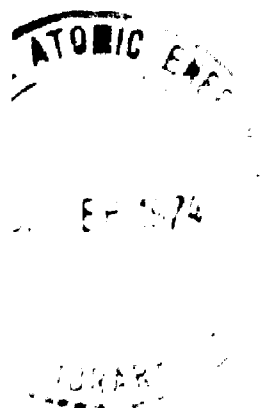


**TÉCNICAS DE GAMAGRAFIA APLICADAS AO CONTROLE
DE QUALIDADE DE SOLDAS EM TUBULAÇÕES
DE SISTEMAS ADUTORES DE AGUA**

WLADIMYR SANCHEZ e HIROSHI OKI

64673



PUBLICAÇÃO IEA N.º 334

Abril — 1974

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SAO PAULO — BRASIL

**TÉCNICAS DE GAMAGRAFIA APLICADAS AO CONTRÔLE
DE QUALIDADE DE SOLDAS EM TUBULAÇÕES
DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA**

Wladimir Sanchez e Hiroshi Oki

**Coordenadoria de Aplicação de Radioisótopos
na Engenharia e na Indústria
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 334
Abril - 1974**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng^o Roberto N. Jafet - Presidente
Prof. Dr. Emilio Mattar - Vice-Presidente
Prof. Dr. José Augusto Martins
Dr. Afonso Celso Pastore
Prof. Dr. Milton Campos
Eng^o Helcio Modesto da Costa

Superintendente

Rômulo Ribeiro Pieroni

TÉCNICAS DE GAMAGRAFIA APLICADAS AO CONTRÔLE DE QUALIDADE DE SOLDAS EM TUBULAÇÕES DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA

Wladimir Sanchez e Hiroshi Oki

RESUMO

O ensaio das soldas que foram corretamente realizadas, com material adequado, pode ser realizado por técnica de gamagrafia, com o objetivo de constatar a presença ou ausência de descontinuidades e defeitos na massa do metal depositado e nas adjacências do metal base. A gamagrafia permite a documentação do ensaio com registro completo da inspeção, fato não comum a outros métodos não destrutivos.

No controle de qualidade das soldas longitudinais e transversais, de tubulação pertencente a sistema adutor de água, utilizam-se duas técnicas de exposição radiográfica: parede dupla e exposição panorâmica. Obedecendo aos critérios estabelecidos pelas normas ASME, analisaram-se 16.000 gamagrafias de soldas, em três (3) diferentes sistemas adutores de água (Cumbica, Santo André e Osasco). Os resultados mostraram que as principais descontinuidades metálicas existentes na massa do metal depositado foram porosidades (32%); falta de penetração (29%); falta de fusão (20%) e inclusão de escória (19%). Do total de gamagrafias executadas, 6.168 (39%) mostraram soldas bem feitas, 8.502 (53%) mostraram a presença de descontinuidades aceitáveis e 1.330 (8%) registraram descontinuidades inaceitáveis, dentro das normas ASME. Os ensaios, por gamagrafia e os laudos técnicos foram realizados por técnicos da Comendadoria de Aplicação de Radioisótopos na Engenharia e na Indústria, CAREI do Instituto de Energia Atômica de São Paulo. A fiscalização dos ensaios esteve sob a responsabilidade da Superintendência de Tecnologia da CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas.

1 - Introdução

A evolução das pesquisas tecnológicas e as exigências sempre crescentes dos consumidores obrigam a evolução do nível de qualidade dos produtos metalúrgicos. A direção de fábricas, companhias ou usinas procura cada vez mais garantir a qualidade de seus produtos, no mercado competitivo, pondo em prática uma política de produção, controle de custos e funcionamento seguro da peça, em serviço de responsabilidade.

Na verdade, todos os ramos da engenharia, principalmente os que se referem a problemas de máquinas e estruturas estão intimamente ligados a materiais que necessitam ter nível de qualidade aceitável, para se prevenir acidentes e evitar a perda de vidas humanas ou paralização de serviços básicos.

