CATEGORIA: PRODUÇÃO

Tratamento térmico por indução térmica em calotas de recipientes para GLP

Estudo comparativo sobre um processo inovador de alívio de tensão em aços conformados mecanicamente na fabricação de calotas para recipientes industriais

Felipe André – Rebogás
Raphael André – Rebogás
Nelson André – Rebogás
Willian Soares – Rebogás
Eduardo Santos – RIGETEC
Gabriel Matos - RIGETEC
Nilton Antonio Dias – Liquigás
Paulo de Martins - Liquigás
Henrique Donaire Sertório – Ultragaz
Reginaldo Joel Soares da Cunha – Ultragaz
Marcos Siqueira – Ultragaz
Paula Marques – Nacional Gás
André Monteiro – Supergasbrás

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 3
1.1 BREVE HISTÓRICO DAS EMPRESAS ENVOLVIDAS 3
1.1.1 REBOGAS REQUALIFICADORA..... 3
1.1.2 RIGETEC S/A 5
1.1.3 CIA ULTRAGAZ.....5
1.1.4 LIQUIGAS.....5
1.1.5 NACIONAL GAS.....6
1.1.6 SUPERGASBRAS.....7

2 PROBLEMAS E MOTIVAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO.....7

3 PLANO DE AÇÃO OBJETIVO E METAS ESTRATÉGICAS.....11

4 IMPEMENTAÇÃO.....13
4.1.1 ENSAIOS EM CALOTAS P20.....13
4.1.2 ENSAIOS EM CALOTAS P45.....20
4.1.3 ENSAIOS EM CALOTAS P190.....25
4.1.4 CONTROLE DE PROCESSO.....31

5 CONCLUSÕES.....31

6 CONTATO.....32

1. INTRODUÇÃO

O trabalho em questão, realizado pelas Empresas REBOGÁS E RIGETEC, em parceria com as empresas, ULTRAGAZ, LIQUIGÁS, NACIONAL GÁS BUTANO E SUPERGASBRÁS, traz um estudo comparativo sobre um processo inovador sobre alívio de tensão em aços conformados mecanicamente na fabricação de calotas para recipientes industriais. Até então, o processo predominante para atender os requisitos da NBR-8460 realizados pelos fabricantes de calotas para recipientes transportáveis de GLP, para realização do alívio de tensão, sempre foi através de forno convencional, onde são realizados tratamento térmico em lotes de produção.

Este processo de indução térmica apresentado neste projeto, permite ser realizado o tratamento térmico individual da peça, obtendo assim, aquecimento, monitoramento e registro individual da temperatura, consequentemente, uma melhor qualidade no tratamento térmico.

Outra grande vantagem deste processo é a economia de energia para produtores de pequenas quantidades. Em forno convencional, a produção de pequenos lotes tem um gasto muito grande de energia para poder tratar termicamente as calotas, uma vez que o forno convencional necessita de muitas peças ao mesmo tempo para ser aquecida.

1.1 Breve histórico das empresas envolvidas

1.1.1 Rebogás

Fundada em 2002 a REBOGAS surgiu como uma pequena oficina em Embu das Artes, focada no atendimento de requalificação* para distribuidores de GLP. Fundamentada na ABNT NBR 8460 direcionou estratégias agressivas e iniciou seu projeto de expansão. Atualmente estabelecida em Mauá (principal polo industrial do GLP em São Paulo), sagrou-se como referência de qualidade para prestação de serviços de requalificação de recipientes transportáveis na linha 5kl,13kl, 20kl, 45kl, 90kl, 125kl e 190kl. Instalados em 10.000m2 e capacitada para requalificar 200.000 cilindros mês, tornou-se líder de produção entre as requalificadoras independentes.

Visão: Ser reconhecida como a principal referência em qualidade e desenvolvimento industrial entre as requalificadoras independentes do País.

Missão: Oferecer serviços a preços competitivos, zelando pela ética, qualidade, respeito a funcionários, clientes e parceiros de forma a rentabilizar a sociedade.

*Requalificadora: Empresa autorizada como prestadora de serviço nos termos da NBR 8460.

1.1.2 RIGETEC

A Empresa RIGETEC – INSPEÇÃO E SOLUÇÕES TÉCNICAS, criada em 2015, é uma Empresa que tem se especializado em Inspeção e Soluções Técnicas no setor do GLP.

Localizada em Paulínia SP, (Maior polo petroquímico do Brasil), a RIGETEC veio para suprir uma necessidade de um trabalho diferenciado neste segmento como;

- Acompanhamento e inspeção de produção em recipientes transportáveis para GLP, testes, acabamento e embarques de vasilhames para GLP, avaliação de conformidade de qualidade conforme ABNT-NBR8460 e suas correlacionadas. Este acompanhamento tem como diferencial a verificação e controle desde a análise crítico de compra o qual define o produto e os requisitos que foram negociados, verificação do atendimento desses requisitos e até o recebimento do material no cliente, certificando que realmente o cliente esteja recebendo um produto conforme solicitado.

- Homologação de fornecedores para Requalificação de recipientes transportáveis para GLP, válvulas, plugues e acessórios como alças, bases, plaquetas de tara e plaquetas de controle de vencimento (ferraduras), atuando em treinamentos específicos e validação de todo o processo produtivo.

- Acompanhamento e certificação de inutilização de vasilhames conforme ABNT-NBR 8865, com registros e comprovação de inutilização de vasilhames considerados não apto para retorno ao mercado. Esta atividade visa dar mais segurança as Distribuidoras e Requalificadores, tornando o processo de inutilização bastante transparente, confiável, seguro, controlado, e principalmente padronizado, onde se mantem o mesmo nível e padrão de inutilização em todas as qualificadoras.

- Inspeção Norma Regulamentadora Nº 13 (NR-13). Inspeção inicial, periódicas e extraordinárias em vasos de pressão e tubulações, emissão de PAR (Projeto de Alteração ou Reparo), ensaios não destrutivos, estanqueidade e hidrostático.

- Acompanhamento de produção em fabricação de tanques de armazenamento ou Auto Tanques (sobre chassi ou como é conhecido de "Bobtail") inspecionando todas as etapas de projeto, produção e testes para tanques fabricados conforme ASME VIII.

A Rigetec tem como princípio, apresentar um processo diferenciado, conforme requisito do cliente, proporcionando redução de custos operacionais, sem perder a qualidade exigida por cada cliente.

1.1.3 Cia Ultragaz S/A

A Ultragaz é pioneira na distribuição de gás liquefeito de petróleo (Gás LP, também conhecido como gás de cozinha) no Brasil. Operando nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.
Na Bahia, utilizamos a marca Brasilgás, que se tornou uma das mais importantes da região.

Fundada em 1937 pelo imigrante austríaco Ernesto Igel, a Companhia Ultragaz é pioneira na introdução do Gás LP como gás de cozinha no Brasil. Mais de 70 anos depois, os fogões à lenha deixaram de fazer parte da vida das donas-de-casa e o mercado nacional passou a consumir, anualmente, mais de 6 milhões de toneladas do gás que é usado como combustível doméstico por cerca de 90% da população brasileira.

Foram muitas as mudanças nas últimas décadas, mas o pioneirismo continua a ser a marca da Ultragaz, empresa que deu início ao Grupo Ultra (Ultrapar Participações S/A), um dos mais sólidos conglomerados econômicos do País, cujas ações são negociadas, desde 1999, nas bolsas de valores de São Paulo e de Nova York.

1.1.4 Cia Liquigás

A história da Liquigás começou na Itália, pouco antes da Segunda Guerra Mundial. Foi uma das pioneiras na exploração comercial do Gás Liquefeito de Petróleo - GLP, para o uso doméstico.

Em **1953**, a empresa formou uma equipe de vendedores e técnicos para montarem uma nova distribuidora, a partir do zero, no novo país de interesse de expansão: o Brasil.

Trouxeram inicialmente 187.500 botijões vazios de 10 quilos e o conhecimento do produto a ser comercializado.

A Liquigás do Brasil foi pioneira ao trazer para o Brasil os Carrosséis Eletrônicos Mássicos, um sistema de engarrafamento de GLP para botijões de 13 quilos, que modernizou o processo de engarrafamento nos centros operativos.

Em **1981**, a Agip Petroli - multinacional italiana pertencente ao Grupo ENI (Ente Nazionale Idrocarburi) comprou a Liquigás do Brasil, transformando-a em AgipLiquigás.

A partir de **1997**, a AgipLiquigás passou a ser a única acionista, assumindo o controle efetivo das duas marcas: Novogás e Tropigás.

Em **1998**, ingressou no segmento de distribuição de combustíveis adquirindo a rede de postos combustíveis São Paulo, aumentando sua participação neste mercado com a aquisição de parte da rede de postos Shell Brasil em 2000 e da rede Ipê Distribuidora de Petróleo em 2001.

