipos de PIG mais vulgarmente utilizados:

- Calibre – tem como objectivo a detecção de restrições ao longo da tubagem;
- Limpeza e secagem – possibilita a melhoria da condição interna da tubagem visando melhorar as condições de escoamento do gás e melhor percepção dos elementos recolhidos;
- Ultra-Sons – Requer um líquido de contacto para a sonda que transmite ondas sonoras de alta velocidade para dentro e fora da parede do tubo e mede desta forma, o tempo entre impulsos sonoros calculando a espessura do tubo em cada ponto do varrimento;
- Geométrico – analisa o gasoduto na sua forma tridimensional possibilitando identificar movimentos por acção de pressões do solo;
- Detector de fissuras – identifica fissuras existentes no material base das tubagens;
- Detector de integridade do revestimento – analisa a espessura do revestimento e o eventual descolamento deste à parede da tubagem;
- Fluxo magnético de corrente (MFL¹¹⁶) – detecta defeitos através de correntes induzidas que geram um campo magnético na parede do tubo, analisando através da sua distorção as irregularidades ou descontinuidades nas tubagens.

O “pig” MFL é particularmente utilizado para cálculos de análise de vida restante. As forças externas que actuam sobre um gasoduto podem resultar em deformações geométricas e magnéticas, isto é, a parte geométrica do sinal recolhido resulta de eventuais entalhes, perda de metal e consequente redução de espessura na parede da tubagem, enquanto que a variável magnética do sinal recolhido, irá possibilitar a interpretação de dados relativos a tipos de anomalias físicas ou estruturais do aço, a tensões no domínio plástico, às quais se encontram associadas tensões internas residuais.

¹¹⁶ MFL – “Magnetic Flow Leakage”



Actualmente os “pigs” MFL, possuem georreferenciação por satélite, o que possibilita a localização exacta do dispositivo ao longo do trajecto dentro do gasoduto.

O critério de aceitação^[5] estabelece acções correctivas para uma relação de defeitos superiores a 2% na razão do diâmetro do tubo com a tensão de limite de elasticidade do material da tubagem.

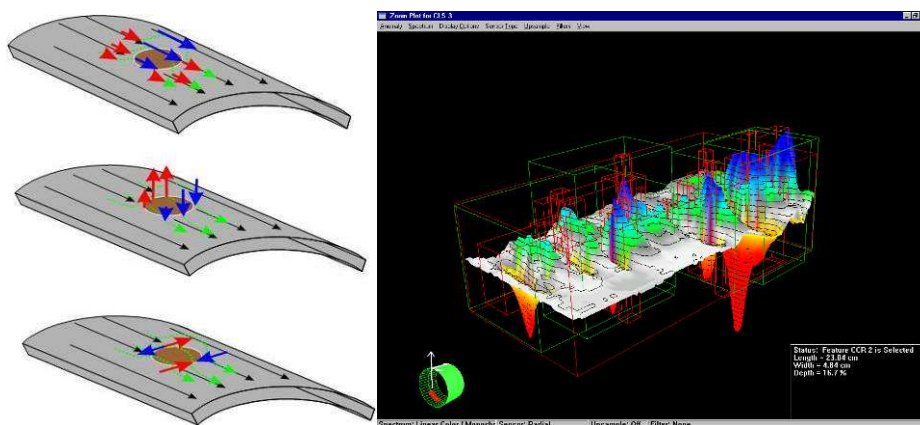


Figura 53 – Representação esquemática de uma interpretação de dados em inspecção por “pig”¹¹⁷

4.4 Inspeção “Guided Waves”

Recentemente foi desenvolvida a aplicação da inspecção por ondas guiadas em gasodutos, em linhas onde as anteriores técnicas descritas possam encontrar limitações. A inspecção de gasodutos por Ondas Guiadas, consiste num método coincidente com outras técnicas de monitorização, dado que pode ser aplicado de forma pontual ou continuada. Como anteriormente exposto, o fenómeno da corrosão representa um sério constrangimento ao correcto funcionamento de uma linha operação. Muito embora a Protecção Catódica constitua uma correcta técnica para controlo e monitorização deste fenómeno, a protecção catódica tem como campo de acção a parede externa da tubagem.

¹¹⁷ Imagem modificada de documentação Transgás, 2001.



ISEL

A inspeção no interior das tubagens tem como limitação primária a elevada dificuldade às áreas de inspeção. Como tal, ao longo dos últimos anos tem vindo a ser desenvolvida uma tecnologia que possibilita a observação do fenómeno da corrosão no interior dos gasodutos: a inspeção por “Guided Waves”¹¹⁸.

Esta técnica de inspeção, assenta na propagação de ultra-sons ao longo da tubagem e não através de uma tubagem¹⁹¹. Quer isto dizer que as superfícies internas e externas do material da tubagem, funcionam como um meio de transmissão para as ondas sonoras, o que faz com que o feixe sonoro seja propagado ao longo do comprimento da tubagem.

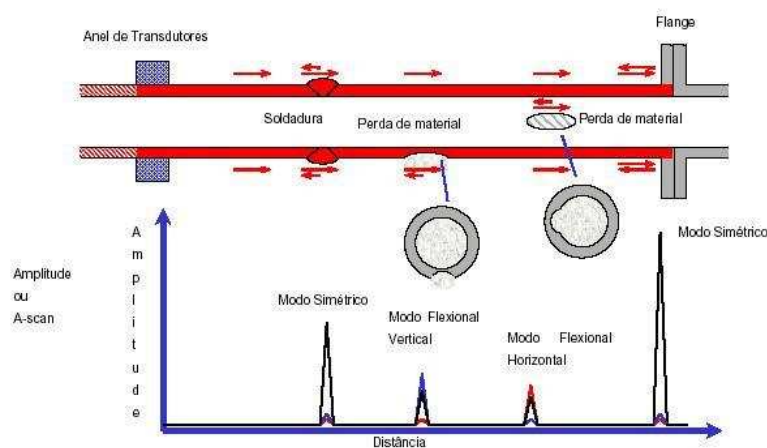


Figura 54 – Caracterização da inspeção por “Guided Waves”

O equipamento de “guided waves” excita o material com ondas longitudinais, transversais, ou torsionais¹¹⁹. Quando as ondas encontram uma mudança (impedimento) na secção recta do material, o sinal é reflectido em direcção à sonda emissora. A amplitude de resposta do sinal depende do tamanho da mudança, ou seja, da quantidade de material consumido numa determinada secção do material.