Os ensaios não destrutivos permitem detectar descontinuidades no interior da massa dos metais evitando que peças defeituosas sejam utilizadas como componentes de máquinas e estruturas.

O desenvolvimento de novas técnicas de soldas em metais, motivou uma alteração bem acentuada nos projetos mecânicos. Essas técnicas permitem reparos em peças e equipamentos com grande economia para a indústria. Um rigoroso controle de qualidade das soldas é indispensável para que seus defeitos possam ser localizados e reparados, evitando assim os atuais acidentes e prejuízos.

O ensaio das soldas que foram corretamente realizadas com material adequado, pode ser feito por meio da técnica de gamagrafia, cujo objetivo será o de constatar a presença ou ausência de descontinuidades e de defeitos na massa do metal depositado e nas adjacências do metal base. A gamagrafia permite a documentação do ensaio, com registro completo da inspeção, fato não comum a outros métodos de ensaios não destrutivos.

Uma descontinuidade implica na redução da seção útil e na concentração de tensões ao seu redor. As dimensões, forma e orientação das descontinuidades são fatores que devem ser levados em conta na avaliação de sua importância em relação ao estado de solicitação estática reiterada ou de impacto imprevisível. Assim, não são todas as descontinuidades existentes no interior do metal solda que podem provocar recusa no seu recebimento. Existem certas tolerâncias, previstas em cálculo e regulamentadas por normas técnicas ou especificações que fixam os limites de qualidade aceitável.

A percentagem de soldas a ensaiar, as condições de trabalho previstas, os coeficientes de segurança e o nível de qualidade são definidos pelas normas técnicas. No caso de controle de qualidade de soldas em tubulação de sistema adutor de água geralmente seguem-se as normas "ASME, Boiler and Pressure Vessel Code - Alternative Rules for Pressure Vessels - Divisions, 1968".

Um controle racional da qualidade das soldas longitudinais e transversais executadas em tubulação de sistema adutor de água deve prever a realização de inspeções antes, durante e depois de terminada a soldagem. A gamagrafia não evita as descontinuidades servindo apenas para verificar se a solda que foi realizada corretamente, com materiais adequados, está isenta ou não de descontinuidades metálicas. Para se conseguir uma solda de boa qualidade, deve-se correlacionar os seguintes fatores:

- 1 - projeto correto da junta soldada;
- 2 - escolha correta dos eletrodos;
- 3 - escolha correta da técnica de enchimento;
- 4 - escolha de um soldador aprovado nos testes de qualificação;
- 5 - inspeção rigorosa da solda.

O projetista necessita ter conhecimentos básicos de metalurgia, resistência dos materiais e fundamentos de soldagem dos metais. Em uma geometria correta de processamento das chapas metálicas, a quantidade de metal depositado na junta deve ser a mínima possível, não somente por questões econômicas mas também pela distribuição de esforços. Na escolha do metal de base e do eletrodo leva-se em conta o desempenho dos metais depois de soldados. A resistência à tração, do metal de base e do metal depositado, a resistência à corrosão e a ductilidade influem na qualidade da solda.

A qualidade e o estado de conservação dos eletrodos influem acentuadamente na boa execução da solda. Um soldador qualificado pode produzir solda de baixa qualidade utilizando eletrodos de diâmetros inadequados e em mau estado de conservação.

Uma solda pode se apresentar perfeita, no ponto de vista radiográfico, mas ser recusada por ter sido feita com material de baixa resistência mecânica e técnica inadequada. A inspeção rigorosa e bem planejada das soldas em tubulação de sistema adutor de água exige a presença de inspetores qualificados, que sendo bem treinados representam sempre considerável economia no

projeto. A ação destes inspetores diminui a execução de soldas com descontinuidades inaceitáveis, pela inspeção visual, assegurando a execução de chanfros corretos e limpeza dos passes intermediários. Somente depois da solda passar pela inspeção visual e comprovação de que foi bem executada é que estará apta a ser ensaiada pela técnica de gamagrafia.