Em agosto de **2004**, a Petrobras Distribuidora S.A – BR, subsidiária integral da empresa Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras, oficializou a compra da Agip do Brasil S.A.,

A partir de 1° de janeiro de **2005**, a empresa começou a atuar no mercado como Liquigás Distribuidora S.A.
Em novembro de 2012, após uma reorganização societária, passou a ser subsidiária direta da Petrobras S.A.

Hoje, a Liquigás, subsidiária da Petrobras, é líder no mercado de botijões de gás de até 13 kg e uma das maiores distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo do Brasil.

1.1.5 NACIONAL GÁS

A história da **Nacional Gás** se inicia através do pioneirismo e ousadia do jovem cearense Edson Queiroz que dá início também ao Grupo Edson Queiroz, que viria a atuar em diversos segmentos. Em 1951, atento aos acontecimentos no sul do país e também ao amadurecimento do mercado nordestino, Edson Queiroz percebeu que Fortaleza estava pronta para abandonar os fogões à lenha e entrar para a era recipiente de gás.

No início, as dificuldades eram inúmeras e poderosas. A começar pela obtenção de GLP, que era importado do México e dos Estados Unidos. Havia também a dificuldade de distribuição. Mas o maior problema seria mesmo o preconceito do povo em relação ao gás, que incluía o medo de explosão e a teoria de que o gás daria “gosto ruim à comida”. Para vencer essas barreiras, foi preciso que o jovem empresário passasse a vender fogões, e a ir pessoalmente de casa em casa fazer a instalação e preleções sobre as vantagens dos novos produtos.

Em 1953, após uma cartada arrojada, Edson Queiroz obteve a autorização para carregar seus botijões de gás na Refinaria de Mataripe/BA. A partir desta concessão, a Edson Queiroz & Cia. reduziu os custos para obtenção do GLP, conseguindo progressos significativos na distribuição, derrubando também os últimos preconceitos existentes no mercado

cearense. Foi quando a empresa começou realmente a crescer, ampliando-se para outros estados do Brasil, além de ramificar-se em outras atividades econômicas.

A Nacional Gás chega aos dias atuais com foco na modernidade, com destaque nacional no segmento de gás domiciliar e crescendo cada vez mais no segmento granel, graças ao reconhecimento e preferência dos seus parceiros de negócios, clientes e consumidores. Atuando no armazenamento, envase e distribuição de GLP em todo o Brasil, está presente em quase todo o território nacional, com uma estrutura que inclui 45 filiais, sendo 27 bases engarrafadoras, dentre elas uma das mais modernas da América Latina.

Por um lado, a Nacional Gás investe constantemente em tecnologia, tendo firmado uma parceria inédita com a Universidade de Fortaleza em pesquisas que visam ao desenvolvimento de aplicações de GLP para os mais diversos setores produtivos. Por outro lado, cumprem sua função social chegando até os recantos mais longínquos do Brasil, sempre pensando na satisfação e segurança do consumidor.

1.1.6 SUPERGASBRAS

A Supergasbras é uma empresa com mais de 70 anos de tradição no mercado nacional.

Pertence ao Grupo SHV, criado em 1896 na Holanda a partir da fusão de grandes empresas de comércio de carvão, algumas das quais que estavam em atividade desde o século XVIII. Após o declínio do carvão como fonte primária de energia, em meados do século XX, a SHV decidiu explorar outros segmentos.

Hoje o grupo possui empresas que atuam na distribuição de GLP, exploração de petróleo e gás, e energia sustentável, entre outros.

Em julho de 2004, a SHV Energy, que já detinha 100% da Minasgás e 49% da Supergasbras, adquiriu os 51% das ações restantes da Supergasbras. Assim, foi criada a SHV Gás Brasil, que assumiu a gestão das duas marcas e trouxe para o país toda a expertise do grupo líder mundial em distribuição de GLP.

Em 2010, a SHV Energy realizou a transição para uma só bandeira em todo o país. Com isso a Supergasbras passou a ser a marca única para os segmentos granel e envasado, representando a qualidade e a excelência dos serviços e produtos da empresa. Consolidando esse processo, a empresa adotou, no final de 2011, a razão social Supergasbras Energia Ltda.

2 - PROBLEMAS E MOTIVAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO

Dentro do processo produtivo dos recipientes de GLP, existem vários cilindros com capacidades volumétricas distintas, destinadas a finalidades específicas. Podemos citar dentre os principais e mais utilizados, os seguintes produtos;

- P-13 Cilindro de aço para GLP com 13 kg de capacidade de gás.

- P-20 Cilindro de aço para GLP com 20 kg de capacidade de gás.

- P-45 Cilindro de aço para GLP com 45 kg de capacidade de gás.

- P-190 Cilindro de aço para GLP com 1909 kg de capacidade de gás.

O corpo do cilindro constitui de basicamente duas ou três partes, sendo elas, calotas superior e inferior (chapa com as mesmas espessuras e que passa pelo processo de conformação mecânica afim de atingir o formado especifico de cada produto, bem como podendo existir um corpo intermediário quando especificado pelo cliente).

As calotas, principalmente as inferiores, estão muito suscetíveis a corrosão por estarem em contato mais próximo ao solo e consequentemente em contato com umidades e intempéries, fazendo com que haja a necessidade de substituição da calota inferior no processo de requalificação.

Esta substituição (prevista na norma de requalificação NBR-8865, item 4.16.2, alínea f) é possível desde que atenda alguns requisitos, dentre eles, que a calota após conformação mecânica, passe por um processo de alivio de tensão.

Conformação é o processo mecânico onde se obtém peças através da compressão de metais sólidos em moldes, utilizando a deformação plástica da matéria-prima para o preenchimento das cavidades dos moldes.

A fim de atender a NBR-8460/2011 (item 4.2.4.2), todo recipiente antes do ensaio de estanqueidade devem ser normalizados a uma temperatura entre 890 °C e 920 °C ou sofrer alivio de tensões a uma temperatura entre 600 °C e 650 °C.

O recipiente ou calota deve ser aquecido por um tempo suficiente até que todos os pontos da chapa atinjam a temperatura estabelecida e nela permaneçam o tempo suficiente para que se promova o tratamento térmico, sendo resfriado ao ar, até atingir 200°C. A partir de 200 °C, o resfriamento pode ser completado ao ar ou por outros meios, desde que se assegure o cumprimento integral das especificações contidas nesta seção.

O fabricante deve ter sistema de controle que assegure que a temperatura do recipiente ou calota, imediatamente antes do resfriamento alternativo, seja de no máximo 200 °C.

O fabricante deve ter um sistema de controle que assegure que a temperatura do recipiente ou da calota no tratamento térmico não ultrapasse o estabelecido em na NBR-8460/2011 item 4.2.4.2, não podendo ser considerados como sistema de controle os ensaios mecânicos ou hidrostáticos.

Para que possamos entender um pouco mais sobre o processo de alivio de tensão, primeiramente vamos definir o tema;

Alívio de tensões é um processo que tem como objetivo obter um rearranjo nas discordâncias causadas por algum processo anterior. Soldas e usinagem são processos que causam modificações na microestrutura do aço, que rompem o equilíbrio das macrotensões de natureza elástica podendo a peça: empenar, torcer ou até trincar.

No alívio de tensões, o processo acontece na fase inicial do recozimento. A temperatura se dá entre 600°C e 650°C e deve ter um resfriamento devagar. Alguns processos como normalização e revenimento que podem dar alivio de tensão no aço são usados em casos cuja microestrutura foi modificada por outros processos diferentes dos mencionados. Este processo não altera, a quantidade de defeitos na peça, mas as mudanças na microestrutura levam a uma condição de melhor estabilidade por aumento da ductilidade e dureza.

Este processo não altera, a quantidade de defeitos na peça, mas as mudanças na microestrutura levam a uma condição de melhor estabilidade, por aumento da ductilidade e dureza.

No alívio de tensões, o processo acontece na fase inicial do recozimento. A temperatura se dá entre 600°C e 680°C e deve ter um resfriamento devagar. Alguns processos como normalização e revenimento que podem dar alivio de tensão no aço são usados em casos cuja microestrutura foi modificada por outros processos diferentes dos mencionados. No gráfico abaixo, *(fig. 1),* mostra claramente as fases para obtenção do tratamento térmico de alívio de tensão – Aquecimento *TA*, Permanência *Tp* e Resfriamento *TR.*

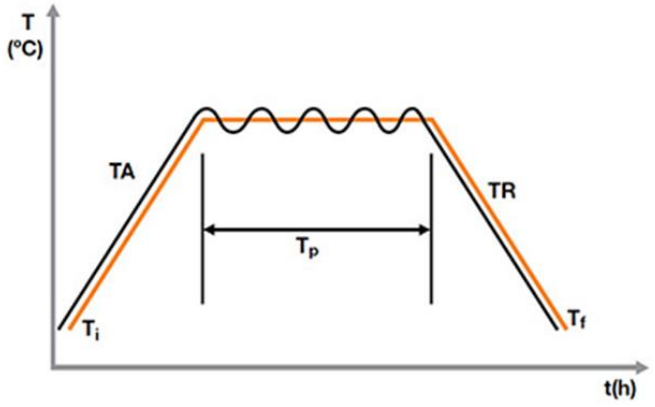


Figura 1: Gráfico TT para o Tratamento Térmico de Alívio de Tensões.