¹¹⁸ “Guided Waves” – Ondas Ultrassónicas guiadas.

¹¹⁹ Capaz de diferenciar entre indicações concentradas (mais críticas) e indicações com extensão circunferencial, utilizando o modo flexional.



ISEL

O equipamento utilizado para esta inspeção é composto por um anel de transdutores, que envia as ondas guiadas para montante e jusante do seu ponto de inserção, onde o varrimento das referidas ondas tem um alcance reflexo até 25m. Ao contrário de uma tradicional sonda de ultra-sons, a inspeção por “guided waves” não requer fluído de contacto nem a preparação da superfície. O tratamento da informação recolhida é processado mediante exaustiva análise, em conformidade com os códigos e normas aplicáveis.



Figura 55 – Técnica de operação “Guided Waves”^[9]

Esta técnica permite a inspeção em plena operação da tubagem implicando a exposição da tubagem apenas nos pontos de montagem do equipamento à tubagem.

Poderá dizer-se que a técnica de inspeção por “Guided Waves” constitui, uma das técnicas mais avançadas na análise de integridade dos gasodutos, em complemento com as técnicas de inspeção por protecção catódica, anteriormente descritas.



5. CARACTERIZAÇÃO DE AÇOS

Como visto no §2, os tubos utilizados na indústria gasista são habitualmente designados com a denominação Americana API¹²⁰, sendo cada tubo caracterizado em função do grau do aço, parâmetro que é associado à sua resistência mecânica.

Assim, a denominação de um aço pela classificação API poderá seguir a seguinte classificação:

API 5L X α :

Onde:

API – designação do tubo pela classificação americana

5L – Classe de tubos, englobados dentro da especificação para construção de gasodutos¹²¹

α - Dígitos denominativos da tensão de rotura do material, designados em ksi, sendo 1ksi=6,894 MPa

Ao longo do presente trabalho, foram usadas unidades do SI e de outros sistemas, cuja transcrição de fórmulas assim o exige (classificação de origem segundo sistema EUA).

As características mecânicas dos aços poderão ser representadas pela: Tensão de Limite de Elasticidade, Tensão de Rotura, e Alongamento¹²¹, definindo-se através destes parâmetros a adequação ao uso.

¹²⁰ American Petroleum Institute

¹²¹ De acordo com o API 5L, o valor do alongamento mínimo é determinado através da seguinte fórmula: $e = 1,944 \frac{A^{0,2}}{U^{0,9}}$



ISEL

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA SEGUNDO API 5L	TENSÃO DE LIMITE DE ELASTICIDADE (N/mm ²)	TENSÃO DE ROTURA (N/mm ²)	ALONGAMENTO (%)
A	207	331	28
B	241	413	23
X42	289	313	23
X52	358	455	21
X56	386	489	20
X70	482	565	18
X80	550	620	18

Quadro 10 – Classificação dos Tubos em função das características mecânicas¹²²

Estes tubos são fabricados a partir de ligas de aço onde o elemento predominante da sua composição química é o Carbono, que conjuntamente com outros elementos como o silício, manganês, fósforo e enxofre, entre outros são adicionados com o fim de conferirem propriedades específicas.

Na sua generalidade, um tubo de aço carbono, apresenta a seguinte composição química:

¹²² Tabela modificada de documentação Boehler Thyssen Técnica de Soldagem, Ltda.



ISEL

ELEMENTOS	GRAU B	GRAU X42	GRAU X52	GRAU X60	GRAU X70
C	0,04<C≤0,16	0,04<C≤0,16	0,04<C≤0,16	0,04<C≤0,16	0,04<C≤0,16
Si	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45
Mn	1,15	1,50	1,50	1,60	1,70
P	0,030	0,025	0,025	0,025	0,025
S	0,030	0,020	0,020	0,020	0,020
Nb	--	0,04	0,05	0,06	0,06
V	--	0,05	0,06	0,10	0,10
Ti	--	--	0,04	0,06	0,06
Outros Elementos	0,015<Al≤0,060 N≤0,08 (Al/N)≥2/1 Cu≤0,25 Ni≤0,30 B<0,0006% Cr<0,30 Mo<0,10	0,015<Al≤0,060 N≤0,08 (Al/N)≥2/1 Cu≤0,25 Ni≤0,30 B<0,0006% Cr<0,30 Mo<0,10	0,015<Al≤0,060 N≤0,08 (Al/N)≥2/1 Cu≤0,25 Ni≤0,30 B<0,0006% Cr<0,30 Mo<0,10	0,015<Al≤0,060 N≤0,08 (Al/N)≥2/1 Cu≤0,25 Ni≤0,30 B<0,0006% Cr<0,30 Mo<0,10	0,015<Al≤0,060 N≤0,08 (Al/N)≥2/1 Cu≤0,25 Ni≤0,30 B<0,0006% Cr<0,30 0,10<Mo≤0,35
		V+Nb+Ti ≤ 0,15%	V+Nb+Ti ≤ 0,15%	V+Nb+Ti ≤ 0,15%	V+Nb+Ti ≤ 0,15%
C _{eq} máx	0,40	0,38	0,39	0,40	0,42

Quadro 11 – Característica Químicas para Tubos API ^[42]

Independentemente da composição química, a aquisição de tubos para gás em conformidade com o código API 5L ^[2], encontra-se delimitada a dois níveis distintos de especificação de produtos¹²³, denominados por PSL 1 ou PSL 2.