A imagem final da solda na gamagrafia é que dará ao serviço de controle de qualidade condições de aprovar ou recusar seu recebimento. Assim, a função da gamagrafia no ensaio, é de inspecionar uma solda corretamente executada com materiais adequados, constatando a presença ou ausência de descontinuidades metálicas no metal solda e nas adjacências do metal base.

Sob fiscalização da SUPERINTENDÊNCIA DE TECNOLOGIA DA CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico e Controle de Poluição das Águas, e Coordenadoria de Aplicação de Radiosótopos na Engenharia e na Indústria do Instituto de Energia Atômica - CAREI - realizaram-se ensaios de gamagrafia, para controle de qualidade de soldas longitudinais e transversais em sistemas adutoras de Água de Curitiba (SANEPAR) Saneamento do Paraná, de Santo André (SEMASA) - Serviço Municipal de Água e Saneamento de Santo André, e Osasco (CAEMO) - Companhia de Água e Esgôto do Município de Osasco. Este trabalho mostra um levantamento das principais descontinuidades metálicas encontradas nas soldas, que foram ensaiadas por técnica de gamagrafia.

II - TÉCNICAS DE GAMAGRAFIA UTILIZADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE DA SOLDA DE TUBULAÇÃO DE SISTEMA ADUTOR DE ÁGUA.

O ensaio de soldas em tubulações de aço, de sistema adutor de água deve ser realizado, de preferência, pela técnica de gamagrafia. Como a inspeção radiográfica deve ser realizada "in situ", a robustez dos irradiadores de gamagrafia, aliada às pequenas dimensões da fonte de ^{192}Ir (geralmente de forma cilíndrica com 2 mm de diâmetro por 4 mm de altura), a independência de alimentação elétrica, a utilização da técnica de exposição panorâmica, o custo e a inexistência de manutenção tornam esta técnica mais conveniente que a utilização das máquinas geradoras de raios X. Deve-se considerar sempre que os raios X e os raios gama não são técnicas competitivas mas sim complementares. A variedade de materiais a ser ensaiada por métodos radiográficos e as condições em que estes ensaios devem ser realizados é que determinam, na maioria das vezes, a escolha entre a técnica dos raios X e a dos raios gama. Além disso, os raios gama emitidos por uma fonte de gamagrafia são física e radiograficamente equivalentes aos raios X emitidos pelo alvo de uma máquina geradora dessa radiação.

Em tubulação de sistema adutor de água empregam-se duas técnicas de ensaio por gamagrafia: a da parede dupla e a panorâmica.

A exposição panorâmica consiste em colocar a fonte de gamagrafia no centro da tubulação e os filmes do lado externo, cobrindo toda a solda circunferencial. Com uma única exposição obtém-se a radiografia de toda a extensão da solda. Esta técnica pode ser utilizada quando a tubulação estiver fora ou dentro da vala, mas sem revestimento.

No caso de se radiografar tubos já revestidos deve-se utilizar a técnica de parede dupla, onde a fonte de gamagrafia e o filme são colocados externamente à tubulação, ficando a fonte na face oposta à do filme. A radiação gama emitida pela fonte precisa atravessar as duas paredes da tubulação para chegar ao filme e neste processo, devido a interação da radiação com a

matéria, existe uma maior perda de energia quando comparada com a exposição panorâmica.

Levando em conta que o revestimento da tubulação pode mascarar a imagem de determinadas descontinuidades metálicas, o ensaio exige alta sensibilidade radiográfica.

Define-se a sensibilidade percentual S de detecção de uma descontinuidade, pela relação

$$S = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (1)$$

onde Δx é a espessura da descontinuidade observada e x a espessura da chapa soldada acrescida da espessura do reforço da solda (figura 1).

Considera-se que a diferença de densidade radiográfica (escurecimento do filme) entre a região da solda (D_1) e a região da descontinuidade (D_2) pode ser expressa pela relação $\Delta D = D_1 - D_2$. O contraste do filme utilizado no ensaio, considerado como sendo a diferença de densidade radiográfica entre essas duas regiões mostradas na gamagrafia e que foi provocada pela variação de exposição radiográfica decorrente da radiação gama atravessar diferentes espessuras de metal é representado por δ (figura 1).