Este processo que provoca mudanças na microestrutura leva a uma condição de melhor estabilidade por aumento da ductilidade e dureza.

Os fabricantes de recipientes têm utilizado fornos convencionais *(fig. 2)* para aquecimento das calotas afim de obtenção do alivio de tensão.

Fig. 2

O processo de alivio de tensão realizado através do forno convencional consiste em colocar uma grande quantidade de calotas dentro do forno geralmente a gás LP (lote de 1000 peças), manter vários queimadores ligados até que a peça atinja temperatura determinada pela referida norma. O processo de alívio de tensão em fornos convencionais tem ótima eficiência energética para fabricantes de grandes quantidades, porém este processo tem um alto custo com o consumo de gás para pequenos fabricantes que necessitam de um tratamento térmico em pequenas quantidades de peça. Neste processo, ocorre o risco de a chama entrar em contato com a peça, o que poderia ocasionar uma diferença muito grande de temperatura entre o centro e a superfície da peça.

Já o processo de alivio de tensão através de indução elétrica, consiste em aquecer o material (calota) individualmente (*Fig.3)* e de forma homogênea, que proporciona aos pequenos fabricantes de calotas, um processo mais otimizado, sendo de fácil controle e grande economia em seus custos operacionais.

Fig.3

O tratamento térmico de alivio de tensão por indução elétrica, surge neste cenário como sendo um processo inovador, de baixo custo principalmente para o segmento de requalificação, que demandam de uma quantidade razoável de produção, e com excelente controle de qualidade, uma vez que os equipamentos hoje fornecem a temperatura em tempo real e individual (peça a peça).

3 - PLANO DE AÇÃO, OBJETIVOS, METAS E ESTRATÉGIAS

Para viabilizar o processo e principalmente atender os requisitos da NBR-8460, houve a necessidade de realizar vários experimentos, ensaios e testes a fim de certificar que a qualidade dos produtos realizados através do processo de indução elétrica, atenderiam os requisitos de norma e principalmente, atingissem seu objetivo principal que seria o alívio da tensão residual provocado no processo de conformação das calotas.

Para assegurar que este processo fosse rigorosamente contemplado todas as etapas, segregamos 3 calotas *(Fig. 4)* de cada modelo (P20, P-45 e P-190), e submetidos ao tratamento nos processos forno convencional a gás e aquecimento por indução, afim de verificar o comportamento de cada processo, sendo;

- 3 calotas de P-20
  - Calota sem tratamento térmico (A)
  - Calota com tratamento convencional a gás (B).
  - Calota com tratamento por indução elétrica (C).

- 3 calotas de P-45
  - Calota sem tratamento térmico (A)
  - Calota com tratamento convencional a gás (B).
  - Calota com tratamento por indução elétrica (C).

- 3 calotas de P-190
  - Calota sem tratamento térmico (A)
  - Calota com tratamento convencional a gás (B).
  - Calota com tratamento por indução elétrica (C).

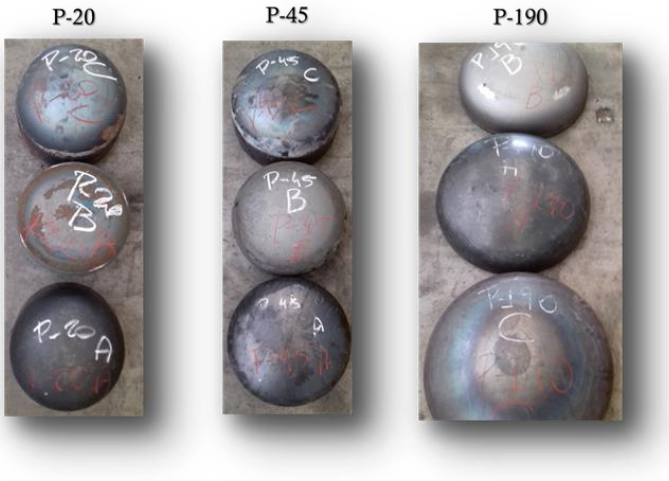


Fig. 4

As calotas foram fabricadas, a partir de um mesmo aço conforme definido na norma específica que determina qual tipo de aço deve ser utilizados na fabricação de calotas para recipientes de gás GLP de acordo com a NBR-7460, para que fossem reduzidas as variabilidades causadas por diferentes tipos de material. O objeto de estudo deste projeto é conhecer o comportamento entre os processos de conformação sem tratamento (alívio de tensão), alivio de tensão por processo convencional e alívio de tensão pelo processo de indução elétrica.

Através do processo comparativo e análise do resultado dos diferentes tipos de tratamento térmico, poderemos recomendar ou não este processo, como sendo um processo capaz e eficaz.

Os diferentes comportamentos do aço nestes 3 casos, somente seriam perfeitamente compreendidos através de análises metalúrgicas. Para que tivéssemos elementos comparativos e qualitativos, foram definidas as seguintes análises metalográficas;

⇨ *Dureza do material*.

Para esta análise, o resultado esperado é conhecer a variabilidade de dureza nas calotas sem tratamento térmico, com tratamento térmico em forno convencional e tratamento térmico através do processo de indução elétrica. Material sem tratamento térmico, tem uma tendência de maior ductibilidade. Material sem tratamento térmico tem uma tendência de maior ductibilidade.

⇨ *Resistência à tração mecânica.*

Para esta análise, o resultado esperado é conhecer a variabilidade de resistência mecânica através do processo de tração em corpos de provas, extraídos das calotas sem tratamento térmico, com tratamento térmico em forno convencional e tratamento térmico através do processo de indução elétrica. Material sem tratamento térmico, tem uma tendência de baixa resistência a tração. Material sem tratamento térmico tem uma tendência de baixa resistência a tração.

⇨ *Análise da microestrutura do material.*

Para esta análise, o resultado esperado é conhecer o comportamento estrutural do aço através do processo de análise metalográfica microscópica, extraídos das calotas sem tratamento térmico, com tratamento térmico em forno convencional e tratamento térmico através do processo de indução elétrica. Material sem tratamento térmico tem uma tendência desarranjo molecular em função da tensão causada pela conformação mecânica a frio.

⇨ *Medição do tamanho dos grãos do aço.*

Para esta análise, o resultado esperado é conhecer o tamanho dos grãos do aço através do processo de análise metalográfica microscópica, extraídos das calotas sem tratamento térmico, com tratamento térmico em forno convencional e tratamento térmico através do processo de indução elétrica. Material sem tratamento térmico tem uma tendência de que os tamanhos dos grãos sejam maiores devido ao desarranjo molecular provocado pela conformação mecânica a frio.

4. IMPLEMENTAÇÃO

A partir das amostras de cada produto separadas e identificadas, escolhemos um conceituado laboratório metalúrgico (PROAQT – Empreendimentos Tecnológicos) para que analisassem os materiais enviados conforme as seguintes propriedades: Dureza do material, Resistência à tração mecânica, Análise da microestrutura do material, Medição do tamanho dos grãos do aço.

Os seguintes resultados foram apresentados:

4.1- Ensaios Realizados em calotas de P-20.

a) Calota P-20 sem tratamento térmico. (Identificada como amostra 1A).

⇨ Este processo demostra qual o comportamento do material sem passar pelo alivio de tensão. Realizou se o processo de conformação mecânica (repuxo a frio) e submetemos a amostra a análise para comparar com os demais processos de alivio de tensão.