A diferença fundamental entre estes reside num controle mais restritivo da composição química do material, bem como na definição de valores de tenacidade e resistência à tracção, sendo por isso a categoria de tubos PSL 2, associada a graus de aço mais elevados (Grau B a X 80).

¹²³ Tradução do inglês “Product Specification Level”, conforme designação exposta na literatura técnica para o efeito.



ISEL

O objectivo na definição de limites máximos de tenacidade e resistência à tracção, visa facilitar a selecção do material de adição, sendo pretendida uma compatibilidade nas características mecânicas do material base com o material de adição, evitando assim a formação de eventuais gradientes de resistência nas zonas das juntas soldadas.

Uma outra característica que distingue os tubos com a designação PSL 2, é o facto de os aços de todos os graus serem submetidos a ensaios de impacto Charpy¹²⁴ a uma temperatura de 0°C, devendo os seus resultados estar acima dos valores mínimos de energia absorvida.¹²⁵

Desta forma é evidenciado que o material mais adequado à construção de gasodutos é efectivamente o aço ao carbono.

Para um teor fixo em carbono, à medida que o elemento de liga é adicionado, o domínio austenítico expande-se ou contrai-se. A título de exemplo, a adição de silício, provoca uma contracção no domínio austenítico e uma expansão no domínio ferrítico. A adição de Vanádio ou Níquel provoca o aumento do domínio austenítico.

¹²⁴ Este ensaio consiste na realização de um teste válido para avaliar a tenacidade ao impacto de um material. Na configuração original do corpo de prova é efectuado um entalhe, medindo-se a energia consumida para promover a fractura desse corpo de prova. De acordo com o resultado do teste, analisa-se o mecanismo de fractura, denominando-se fractura dúctil aquela que consome uma grande quantidade de energia, enquanto que a fractura frágil é aquela que consome uma pequena quantidade de energia. A análise ao tipo de fractura é efectuada por inspecção visual à superfície fracturada, caracterizando-se por fractura frágil uma superfície com um aspecto brilhante e fractura dúctil uma superfície mais escura e de aspecto rugoso.

¹²⁵ Resultados superiores a 27J e 41J para corpos de prova de orientação transversal e longitudinal à chapa. Para o aço X80, os valores de energia mínima absorvida deverão ser de 68J em corpos de prova com orientação transversal e 101J em corpos de prova com orientação longitudinal.



Considerando apenas os aços em que a austenite se transforma em ferrite e carbonetos, através do processo de arrefecimento lento, os elementos de liga, poderão ser classificados da seguinte forma:

ELEMENTO	CATEGORIA
Níquel, Cobre, Fósforo e Silício	Elementos que aparecem na Ferrite
Manganês, Crómio; Molibdénio; Vanádio; Titânio; Tungsténio e o Nóbio	Elementos que formam carbonetos estáveis e que também aparecem na ferrite
Azoto	Elementos que surgem apenas na fase carbonetos

Quadro 12 – Categoria de aços carbono, em função da sua composição química

Em Portugal, o aço ao carbono utilizado para a construção de gasodutos de alta pressão é na sua grande maioria o aço API 5L X 70, possuindo um limite de elasticidade de 483MPa¹²⁶ e uma tensão de rotura de 585 MPa, compreendendo um teor de carbono máximo de 0,24%.

A operação deste aço implica no entanto cuidados próprios na sua manufactura, designadamente no controlo da laminação por arrefecimento controlado. Neste processo termomecânico, o aumento da resistência mecânica do material, é alcançado muito mais por um refinamento do grão de ferrite, com o objectivo de se obter uma microestrutura duplex de ferrite-martensite, do que pelo endurecimento do material provocado pela adição de elementos de liga. Desta forma, produto final obtido apresenta teores reduzidos de elementos de liga, (do qual se salienta um baixo teor de Carbono Equivalente), resultando num aço com boa soldabilidade e com menores encargos de produção.

De referir que para os regimes de pressão¹²⁷ actuais, o aço X 70, apresenta uma adequabilidade ao uso, para as actuais condições de serviço e condições de exploração.

¹²⁶ Valor da Tensão de limite de elasticidade para um aço X 70

¹²⁷ A pressão máxima de serviço de um gasoduto de alta pressão encontra-se regulamentada por Dec.-lei 390/94, definindo o máximo de 84 bar.



ISEL

No entanto, ao nível da metalurgia a evolução tecnológica reflecte-se na adopção de materiais com propriedades cada vez mais aplicáveis a novos requisitos de exploração, o que implica a adequação dos gasodutos a regimes de trabalho compatíveis com as exigências das expectativas e consumo.

5.1 Adopção de novo aço para construção de tubagem

Um eventual aumento das condições de operação significaria um aumento na pressão máxima de serviço, fixando-se esta actualmente nos 84bar. Atendendo à necessidade de resposta para as futuras expectativas de consumo torna-se imperativo, o aumento de uma espessura dos actuais aços. Muito embora esta opção possa ser viável em alguns casos tal escolha acumula algumas limitações, nomeadamente: maiores encargos associados ao transporte de tubos; maior dificuldade no manuseamento dos mesmos; necessidade de deposição de mais metal de adição nas operações de soldadura; aumento da probabilidade de defeitos nas operações de soldadura e custos mais elevados na instalação de tubagem^[46].

O material de tubagem mais estudado nos últimos anos tem sido um aço com um limite de elasticidade superior ao das actuais tubagens, por forma a que o transporte do gás natural possa ser efectuado a uma pressão superior à pressão de 84 bar.