Chamando de μ o coeficiente de absorção linear da radiação gama no metal base e μ_1 o coeficiente de absorção linear da descontinuidade, a equação (1) pode ser escrita como segue:

$$S = \frac{\Delta D}{0,43 \delta x (\mu - \mu_1)} \quad (2)$$

Fixando-se os valores do intervalo de densidade radiográfica ΔD , e as características do filme (contraste), a sensibilidade S é função do produto $x (\mu - \mu_1)$.

A sensibilidade aumenta quando os valores de S diminuem. Assim, no intervalo de energias compreendido entre $0,1 < E < 2$ MeV, o coeficiente de absorção μ do aço aumenta à medida que a energia da radiação gama diminui, e nestas condições, a diferença $(\mu - \mu_1)$ torna-se maior.

A radiação gama ao atravessar a matéria perde energia devido a sua interação com os elétrons dos átomos que formam o metal base e o metal solda. Dentro de certos limites pode-se afirmar que o aumento da espessura do metal que deve ser atravessado pela radiação provoca maior perda de energia, proveniente do acréscimo do número de colisões entre a radiação incidente e os elétrons. Nestas condições, o aumento de espessura x , da parede da tubulação provoca diminuição de energia da radiação gama. Esta, por sua vez ocasiona aumento no valor de μ e em consequência o produto $x (\mu - \mu_1)$ torna-se maior. Aumentando-se o valor do denominador da equação (2) o valor de S diminui e a sensibilidade de detecção da descontinuidade aumenta.

III - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisaram-se 16.000 ensaios por gamagrafia, de soldas circunferenciais em tubulação de aço, com diâmetros e espessuras variáveis, em três adutoras distintas: Curitiba (SANEPAR), Santo André (SEMASA) e Osasco (CAEMO). Levando-se em conta que cada filme radiográfico