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm^2)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03248A/18	2,50 x 12,49	31,23	1656	520	1576	495	50	18

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 22°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro N° 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:

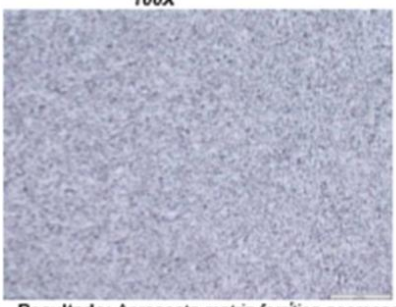
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Médias
03248A/18	**Posição 01**	156 – 158 – 150	**155**
	Posição 02	151 – 153 – 150	**151**
	Posição 03	152 – 151 – 154	**152**

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

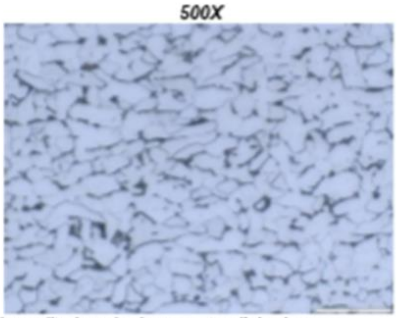
Exame Micrográfico

2.3.1 Posição 01

100X



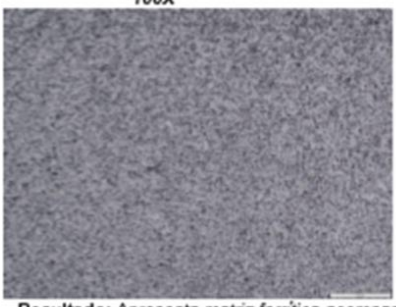
500X



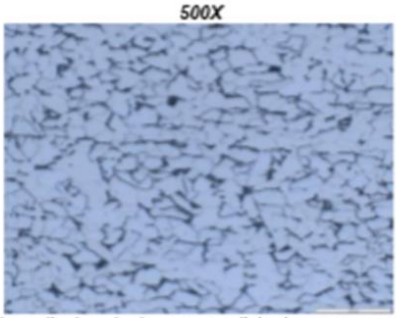
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar levemente alinhada e em
- contôrnos dos grãos ferríticos, mais partículas globulares de carbonêtos no interior da ferrita.
- Microestrutura apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

2.3.2 Posição 02

100X



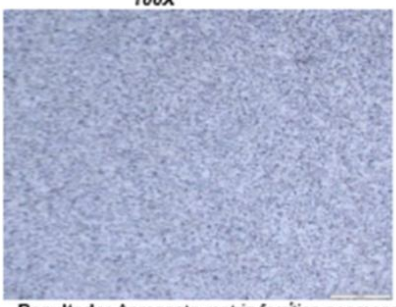
500X



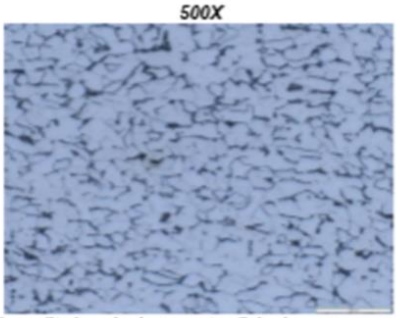
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar levemente alinhada e em
- contôrnos dos grãos ferríticos, mais partículas globulares de carbonêtos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

2.3.3 Posição 03

100X



500X



- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar levemente alinhada e em
- contôrnos dos grãos ferríticos, mais partículas globulares de carbonêtos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

b) Calota P-20 com tratamento térmico em forno convencional. (identificado como amostra 1B).

⇨ Esta amostra, logo após a conformação mecânica, foi realizada alivio de tensão em forno convencional (forno a gás LP), onde todo lote foi submetido ao alivio de tensão, sendo considerado como processo convencional pelo fato de que hoje a maioria dos fabricantes fazem o alivio de tensão em seus processos de fabricação.

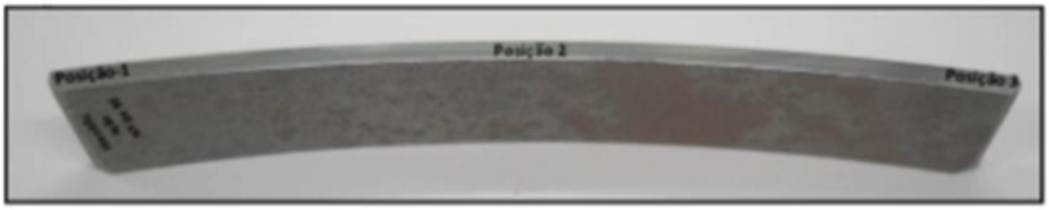
Local de retirada das amostras

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm²)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03248B/18	2,65 x 12,58	33,34	1422	418	840	247	50	20

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 22°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro N° 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:



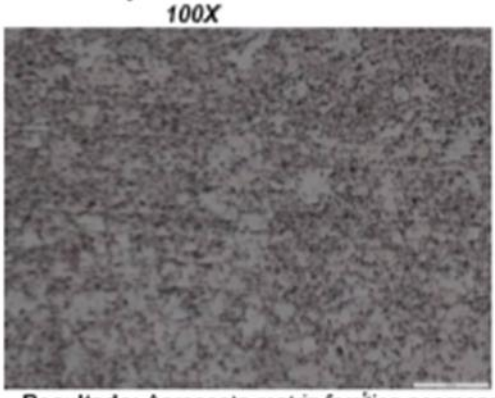
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03248B/18	Posição 01	98 – 98 – 97	98
	Posição 02	121 – 121 – 121	121
	Posição 03	118 – 117 – 117	117

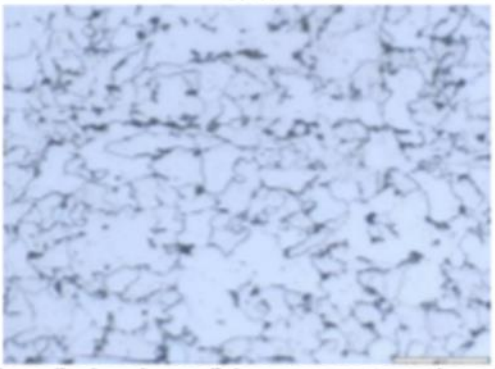
- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

Exame Micrográfico

3.3.1 Posição 01

100X *500X*

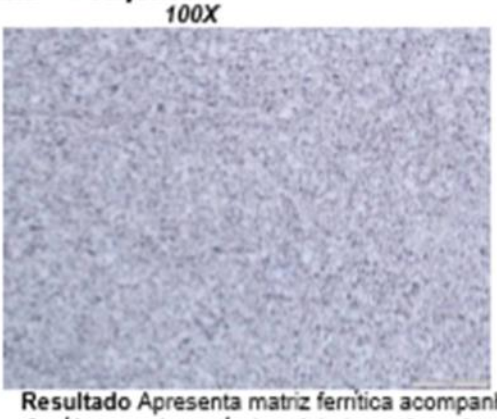


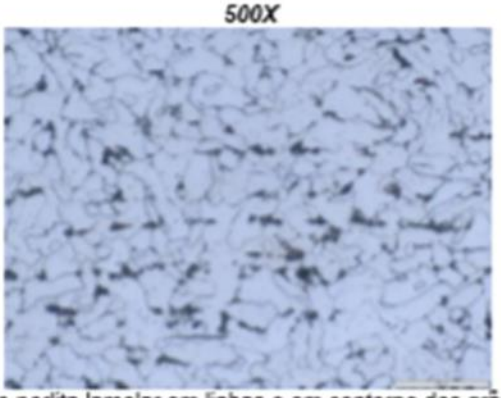


- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos
- ferríticos, mais partículas globulares de carbonêtos no interior da ferrita.
  Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 6-8.

3.3.2 Posição 02

100X *500X*

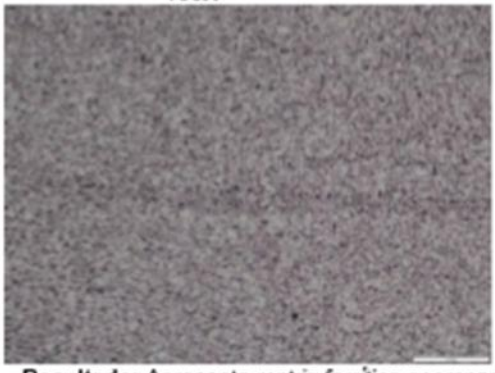


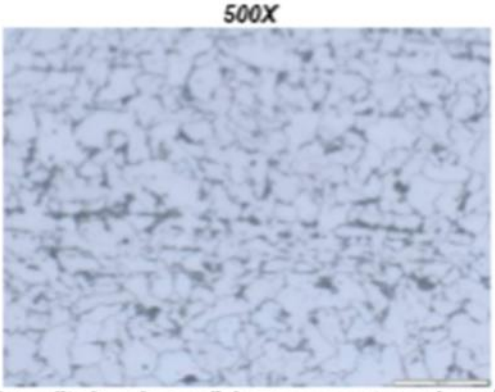


- **Resultado** Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos
- ferríticos, mais partículas globulares de carbonêtos no interior da ferrita.
  Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

3.3.3 Posição 03

100X *500X*





- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos
- ferríticos, mais partículas globulares de carbonêtos no interior da ferrita.
  Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

C) <u>Calota P-20 com tratamento térmico através do tratamento térmico por indução</u>. (identificado como amostra 1C).

⇨ Após a conformação do material, a amostra foi submetida a alívio de tensão através do aquecimento através do processo de indução elétrica. Este processo teve como premissa o

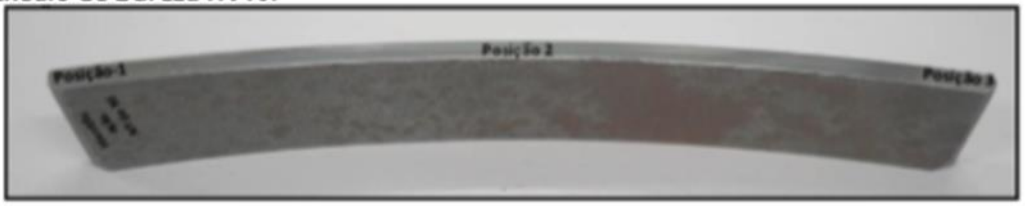
controle da temperatura, a permanência do aquecimento do material por um determinado tempo, e posteriormente resfriado ao ar livre.