A procura de novos materiais de tubagem procura na melhoria da adição de outros elementos de liga, a obtenção a um aço com o incremento de:

- Propriedades mecânicas;
- Temperabilidade;
- Maquinabilidade, resistência ao desgaste e à fadiga;
- Resistência à corrosão e oxidação;
- Propriedades mecânicas a baixas e altas temperaturas.



A pesquisa efectuada nesta área¹²⁸ tem evidenciado avanços expressivos com a obtenção de um novo aço ao carbono. Como referido anteriormente, a metodologia americana¹²⁹, associa a designação do aço associa o grau ao limite de elasticidade¹³⁰, assumindo-se assim a denominação de aço X 100^{[28][46]}.

5.2.1 Caracterização do aço X100

Na continuidade dos aços ao carbono presentemente utilizados, este aço representa uma significativa melhoria podendo ser caracterizado pelas suas propriedades apresentadas no quadro seguinte:

Aço	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	V	Ceq ¹³¹
X 70	0,05	0,11	1,56	0,0005	0,002	0,02	0,01	0,100	0,35
X 100	0,06	0,22	1,96	0,007	0,0002	0,04	0,01	0,006	0,46

Quadro 13 – Composição química de tubos classificação X70 e X 100

A composição química apresentada, reflecte a descrição das seguintes vantagens na adopção do aço X 100:

- Melhoria na adição dos elementos de liga, com pequenas adições de Mn (até 2%) e outros elementos em níveis muito baixos^[30];
- Maior resistência que os restantes aços ao carbono, com melhoria ao nível da ductilidade e mantendo a soldabilidade;

¹²⁸ A BP tem efectuado avanços significativos na investigação de novos aços desde meados da década de 90. A Europipe iniciou a primeira produção do aço X 100 em 1995.

¹²⁹ Classificação API –American Petroleum Institute.

¹³⁰ Unidades em psi, i.e., o aço X 100 contém uma tensão de limite de elasticidade de 100 psi, o equivalente a 690MPa.

¹³¹ Calculado com base na fórmula definida pelo Institute International of Welding: $C = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Ni + Cu)}{15} + \frac{(Cr + Mo + V)}{15}$



ISEL

- Destinado a estruturas onde a soldadura é um requisito primário (teor de carbono baixo) associados a requisitos de elevada resistência mecânica;
- Grande significativo no peso, dado o custo comparativamente a soluções tradicionais, com aços de menor resistência mecânica;
- Temperatura de transição dúctil a frágil baixa e tenacidade à fractura elevada;
- Ganho de resistência obtido por solução sólida dos elementos de liga, com microestruturas bainíticas e ou ferríticas e uma residual estrutura de martensite e ou bainite;
- Adição de 0021% Cu, de modo a conferir melhor resistência à corrosão.

Como se pode observar, no aço X80 a estrutura obtida é mais refinada, do tipo ferrítica-bainítica. Contudo, as adições de Molibdénio, cobre e níquel, associado aos processos modificados de arrefecimento controlado, possibilitaram o fabrico de uma nova classe de tubos, de que é exemplo o aço API 5L – X 100.

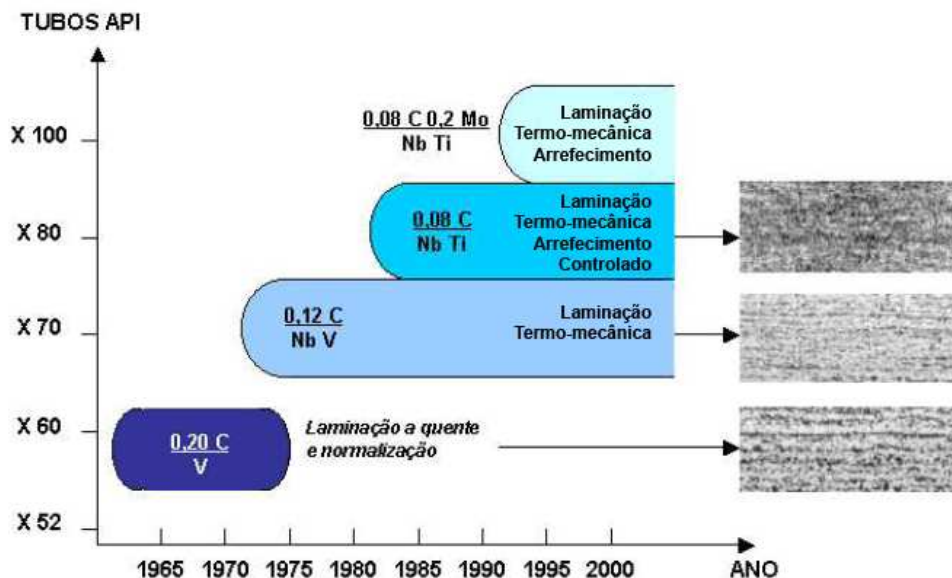


Figura 56 – Caracterização da estrutura de um aço para fabrico de tubos¹³²

¹³² Tabela modificada de documentação Boehler Thyssen Técnica de Soldagem Ltda.



ISEL

O limite de elasticidade deste aço é de 690 MPa, o que traduz numa relação de 43% superior face ao aço X70.

Países como os Estados Unidos, Canadá e Austrália têm desenvolvido esforços para a integração deste aço, em conformidade com os seus requisitos legais e normativos¹³³.

Em testes experimentais executados verificou-se a devida adequabilidade deste material, que objectivada por ensaios destrutivos realizados provaram o excelente comportamento deste aço quando submetido a esforços de tracção e dobragem, quer para o material base, quer para a zona termicamente afectada.