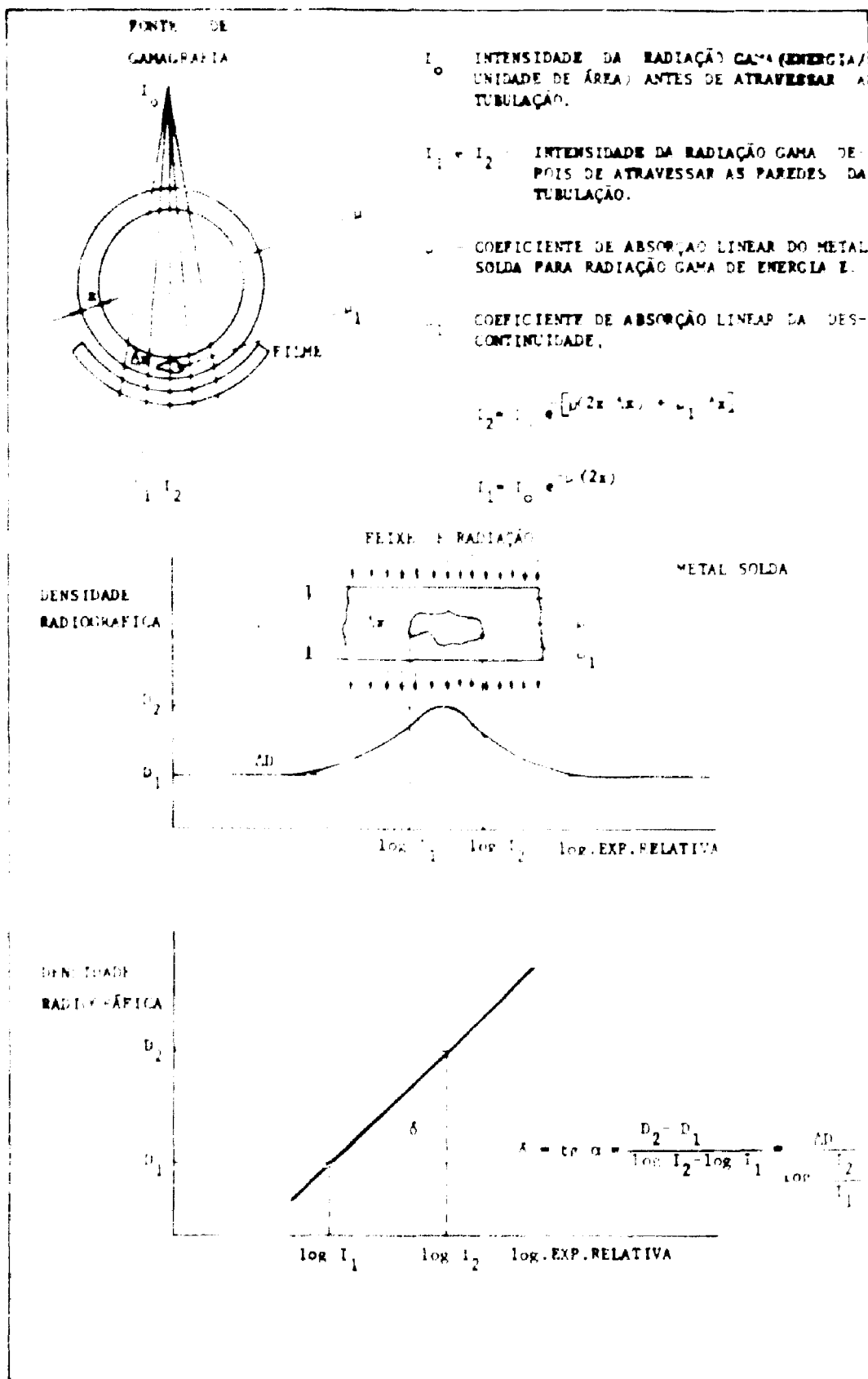


Figura 1 - Representação Esquemática de um Ensaio Radiográfico pela Técnica da Parede Dupla.

b

possui 41 cm de comprimento, tem-se uma análise de solda baseada em 6.560 metros de comprimento.

Nos ensaios realizados em Curitiba, a SANEPAR utilizou tubulação de aço com diâmetro de 900 mm e parede de 0,635 mm de espessura. A soldagem, de arco elétrico foi constituída por três passes externos. Os tubos de chapa de aço doce obedeceram as especificações da ABNT CG 19 ou ASTM 283 - GRAU B e os eletrodos para a soldagem dos tubos seguiram as especificações AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY), nas classes E 6010 e (FLEE T WELD 5 ou 5P) da LINCOLN ou similar, nas espessuras de 5,32" ou 3,16".

Nas juntas soldadas, além das descontinuidades metálicas podem existir irregularidades nos cordões de solda provocadas pelo reforço exagerado, excesso de penetração, falta de alinhamento entre as chapas e a existência de rebarbas.

O reforço da solda, formado pelo metal depositado que ultrapassa a superfície das chapas, do lado do cordão de acabamento, quando exagerado, pode provocar uma diminuição de resistência a fadiga metálica.

A ovalização das tubulações provoca frequentemente o desalinhamento entre as chapas enquanto o excesso de penetração do metal solda ocasiona uma diminuição de resistência a fadiga.

A construção de curvas irregulares provoca o desalinhamento entre tubulações quando os trabalhos iniciam-se em duas frentes distintas e caminham para um ponto de convergência.

Todas estas irregularidades foram corrigidas pela fiscalizadora das obras (CETESB), melhorando conseqüentemente a qualidade dos trabalhos.

III.1 - QUALIDADE DAS SOLDAS EXECUTADAS NO SISTEMA ADUTOR DE ÁGUA DE CURITIBA (SANEPAR).