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm²)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03248C/18	2,44x 12,67	30,91	1425	452	1207	383	50	19

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 22°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro N° 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:



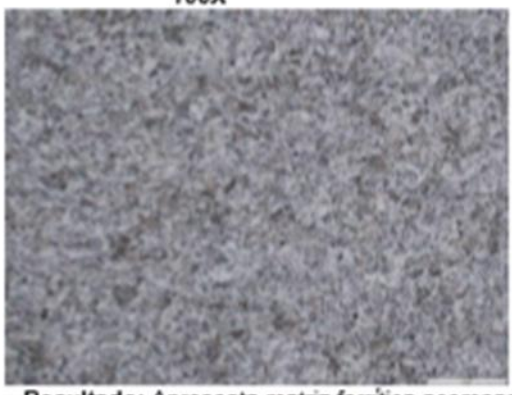
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03248C/18	Posição 01	148 – 148 – 148	148
	Posição 02	145 – 145 – 147	146
	Posição 03	147 – 142 – 147	145

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

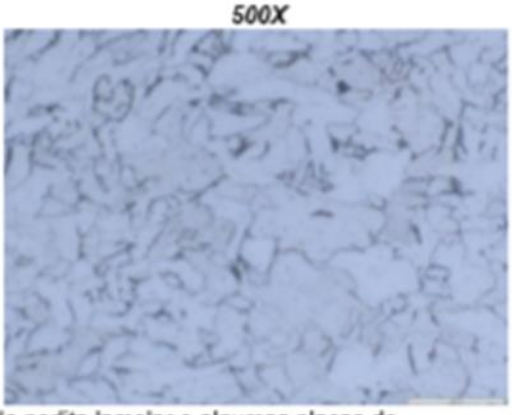
Exame Micrográfico

4.3.1 Posição 01

100X



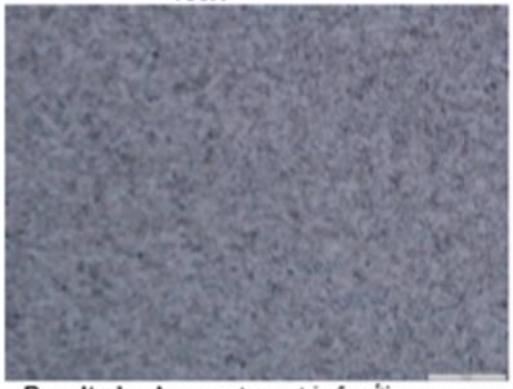
500X



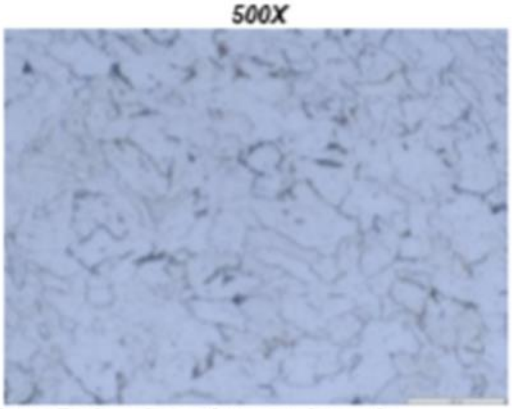
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e algumas placas de
- carbonêtos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3.2 Posição 02

100X



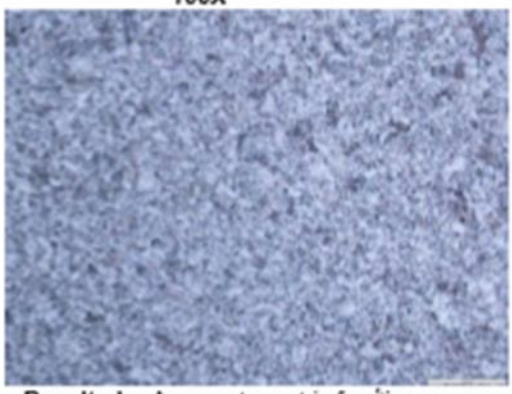
500X



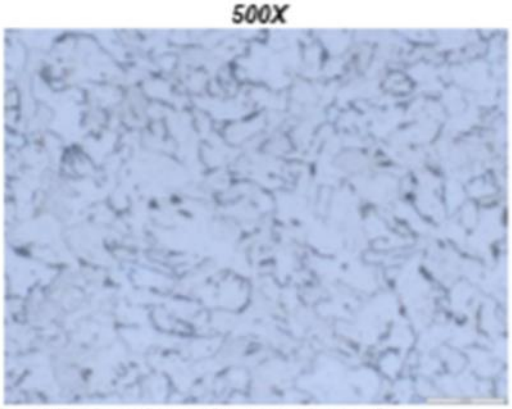
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e algumas placas de
- carbonêtos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3.3 Posição 03

100X



500X



- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e algumas placas de
- carbonêtos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.2- Ensaios Realizados em calotas de P-45.

A) <u>Calota P-45 sem tratamento térmico.</u> (Identificada como amostra 2A).

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm²)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03251A/18	2,80 x 12,60	35,28	1362	379	1147	319	50	25

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro N° 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:

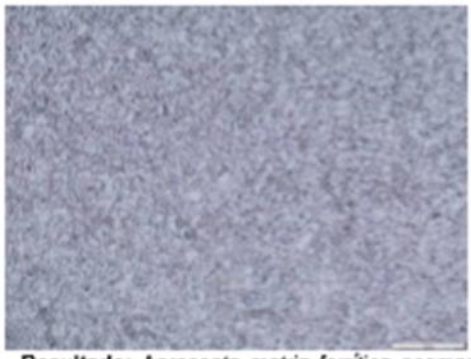
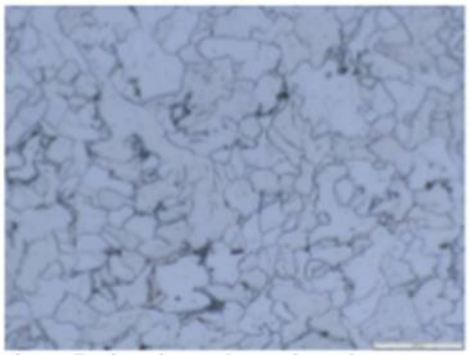
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03251A/18	Posição 01	132 – 134 – 132	133
	Posição 02	128 – 120 – 119	122
	Posição 03	112 – 118 – 115	115

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

Exame Micrográfico

2.3.1 Posição 01

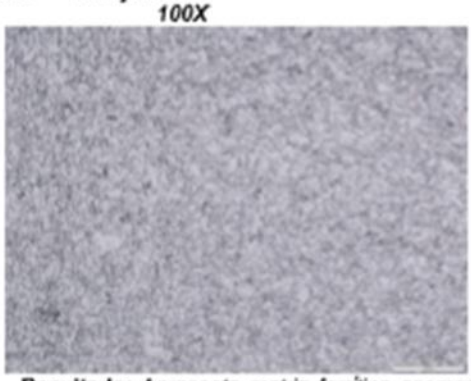
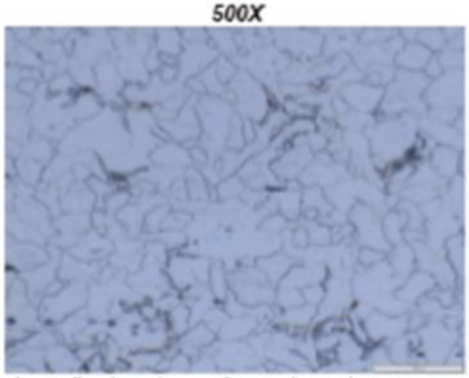
100X ***500X***

- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e placas de carbonetos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Microestrutura apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8

2.3.2 Posição 02

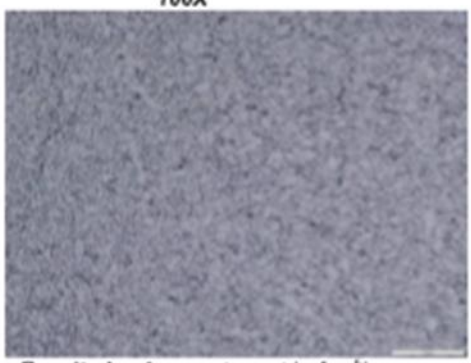
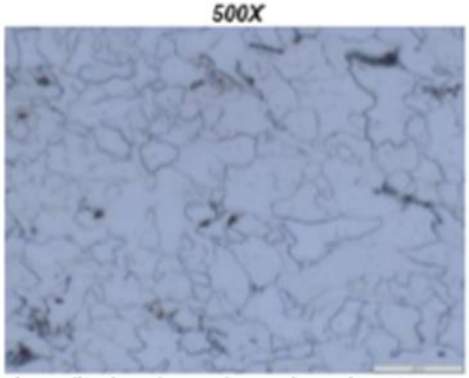
100X ***500X***

- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e placas de carbonetos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

2.3.3 Posição 03

100X ***500X***

- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e placas de carbonetos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

B) <u>Calota P-45 com tratamento térmico em forno convencional.</u> (identificado como amostra 2B).