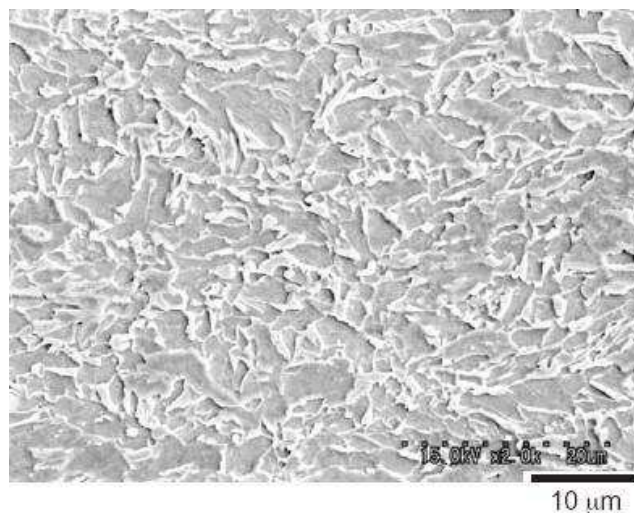


Figura 57 – Microestrutura de Aço X100¹³⁴

¹³³ A viabilidade prática deste aço, foi testada pela instalação de 2 quilómetros de extensão de um gasoduto X100, no projecto de rede de transporte de gás natural de Alberta, Canada. A empresa TransCanada iniciou em Edmonton a primeira rede de transporte de gás natural projectada com este material. A BP está já a desenvolver estudos de projecto para a adopção deste aço no gasoduto Trans Alasca.

¹³⁴ Visualização da estrutura ferrítica e bainítica.



ISEL

Os cálculos para a pressão de serviço de um gasoduto são regra geral efectuados tendo como factor de projecto o coeficiente 0,72¹³⁵ de limite de elasticidade do material^[28].

O enquadramento do material X100 como aço de tubagem de gasodutos de gás natural implica a devida regulamentação e enquadramento normativo. Por todo o mundo registam-se trabalhos de I&D^{[26][28][29][30][46]} e análise, evidenciados em conferências internacionais e reuniões de Comissões Técnicas. Segue-se toda uma adaptação por parte dos diversos intervenientes do mercado (governos, concessionárias, fabricantes e entidades inspectoras), definindo-se o suporte para sustentar os critérios de projecto, construção e exploração.

O desenvolvimento deste aço trará vantagens efectivas na redução dos custos de instalação e exploração resultando, numa mais valia em resposta às exigências futuras.

¹³⁵ Valor definido para a categoria 1. Ver § 2 – Construção de Tubagem de GN em Fábrica.



6. DISCUSSÃO

O gás natural satisfaz um quarto das necessidades mundiais de energia primária cujo consumo se apresenta em constante evolução.

Em termos nacionais, o consumo do gás natural representa a terceira maior fonte de energia. Face a outros combustíveis fósseis como o petróleo ou o carvão, o gás natural apresenta uma menor produção de níveis de compostos de enxofre gerados e menor produção de dióxido de carbono, pelo que este combustível assume como sendo mais limpo e energeticamente mais eficiente.

O seu transporte por gasodutos implica uma interacção cliente fornecedor entre os diversos Países submetidos a uma política energética estratégica, muitas vezes definida à escala internacional. A construção de uma infra-estrutura desta natureza obedece assim a um rigoroso cumprimento das diversas normas, especificações e códigos aplicáveis. Segue-se a instalação do gasoduto, sendo esta composta por diversas etapas, onde à semelhança de uma qualquer outra cadeia de produção, a execução de cada fase tem implicações nas actividades subsequentes.

À construção de um gasoduto segue-se a sua exploração, enquadrado num plano de manutenção preventiva, onde as técnicas de inspecção e monitorização permitem uma vez mais a análise do comportamento de um gasoduto em serviço, sem compromisso das suas condições operatórias.

Cada técnica referida anteriormente constitui uma ferramenta singular de resposta para cada situação e contexto.

Neste registo, a inspecção das actividades constitui o mecanismo de validação dos métodos operatórios assegurados por um assertivo controlo da qualidade em concordância com o projecto e especificações.

Numa lógica de resposta aos aumentos de consumo energéticos, assumem-se como constrangimentos as condições limite de aplicação de cada aço de tubagem.

Parâmetros de projecto, como a tensão limite de elasticidade dos aços comprometem a alteração das actuais condições de serviço de muitos gasodutos.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

Se é um facto que a alteração das espessuras dos aços de tubagens em novos gasodutos traria dificuldades acrescidas ao nível do manuseamento dos tubos, da soldadura e da sua instalação e exploração, as expectativas de consumo do gás natural exigem a adopção de medidas a prazo.

Como tal, a evolução constante da mecânica dos materiais, o estudo da adição de outros elementos de liga resulta na obtenção de aços com melhores propriedades metalúrgicas. As necessidades energéticas, mais uma vez se associam à evolução tecnológica, onde testes experimentais corroboram a possibilidade de fabrico de tubagens numa nova classe de aços, de que é exemplo o X 100.

Não constituindo pretensão da presente dissertação o estudo particular ao nível da adopção de novos aços, constitui uma abordagem de continuidade nesta área, a busca de uma solução de resposta para gasodutos adstritos a condições de serviço mais severas, (maiores pressões e caudais volumétricos).



7. CONCLUSÕES

O Gás Natural constitui uma das matérias energéticas com maior potencial de utilização. Comparativamente com o carvão, o gás natural possui um menor teor de carbono, compostos de enxofre e outros elementos como o hidrogénio, tornando este combustível mais limpo e energeticamente mais eficiente. A menor contribuição para a degradação da camada de ozono e no efeito de estufa revertem-se em vantagens acrescidas face a outras fontes de energia.

Extraído de jazidas subterrâneas, a sua forma de transporte por gasodutos encontra uma aplicabilidade prática na produção de energia eléctrica, onde mediante a posição geopolítica dos países é definida uma partilha lógica transfronteiriça, numa dimensão internacional.

Desta forma, o fabrico dos tubos em acearias implica uma metodologia de processo uniforme, para que a utilização possa estar sujeita às condições de serviço, sendo estas razoavelmente homogéneas entre os operadores dos diversos países.