Ensaíram-se 3.982,74 metros de soldas circunferenciais em tubulação de 900 mm de diâmetro, na adutora de Curitiba, totalizando-se 9.714 chapas radiográficas. O resultado da análise das gamaografias mostrou:

- a) 1.500,40 metros descontinuos de solda foram bem executados, não se constatando a presença de descontinuidades do metal solda e nas adjacências do metal base.
- b) Em 1.817,12 metros descontinuos de solda constatou-se a presença de descontinuidades que foram consideradas aceitáveis, dentro das normas ASME. Cerca de 75% dessas descontinuidades diziam respeito a porosidades, e 25% a inclusões de escória.
- c) Em 755,22 metros de solda, constatou-se a presença de descontinuidades consideradas graves, segundo as normas ASME, e que obrigaram os soldadores a refazerem suas soldas. Cerca de 35% dessas descontinuidades foram ocasionadas pela falta de penetração do metal solda, 30% foram provocadas pela falta de fusão, 25% por porosidades em linha, 9% por inclusões de escória alongadas e 1% por trincas.

III.2 - QUALIDADE DAS SOLDAS EXECUTADAS NA ADUTORA DE AGUA DE SANTO ANDRÉ (SEMASA).

Em Santo André, no período de 11/09/72 a 23/07/73 realizaram-se 4.506 gamagrafias de soldas circunferenciais em uma extensão total de 1.848,69 metros de solda. O resultado da análise das gamagrafias mostrou:

- a) Em 1.592 gamagrafias que cobriram uma extensão de 652,72 metros de solda constataram-se soldas bem executadas, sem a presença de descontinuidades.
- b) Em 2.727 gamagrafias resultantes dos ensaios de 1.118,07 metros de solda verificaram-se presença de descontinuidades consideradas aceitáveis de acordo com as normas ASME.
- c) Em 192 gamagrafias resultantes do ensaio de 78,72 metros de solda verificaram-se presença de descontinuidades graves e que exigiram o reparo das soldas. Entre as descontinuidades detetadas registraram-se 15% de falta de penetração do metal solda, 20% de falta de fusão, 45% de porosidades em linha e 20% por inclusões de escória alongadas. Não se constatou a presença de trincas nestas soldas.

III.3 - QUALIDADE DAS SOLDAS EXECUTADAS NA ADUTORA DE ÁGUA DE OSASCO (CAEMO)

No período de 20 de maio a 31 de dezembro, de 1972 realizaram-se ensaios de soldas do sistema adutor de água, de Osasco. Analisando-se os resultados dos 1799 ensaios, por gamagrafia, concluiu-se:

- a) Em 139 chapas não se observou a presença de descontinuidades metálicas, correspondendo a uma extensão de 56,99 metros descontinuos de soldas circunferenciais de tubos, com 600 mm de diâmetro.
- b) Descontinuidades metálicas que não foram consideradas graves de acordo com as normas ASME apareceram em 1542 gamagrafias, ou seja em uma extensão descontinua de 632,22 metros de solda. Essas descontinuidades foram classificadas como bôlhas gasosas, porosidades e inclusões de escória.
- c) As descontinuidades consideradas graves apareceram em 124 gamagrafias e exigiram o pronto reparo das soldas. A identificação das descontinuidades e a proporção delas nas soldas foram: porosidades em linha 35%, inclusões de escória alongadas 40%, falta de fusão 15%, falta de penetração 9%, trincas 1%.

III.4 - DESCONTINUIDADES METÁLICAS DETETADAS

As bolhas gasosas ou inclusão de gases aparecem na solda quando a regulagem da corrente do arco não é satisfatória ou quando a técnica de soldagem não é adequada (eletrodos úmidos, falta de limpeza das juntas etc). As inclusões de gases, com diâmetro superior a 3,0 milímetros recebem o nome de bolhas gasosas e com diâmetros inferiores a este valor recebem o nome de poros. Um conjunto de poros é chamado de porosidade.

A imagem radiográfica de uma inclusão gasosa é a projeção dessa descontinuidade no plano do filme, sendo a fonte de gamagrafia o centro de projeção. Conforme a disposição do sistema de irradiação e configuração geométrica dessas descontinuidades as imagens podem ser

constituídas por manchas escuras, aproximadamente circulares e com contornos bem nítidos. Quando as inclusões gasosas se apresentam sob a forma de elipsoides ou cilindros elas recebem o nome de porosidade vermicular ou porosidade alongada.