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões (mm)	Seção do CP (mm²)	Limite Reicténois Tração (Carga Kgf)	(MPa)	Limite de Escoamento (Carga Kgf)	(MPa)	Alongamento (Lo mm)	(%)
03251B/18	2,55 x 12,66	32,28	1754	533	1345	409	50	17

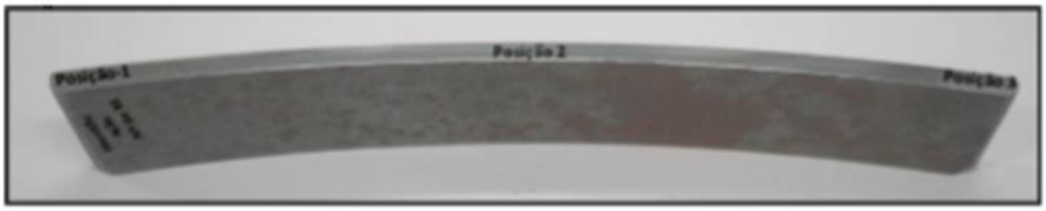
- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro Nº 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões (mm)	Seção do CP (mm²)	Limite Reicténois Tração (Carga Kgf)	(MPa)	Limite de Escoamento (Carga Kgf)	(MPa)	Alongamento (Lo mm)	(%)
03251B/18	2,55 x 12,66	32,28	1754	533	1345	409	50	17

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro Nº 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:



Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03251B/18	Posição 01	184 – 184 – 187	185
	Posição 02	170 – 163 – 160	164
	Posição 03	140 – 137 – 136	138

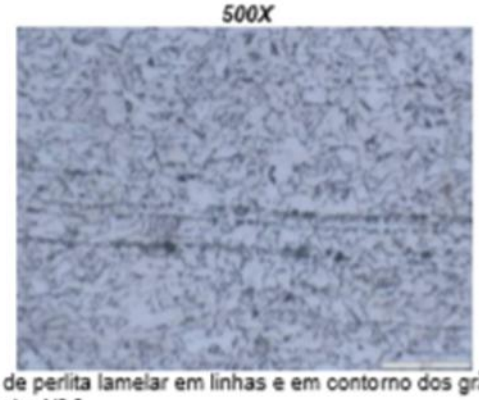
- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24ºC, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

Exame Micrográfico

3.3.1 Posição 01

100X

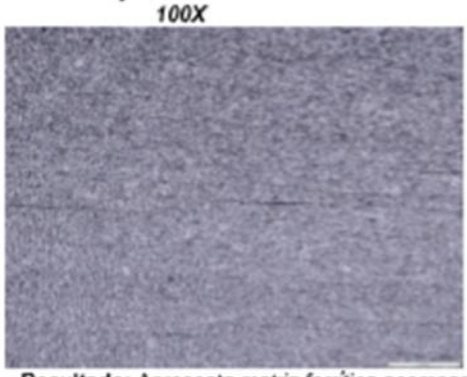
500X



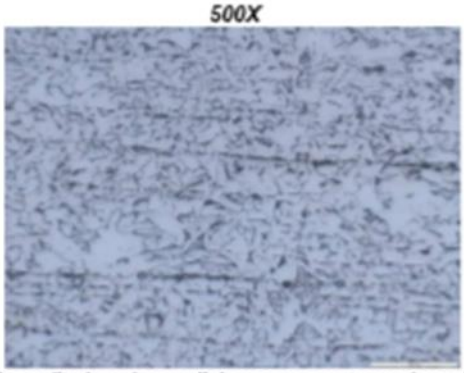
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos ferríticos.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

3.3.2 Posição 02

100X



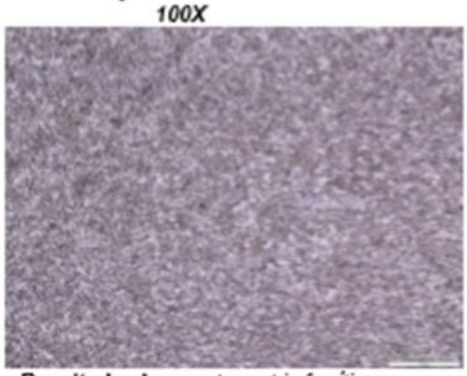
500X



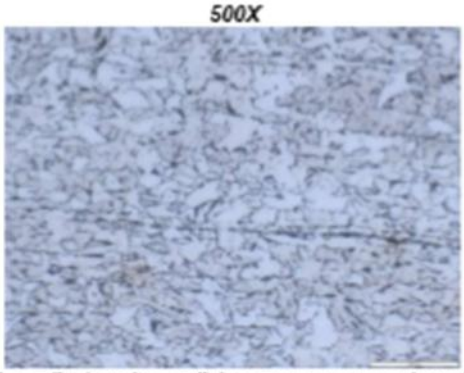
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos ferríticos.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

3.3.3 Posição 03

100X



500X



- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos ferríticos.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

C) <u>Calota P-45 com tratamento térmico através do tratamento térmico por indução</u>. (identificado como amostra 2C).

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões (mm)	Seção do CP (mm²)	Limite Resistênois Tração (Carga Kgf)	(MPa)	Limite de Escoamento (Carga Kgf)	(MPa)	Alongamento (Lo mm)	(%)
03251C/18	2,77 x 12,65	35,04	1496	419	1177	329	50	25

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro Nº 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:

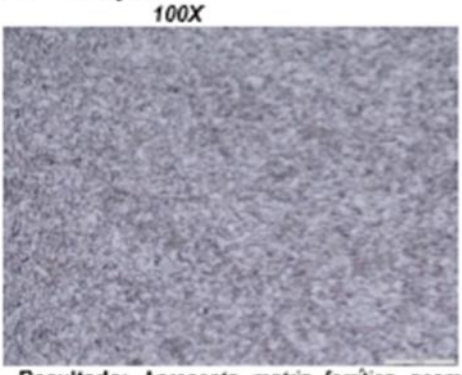
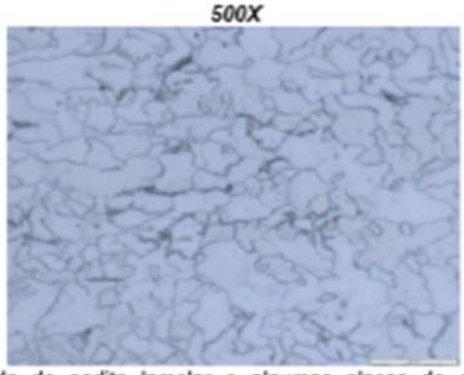
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03251C/18	Posição 01	150 – 149 – 149	149
	Posição 02	126 – 128 – 129	128
	Posição 03	116 – 119 – 120	118

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Fantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

Exame Micrográfico

4.3.1 Posição 01

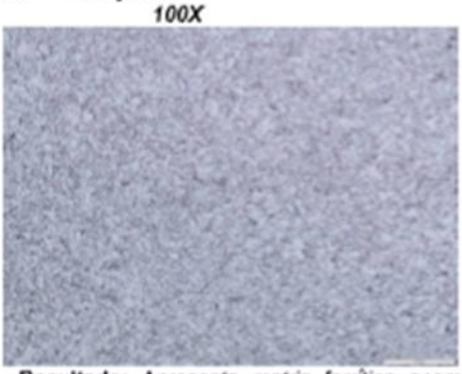
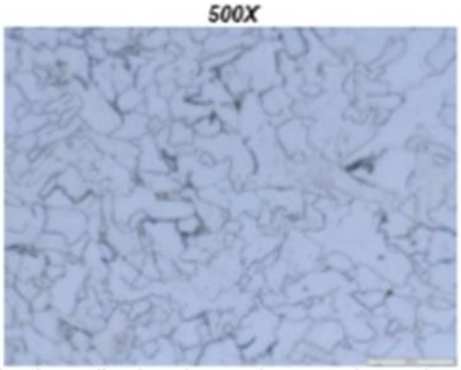
100X ***500X***

- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e algumas placas de carbonetos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3.2 Posição 02

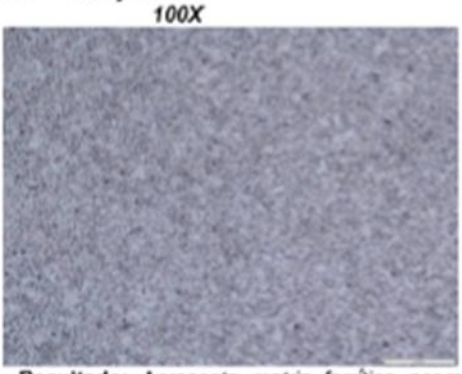
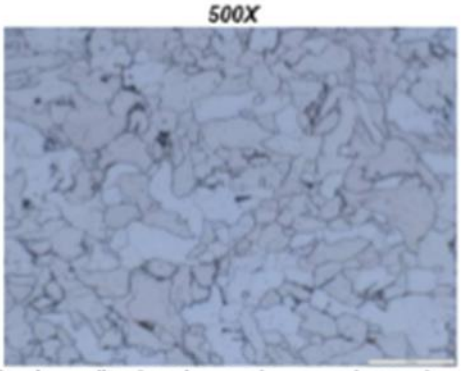
100X ***500X***

- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e algumas placas de carbonetos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3.3 Posição 03

100X ***500X***

- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar e algumas placas de carbonetos nos contornos dos grãos de ferrita, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3- Ensaios Realizados em calotas de P-190.