De igual forma, o projecto de um gasoduto bem como os seus métodos de construção tem também de estar determinados por critérios de uniformização aplicando-se por isso o enquadramento normativo referido, a uma escala global. Este, é sustentado na engenharia (mecânica dos fluidos, termodinâmica, metalurgia e mecânica dos materiais), que resumido por via dos códigos e especificações aplicáveis viabiliza a execução do projecto em todas as fases da cadeia de valor (i.e., concepção, cálculo, projecto, execução, exploração, manutenção e soluções de fim de vida).

Um gasoduto de alta pressão de gás natural assume-se por isso como um investimento para um horizonte temporal efectivo e como tal é determinante um eficaz controlo da qualidade total.

As técnicas de inspecção (tradicional) utilizadas na construção evoluem para técnicas de manutenção, de forma a possibilitar a intervenção no gasoduto sem necessidade de interrupção do fluxo, e.g.: a inspecção por via da Protecção Catódica, *PIGs* ou Ondas Guiadas, constituem exemplos de técnicas de monitorização recentes, cujo conceito é sustentado numa constante evolução tecnológica para garantia da integridade dos gasodutos em serviço.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

A presente dissertação expõe a evidência objectiva do conhecimento académico da engenharia na adopção de práticas utilizadas actualmente na rede nacional de transporte de gás natural, que garante por via do cumprimento legal e normativo, a conformidade das condições de construção, operação e manutenção.

Num registo evolutivo de consumo energético, a necessidade de transporte de gás natural com maiores pressões e caudais encontra resposta na procura de aços com maior resistência mecânica. A exploração do gás natural em gasodutos numa nova classe de aços poderá traduzir-se num processo ainda mais eficiente assegurando a sua finalidade última ou seja, a produção de energia de forma segura, mais rentável e capaz de satisfazer as necessidades de consumo energéticas nacionais e internacionais reflectindo uma optimização do transporte e distribuição de gás natural.



8. BIBLIOGRAFIA

- [1] API 1104 – Welding of Pipelines and Related Facilities. 20th Ed. 2003. American Petroleum Institute.
- [2] API 5L – Specification for Line Pipe. 44th Ed. 2007. American Petroleum Institute.
- [3] API RP 5L – Recommended Practice for International Coating of Line Pipe of Non Corrosive Gas Transmission Service. Ed. 2007. American Petroleum Institute.
- [4] ASME B 31. G - Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. Ed 1991 (R2004). The American Society of Mechanical Engineers.
- [5] ASME B 31.8 – Gas Transmission and Distribution piping systems. Ed 2003. The American Society of Mechanical Engineers.
- [6] AWS – Documentação do Curso “Welding Inspector Certification”. American Welding Society, 2004.
- [7] AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code Steel. 2006. American Welding Society. ISBN: 0871717263.
- [8] AWS QC1 – Standard for AWS Certification of Welding Inspectors. American Welding Society, 2004.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

- [9] BOYNARD,C., Long Range Inspection of Pipelines Without Removing Insulation, Tecnologia e Qualidade Nº56, ISQ, Abril /Junho 2006.
- [10] BRADLEY, H. B – Petroleum Engineering Handbook. USA: Society of Petroleum Engineers, 1987. ISBN 10-155-56301-03.
- [11] BRITISH PETROLEUM – Statistical Review of World Energy: BP Global [2007]. [Consult. 2 Abr. 2008]. Disponível na www:
<URL: <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9017913&contentId=7033441>>.
- [12] BS 7361, Part 1- Cathodic Protection: Code of Practice for Land and Marine Applications. Ed 1991. British Standards.
- [13] CP 1 – Cathodic Protection Tester Course Manual. January 2008. NACE International 2000.
- [14] CP 2 – Cathodic Protection Technician Course Manual. January 2008. NACE International 2006.
- [15] DESIGN ENGINEERING PRACTICE 30.10.73.33 – Gen – Technical Specification: Installation and Commissioning of Cathodic Protection Systems. Ed 2000. Shell Global Solutions International.
- [16] Direcção Geral de Energia e Geologia – Divisão de Estatística. Março 2008.
- [17] DVGW 469 – Gas Transport / gas distribution – Pressure Tests, Technical Rules.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

- [18] ECO, Umberto – Como se faz uma tese em ciências humanas. 8.^a ed. rev e actualizada. Porto: Porto Editora, 1999. (Dicionários editora). ISBN: 972-0-05001-2.

- [19] EN 287 – Approval Testing of Welders. CEN 1997.

- [20] EN 444 – Non-Destructive Testing – general principles for radiographic examination of metallic materials by X – and Gamma-rays. CEN 1994.

- [21] EN 12327 – Gas supply systems – Pressure testing, commissioning and decommissioning procedures – Functional requirements. CEN 2000.

- [22] EN 12517 – Non destructive examination of Welds – radiographic examination of welded joints – acceptance levels. CEN 2006.

- [23] EN ISO 15614 – Specification and Qualification of Welding Procedures for Mettalic materials – Welding Procedure Test Part 1. CEN 2002.

- [24] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. [2007] [Consult. 15 Mar. 2008]. Disponível na www:
<URL: <http://www.erse.pt/vpt/entrada/gasnatural/>>.