As porosidades vermiculares podem produzir diferentes formas de imagens radiográficas conforme a direção do feixe de radiação incidente seja coincidente com a direção do eixo maior ou menor. Nos casos em que a direção do feixe incidente de radiação gama é paralelo a direção do eixo maior da descontinuidade a imagem radiográfica se aproxima de um círculo, com certa penumbra. Quando o feixe de radiação incidente é paralelo ao eixo menor da descontinuidade sua imagem radiográfica será constituída por manchas escuras alongadas.

Em soldas realizadas em ambos os lados da chapa metálica (Santo André e Osasco) pode ocorrer que os dois (2) primeiros cordões de cada lado não se fundem totalmente, ficando no interior da solda uma descontinuidade linear. Nas obras da SANEPAR, a solda foi executada em apenas um lado da chapa e por isso, a maior percentagem da falta de penetração foi registrada na raiz do chanfro da solda.

Em chapas que não recebem chanfro é necessário deixar sempre um afastamento entre os bordos, para evitar a falta de penetração e permitir que o metal depositado pela ação do arco elétrico chegue ao fundo deste espaço mais facilmente. A imagem radiográfica da falta de penetração é formada por uma linha escura sombreada, contínua ou interrompida no meio ou linha de centro. A imagem é bem definida quando a falta de penetração ocorre apenas em um lado da junta e menos definida quando ocorre no centro da junta.

A falta de fusão é uma descontinuidade bidimensional provocada, na maioria das vezes por insuficiência de temperatura ou presença de óxidos nas superfícies dos chanfros. Uma película de óxido pode separar, metalurgicamente, o metal solda depositado do metal base. Sendo uma descontinuidade bidimensional a direção do feixe incidente da radiação deve coincidir com o plano onde se encontra a parte afetada pela falta de fusão.

O aprisionamento de escórias dentro da massa do metal depositado provoca o aparecimento de descontinuidades chamadas inclusões de escória. A escória está sempre presente, na solda e atua a arco e serve para proteger a superfície do metal depósito não somente contra a ação do oxigênio do ar como também pelo resfriamento rápido. A escória penetra no interior do metal fundente e fica aprisionada formando a inclusão. Geralmente, quando a limpeza da superfície metálica é deficiente uma escória dura pode ficar colada, na superfície superior de um passe e ser recoberta pelos novos passes de solda. As inclusões de escória não têm geometria definida produzindo conseqüentemente imagens radiográficas irregulares.

As rachaduras das juntas soldadas são linhas de ruptura provocadas por tensões térmicas (rachaduras a quente) e por tensões mecânicas, (rachaduras a frio) mais frequentemente. Elas diferem das fissuras por serem mais facilmente detetáveis. Tanto as rachaduras como as fissuras são descontinuidades bidimensionais com imagem radiográfica formada por finas linhas sombreadas. O plano que contém a parte metálica afetada pela rachadura deve ter direção coincidente com a do feixe de radiação gama incidente, para que a sua imagem radiográfica seja bem definida. As rachaduras transversais foram encontradas em maior proporção (Curitiba e Osasco). São superficiais, aflorando a superfície do reforço da solda com ligeira tendência de

propagação para o interior do metal base.

IV - INTERPRETAÇÃO DAS GAMAGRAFIAS DE JUNTAS SOLDADAS

A análise das gamagrafias das juntas soldadas, das tubulações dos sistemas adutores de água de Curitiba, Santo André e Osasco foram realizadas em duas etapas:

- 1 - identificação das descontinuidades metálicas existentes no interior do metal solda e nas suas adjacências,
- 2 - avaliação do grau de severidade dessas descontinuidades.

A identificação das descontinuidades é feita pela interpretação da imagem radiográfica enquanto a avaliação do grau de severidade foi fixado pelas normas "ASME - BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE - Alternative Rules for Pressure Vessels - Division 2, 1968".