A) Calota P-190 sem tratamento térmico. (Identificada como amostra 3A).

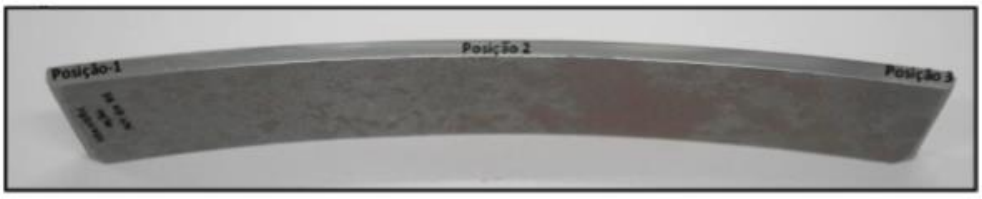
Local de retirada das amostras

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm^2)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03254A/18	4,85 x 12,68	61,50	2934	468	2546	406	50	22

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro N° 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:



Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03254A/18	Posição 01	161 – 163 – 167	164
	Posição 02	140 – 139 – 139	139
	Posição 03	137 – 140 – 140	139

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

B) <u>Calota P-190 com tratamento térmico em forno convencional</u>. (identificado como amostra 3B).

Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm^2)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03254B/18	4,93 x 12,62	62,22	3324	524	2868	452	50	21

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro N° 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:

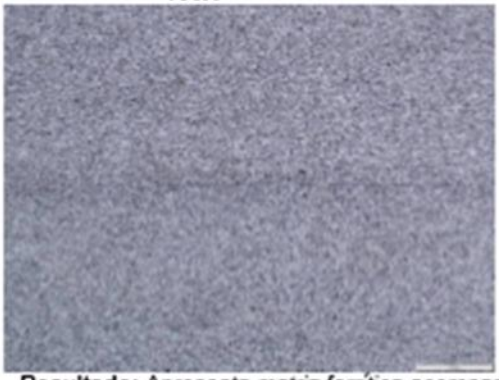
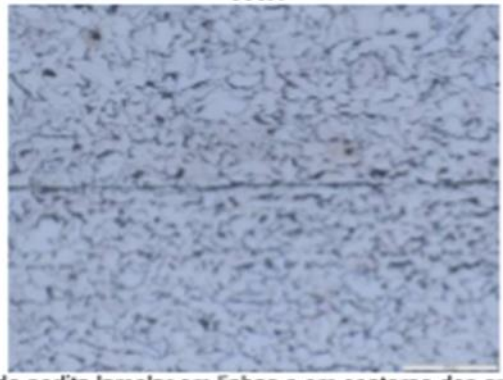
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03254B/18	**Posição 01**	177 – 179 – 176	**177**
	Posição 02	164 – 165 – 160	**163**
	Posição 03	150 – 153 – 150	**151**

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio:** Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

Exame Micrográfico

3.3.1 Posição 01

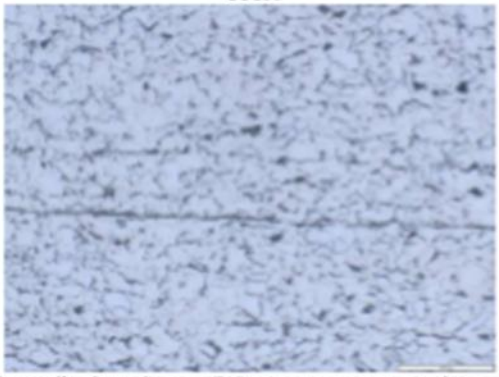
100X *500X*

- **Resultado:** Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos ferríticos.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

3.3.2 Posição 02

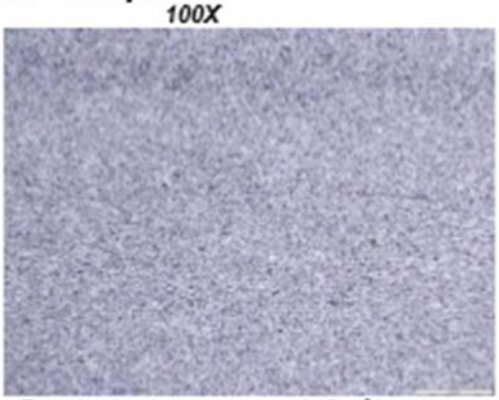
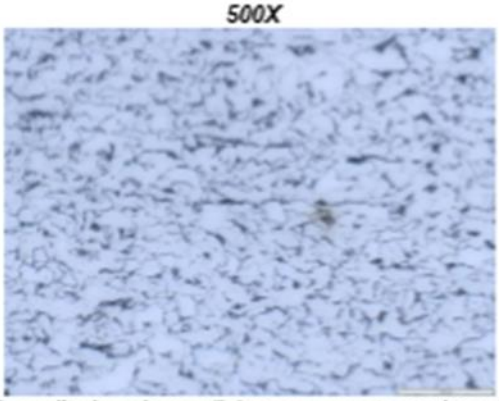
100X *500X*



- **Resultado:** Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos ferríticos.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

3.3.3 Posição 03

100X *500X*

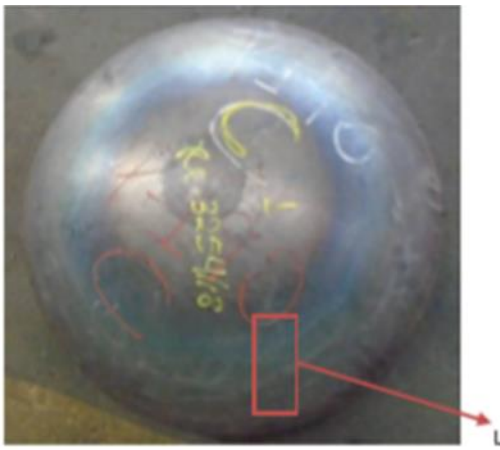



- **Resultado:** Apresenta matriz ferrítica acompanhada de perlita lamelar em linhas e em contorno dos grãos ferríticos.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 8.

3.3.4 Informações pertinentes aos ensaios

- **Preparação do CP:** Conforme Norma ASTM E 3/2011
- **Método de Ensaio - Micrografia:** Conforme Norma ASTM E 7/2009
- **Método de Ensaio - Tamanho de Grão:** Conforme Norma ASTM E 112/2013
- **Ataque:** Nital 2% **Aumentos:** 100 e 500 Vezes **Secção:** Transversal
- Ensaio realizado no microscópio Olympus GX 51 - MOM 002 – Certificado: 22.041/2017 em 28/06/2017.

C) Calota P-190 com tratamento térmico através do tratamento térmico por indução. (identificado como amostra 3C).

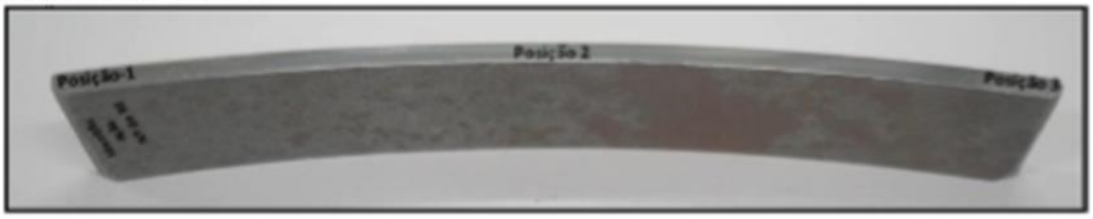


Ensaio de Tração:

Amostra	Dimensões	Seção do CP	Limite Resistência Tração		Limite de Escoamento		Alongamento	
	(mm)	(mm^2)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Carga Kgf)	(MPa)	(Lo mm)	(%)
03254C/18	4,67 x 12,61	58,89	2568	428	2120	353	50	26

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM A 370/2016 Fig.3 (CP retirado no sentido Longitudinal da amostra recebida)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM A 370/2016
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 21°C, através da máquina universal de ensaio RIEHLE MTR-005, escala 30T, certificado de calibração DNTT-0425c/2018 em 10/05/2018, Paquímetro Nº 006, certificado D12655/2017 em 06/10/2017.
- Incerteza de medição ± 1% do valor indicado.