- [25] Especificações Técnicas GER – Galp Energia. Galp Energia 2006-2008.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

- [26] ESPINER, R – Updated from BP’s Pipeline cost reduction technology project. Proc of Onshore Pipelines Conf., Dez 2002.
- [27] FONTANA, M.G., Corrosion Engineering, New York, McGraw Hill, 1986.
- [28] GLOVER, A; HORSLEY D; DORLING D; TAKEARA J – Construction and Installation of X100 Pipelines. International Pipeline Conference 2004. October 2004. Calgary, Alberta Canada.
- [29] GRAF, M; HILLENBRAND, H.G.; NIEDERHOFF, K.A – High-Strength Large Diameter Pipe for Long Distance High Pressure Pipelines. Europipe / Mannesman. International Journal of Offshore and Polar Engineering. Vol 14, Nº1, March 2004 ISSN 105-5381.
- [30] HILLENBRAND, H.G; KALWA. C; LIESSAM A. – Technological Solutions for Ultra High Strength Gas Pipelines. Report Europipe GmbH, Germany 2005.
- [31] IEC – Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda. Sistemas de Protecção Catódica. Diagraphic.
- [32] IndCorr UK – Documentação de imagem corporativa. Aberdeen, 2004.
- [33] ISQ – Núcleo do Gás. Documentação diversa. Instituto de Soldadura e Qualidade. TagusPark, 1999 - 2009.
- [34] MANNUCCI, G. – Fracture properties of X 100 gas pipelines steels. ECSC Report nº EUR20330EN.
- [35] MEI – Estatísticas Gás Natural: Direcção Geral de Geologia e Energia. [2007] [Consult. 30 Mar. 2008]. Disponível na www: <URL: <http://www.dgge.pt/>>.



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

- [36] Nayyar, P.E., Mohinder L., P.E.: Piping Handbook, 7th Edition 2000,: McGraw-Hill. ISBN 0-07-047106-1.

- [37] NP EN ISO 12944 – 5 – Tintas e Vernizes. Protecção Anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura. Instituto Português da Qualidade.

- [38] PARKER, M.E., Pipeline Corrosion and Cathodic Protection. 3rd Edition. Gulf Publishing Co., 2002.

- [39] PEABODY, A.W., Control of Pipeline Corrosion, 2nd Edition. 2000. NACE Press. ISBN 0-07-047106-1.

- [40] Portaria nº 386/94 de 16 de Junho. Diário da República nº 137/94 - I Série B. Ministério da Indústria e Energia.

- [41] Portaria nº 390/94 de 17 de Junho. Diário da República nº 138/94 - I Série B. Ministério da Indústria e Energia.

- [42] REN Gasodutos Especificações Técnicas da. Rede Nacional de Transporte de Gás Natural.

- [43] REN Gasodutos Especificação M-00000-MAN-CIN-0001 – Manual de Construção Gasodutos e Estações. Rede Nacional de Transporte de Gás Natural.

- [44] ROSE, J.L., Ultrasonic Waves in Solid Media, Cambridge University Press, New York, 1999.



ISEL

- [45] Software: Key to Steel, 2004 – Stahlschlüssel, Version 4.0.

- [46] TAKEUCHI I; MAKINO H; OKAGUCHI S; TAKAHASHI N; YAMAMOTO A. – Crack Arrestability of High Gas Pressure Pipeline by X100. 23rd Paper World Gas Conference, Amesterdam 2006.

- [47] WELDING HANDBOOK – Fundamentals of Welding 9th Edition. 2006. American Welding Society. ISBN 0-87171-126 -5.



Índice de Figuras

Figura 1 – Representação esquemática da extracção do gás natural.....	2
Figura 2 – Vista geral de gasoduto em Norte de África.....	3
Figura 3 – Rede de Transporte Mundial de gás natural.....	10
Figura 4 – Rede Europeia de Transporte de gás natural.....	11
Figura 5 - Proveniência de gás natural em território nacional.....	12
Figura 6 – Rede de Alta Pressão da GN em Portugal.....	14
Figura 7 – Pormenor de tubos sem costura.....	16
Figura 8 – Operação de soldadura helicoidal da chapa para fabrico de tubos.....	17
Figura 9 – Bobines para fabrico de tubos.....	18
Figura 10 – Deformação plástica de chapa em forma helicoidal para fabrico de tubos.....	18
Figura 11 – Representação do processo de soldadura por arco submerso.....	20
Figura 12 - Preparação da superfície, com inserção do tubo em máquina para limpeza por jacto de areia.....	24
Figura 13 – Aplicação de revestimento externo com PEAD (cor preta) sobre a película adesiva (cor cinza).....	25
Figura 14 – Aplicação de revestimento interno, por pistola polvurizante a 360° no interior do tubo.....	26
Figura 15 - Execução de controlo radiográfico por fluoroscopia.....	27
Figura 16 – Realização de ensaio hidrostático em fábrica.....	29
Figura 17 – Exemplo de marcação de um tubo à saída da fábrica.....	30
Figura 18 – Inspecção de tubos em fábrica.....	32
Figura 19 – Abertura de pista e pormenor de verificação da delimitação da faixa com estacas.....	34
Figura 20 – Alinhamento da tubagem.....	36
Figura 21 – Abertura de vala e segregação de pedras no leito da vala.....	37
Figura 22 – Equipamento de encurvamento a frio.....	38
Figura 23 – Introdução da placa calibre.....	38
Figura 24 – Colocação de tubagem com espaçador e cabodutos de fibra óptica, em manga de atravessamento.....	41
Figura 25 – Execução de soldadura mecanizada.....	43
Figura 26 – Equipamento de soldadura no interior de cada cabine.....	43
Figura 27 – Execução de soldadura em obra por eléctrodo revestido em tubo com 500mm de diâmetro.....	44
Figura 28 – IQI de arame DIN 54109.....	47
Figura 29 – Ensaio por radiografia.....	47
Figura 30 – Realização de ensaio por magnestocopia.....	49
Figura 31 – Realização de ensaio por líquidos penetrantes.....	50
Figura 32 – Realização de ensaio por ultra - sons.....	51
Figura 33 – Aplicação de manga termo retráctil em junta soldada.....	52