As descontinuidades consideradas graves e que foram responsáveis pela recusa da solda são as seguintes:

- a) qualquer tipo de trinca, zona de fusão incompleta e falta de penetração,
- b) qualquer inclusão de escória alongada, com comprimento superior a 3,5 milímetros para uma espessura de parte soldada compreendida entre 6,3 e 12,5 milímetros
- c) qualquer agrupamento de inclusão de escória, em linha, com comprimento superior a $\frac{L}{3}$, em uma extensão de solda de $12\frac{L}{3}$, exceto nos casos em que a distância entre as sucessivas descontinuidades metálicas é superior a $6L$, sendo L o comprimento da maior descontinuidade do agrupamento,
- d) porosidades com dimensões superiores a 3,2 milímetros ou $0,20T$, onde T representa a espessura da solda. Fixou-se como limite de recusa o menor valor entre os dois. Não se admitiu uma área total de porosidade superior a $1,5T$ centímetros quadrados de solda. Avaliou-se o número total de poros e comparou-se a área total com os valores especificados na tabela I.

TABELA I

Classificação das Porosidades em Soldas de Tubulação de Sistema
Adutor de Água - Extensão da Solda - 15cm

ESPESSURA DA SOLDA mm	ÁREA TOTAL PERMITIDA mm ²	POROSIDADE					
		GRANDE (mm)		MÉDIA (mm)		PEQUENA (mm)	
		Comp	Quant	Comp	Quant.	Comp	Quant.
3,2	4,84					0,3	49
6,3	9,68			0,6	31	0,3	100
12,7	19,35	2,5	4	0,8	40	0,5	101
19,0	29,03	3,0	5	0,9	50	0,6	99
25,4	30,70	3,0	5	1,1	50	0,7	101

VI - CONCLUSÕES

A técnica de gamagrafia permitiu um rigoroso controle da qualidade das soldas realizadas nos sistemas adutores de água de Curitiba, Santo André e Osasco, proporcionando nível de qualidade aceitável e evitando, por meio do reparo das soldas rejeitadas, futuras paralisações de fornecimento d'água à população, provocadas pela ruptura dos pontos fracos das soldas.

A análise de todas as descontinuidades detectadas mostrou:

- 1 - A qualidade do serviço de soldagem da tubulação da adutora de água de Santo André (SEMASA) é superior à de Curitiba e Osasco.
- 2 - O número de descontinuidades detectadas em soldas que foram realizadas dentro das valas é superior ao número de descontinuidades encontradas em tubos soldados fora da vala.
- 3 - Um soldador bem qualificado pode produzir soldas de baixa qualidade, com o uso de eletrodos em mau estado de conservação.

ABSTRACT

The non destructive testing of welds performed in Curitiba by the gamma radiography technique in order to detect the presence or absence of discontinuities and defects in the bulk of deposited metal and near of the base metal. The gamma radiography allows the documentation of the test with a complete inspection record, which is a fact not common in other non destructive testing methods.

In the quality control of longitudinal or transversal welds in water pipe lines, two exposition techniques are used: double wall and panoramic exposition. Three different water pipe lines systems (Curitiba, Santo André and Osasco) have been analysed for weld defects giving a total of 16.000 gamma radiographies. The tests were made according to the criteria established by the ASME standards. The principal metallic discontinuities found in the weld were: porosity (32%), lack of penetration (29%), lack of fusion (20%) and slag inclusion (19%). The percentage of gamma radiographies showing welds without defects was 39% (6168 gamma-radiographies). On the other hand 53% (8502 gamma-radiographies) showed the presence of acceptable discontinuities and 8% (1330 gamma-radiographies) were rejected according to the ASME standards.

The gamma-radiography tests and the analysis of results were performed by the technicians of the "Coordenadoria de Aplicação de Radioisótopos na Engenharia e na Indústria" (ICAREI), of the "Instituto de Energia Atômica de São Paulo". The supervision of the tests was under the responsibility of the "Superintendência de Tecnologia da CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas".