ISEL

Figura 34 – Execução de ensaio hidráulico a gasoduto com recurso a balança de pesos mortos	54
Figura 35 – Vista de ponto terminal de enchimento do gasoduto, vulgarmente designado por “cabeça de teste”	54
Figura 36 – Procedimento de execução de ensaio hidráulico e de estanquidade	55
Figura 37 – Execução de ensaio dieléctrico ao revestimento de tubagem	56
Figura 38 – Colocação de tubagem na vala	57
Figura 39 – Colocação de fita avisadora “Atenção Gás”	58
Figura 40 – Colocação de muretes de betão	59
Figura 41 – Vista geral de uma estação de gás “GRMS”	60
Figura 42 – Sistema SCADA da REN Gasodutos	61
Figura 43 – Instalação de caboduto de fibra óptica, para transmissão de dados	62
Figura 44 – Instalação de uma Tomada de Potencial para sinalização do Gasoduto e recolha do potencial de Protecção Catódica	63
Figura 45 – Representação esquemática da recolha do potencial de protecção catódica	68
Figura 46 – Representação esquemática de um Sistema de PC por ânodos de sacrifício	69
Figura 47 – Representação esquemática de sistema de PC por correntes impressas	71
Figura 48 – Inspeção DCVG	72
Figura 49 – Esquema de detecção de falha no revestimento pela análise do gradiente de tensões	73
Figura 50 – Inspeção CIPS, seguida de identificação da tubagem por radiodeteção	75
Figura 51 – Visualização de um registo de medição CIPS	76
Figura 52 – Representação de um PIG com tecnologia VSL para inspeção de tubagem	77
Figura 53 – Representação esquemática de uma interpretação de dados em inspeção por “pig”	79
Figura 54 – Caracterização da inspeção por “Guided Waves”	80
Figura 55 – Técnica de operação “Guided Waves”	81
Figura 56 – Caracterização da estrutura de um aço para fabrico de tubos	89
Figura 57 – Microestrutura de Aço X100	90



Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Consumo Mundial das principais fontes de energia	5
Gráfico 2 – Reservas mundiais do gás natural.....	6
Gráfico 3 – Consumos Mundiais do gás natural	7
Gráfico 4 – Evolução de preços do gás natural no mundo.....	8
Gráfico 5 – Consumo de gás natural por concelhos do País	9

Índice de Quadros

Quadro 1 – Classificação do fluxo em função do índice de basicidade.....	21
Quadro 2 - Dimensões para o fornecimento de tubagem.....	24
Quadro 3 – Valores do parâmetro S para cálculo da pressão de teste hidrostático de acordo com a equação 2.....	29
Quadro 4 – Distâncias da largura da Faixa em função do diâmetro do gasoduto	34
Quadro 5 – Relação de diâmetros permitida.....	37
Quadro 6 – Fontes de radiação gama para os isótopos utilizados.....	46
Quadro 7 – Vantagens e limitações do controlo radiográfico.....	48
Quadro 8 – Tabela de séries galvânicas.....	66
Quadro 9 – Classificação de defeitos pelo método DCVG.....	74
Quadro 10 – Classificação dos Tubos em função das características mecânicas.....	83
Quadro 11 – Característica Químicas para Tubos API	84
Quadro 12 – Categoria de aços carbono, em função da sua composição química.....	86
Quadro 13 – Composição química de tubos classificação X70 e X 100.....	88



Índice de Equações

(Eq. 1).....	21
(Eq. 2).....	28
(Eq. 3).....	39
(Eq. 4).....	39
(Eq. 5).....	52
(Eq. 6).....	53
(Eq. 7).....	64
(Eq. 8).....	65
(Eq. 9).....	65
(Eq. 10).....	65
(Eq. 11).....	73
(Eq. 12).....	74



9. NOTA BIOGRÁFICA

Carlos Stuart Noronha da Cunha Soares, nascido a 06 de Agosto de 1975, iniciou os estudos de Engenharia Mecânica no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, em Setembro de 1994.

Após a conclusão do Bacharelato em Fevereiro de 1999, iniciou a sua actividade profissional no Instituto de Soldadura e Qualidade, na qualidade de engenheiro estagiário no departamento de Gás.

Após um ligeiro interregno nos seus estudos concluiu, em 2007, a Licenciatura em Engenharia Mecânica, à medida que ia desenvolvendo as suas aptidões profissionais na área da inspecção técnica de gasodutos e condutas adutoras.

Especializou-se em duas matérias: a soldadura e a protecção catódica. Em 2004 prestou provas e é certificado como Inspector de Soldadura pela American Welding Society com o grau CAWI. Nesse mesmo ano foi qualificado como Inspector de Protecção Catódica, pela IndCorr em Aberdeen – Escócia. Uns anos mais tarde, em 2008, realizou exames de certificação de Protecção Catódica em Los Angeles – Estados Unidos, na National Association of Corrosion Engineers, adquirindo o grau de Engenheiro Especialista em Protecção Catódica, CP1.

Ao longo da sua actividade profissional tem participado em diversos trabalhos relacionados com Gasodutos, quer em projectos nacionais (com a Galp Energia e com a REN Gasodutos) quer em projectos Internacionais (com a IACS no Reino Unido, a Mannesmann ou a Erciyas na Turquia, a Sonatrach na Argélia; a Enacol e a Shell em Cabo Verde; entre outros), desenvolvendo trabalhos cujo âmbito se enquadram na temática da dissertação apresentada.

Complementarmente tem vindo a realizar alguns seminários nesta área, destacando-se entre outros, a Acção de Sensibilização sobre Protecção Catódica na Shell, em Cabo Verde, em 2006 e a Conferência APDA em 2007 subordinada à temática “Técnicas de Inspeção de Protecção Catódica em Condutas Adutoras”, no Centro de Congressos em Lisboa, sob o alto patrocínio de Sua Excelência o Presidente da República, Prof. Doutor Aníbal Cavaco Silva.

Presentemente desempenha funções de Coordenador Técnico da área de Redes de Transporte de Gás, no departamento Edificações – Gás, do Instituto de Soldadura e Qualidade.