Ensaio de Dureza HV10:



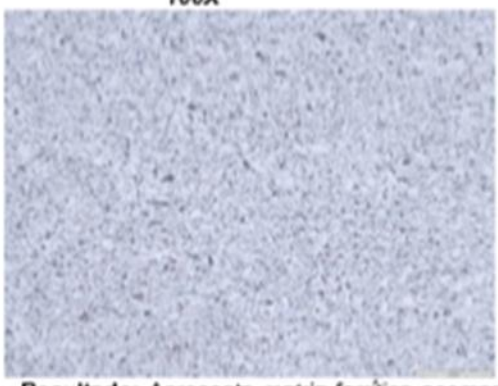
Amostra	Região	Valores Encontrados em HV10	Média
03254C/18	Posição 01	128 – 129 – 126	128
	Posição 02	126 – 122 – 120	123
	Posição 03	120 – 122 – 122	121

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- **Método de Ensaio**: Conforme Norma ASTM E 384/2011 (E1)
- Ensaio realizado no laboratório a temperatura ambiente de 24°C, através do Microdurômetro Pantec – DUR 026, com certificado de calibração 22.286/2017 em 10/08/2017.

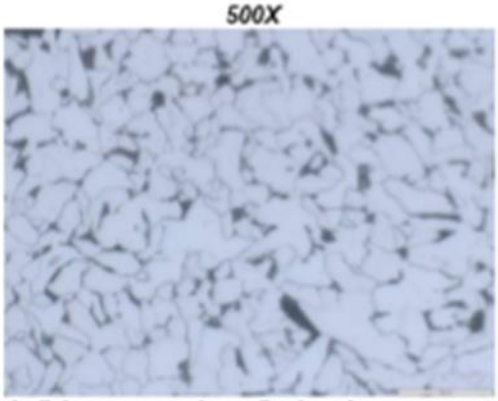
Exame Micrográfico

4.3.1 Posição 01

100X



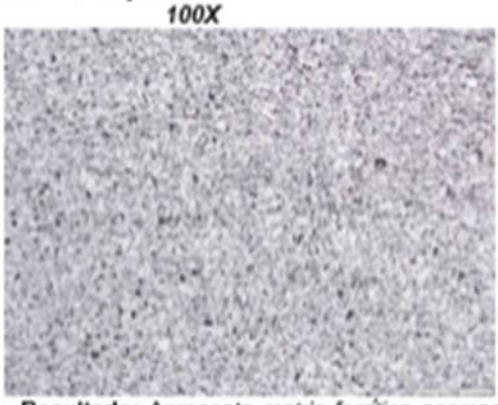
500X



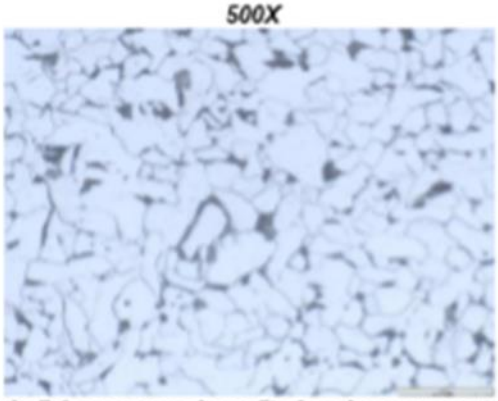
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de linhas suaves de perlita lamelar e em contornos dos grãos ferríticos, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3.2 Posição 02

100X



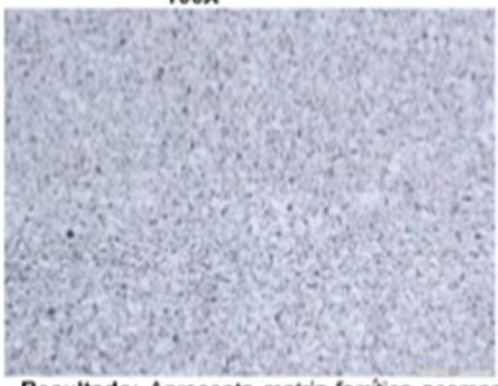
500X



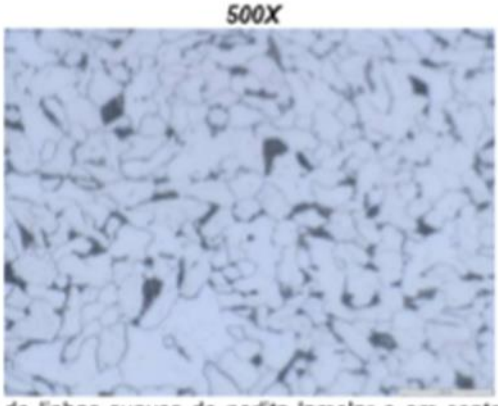
- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de linhas suaves de perlita lamelar e em contornos dos grãos ferríticos, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

4.3.3 Posição 03

100X



500X



- **Resultado**: Apresenta matriz ferrítica acompanhada de linhas suaves de perlita lamelar e em contornos dos grãos ferríticos, mais partículas globulares de carbonetos no interior da ferrita.
- Tamanho de grão apresenta grãos ferríticos de tamanho Nº 7-8.

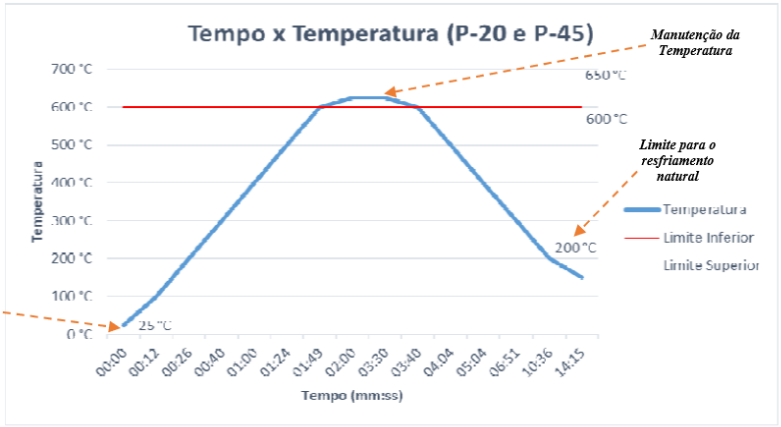
4.3.4 Informações pertinentes aos ensaios

- **Preparação do CP**: Conforme Norma ASTM E 3/2011
- **Método de Ensaio - Micrografia**: Conforme Norma ASTM E 7/2009
- **Método de Ensaio - Tamanho de Grão**: Conforme Norma ASTM E 112/2013
- **Ataque**: Nital 2% **Aumentos**: 100 e 500 Vezes **Secção**: Transversal
- Ensaio realizado no microscópio Olympus GX 51 - MOM 002 – Certificado: 22.041/2017 em 28/08/2017.

4.4 - CONTROLE DO PROCESSO

Controles específicos foram desenvolvidos para que o processo proporcione um resultado sempre dentro da técnica esperada. O processo consiste em proporcionar um aquecimento gradativo para uma temperatura entre 600º C a 650º C e um resfriamento natural (sem aceleração forçada) até uma temperatura de 200º C, à partir desta temperatura podendo ser induzida sem alteração das propriedades do material.

Para o sucesso do tratamento, controles processuais e automações foram desenvolvidos, apresentamos abaixo uma representação do ciclo de tratamento desenvolvido pela REBOGÁS, para garantir que todas as peças sejam controladas em tempo suficiente de alivio de tensão, com permanência de 90 segundos para que todo o material tenha um aquecimento homogêneo.



Os registros deverão ser realizados de hora em hora enquanto a máquina estiver em operação, serão feitos no RQ 19 – Inspeção de Temperatura no Tratamento Térmico, o operador deverá por amostragem a cada hora inserir no registro a temperatura máxima do recipiente tratado, após ser medida.

Fig.5

5 – CONCLUSÕES

Para facilitar o entendimento dos ensaios montamos um quadro resumido com os resultados, segue abaixo:

1 – Ensaio de Tração

CONDIÇÃO	Calota P-20			Calota P-45			Calota P-190		
	L.R (MPa)	L.E (Mpa)	Lo (%)	L.R (MPa)	L.E (Mpa)	Lo (%)	L.R (MPa)	L.E (Mpa)	Lo (%)
S/ Trat. Térmico	520	495	18%	379	319	25%	468	406	22%
Trat. Térm. por indução	452	383	19%	419	329	25%	428	353	26%
Trat. Térm. Convencional	418	247	20%	533	409	17%	524	452	21%

L.R = Limite de Resistência a Tração (MPa).
L.E = Limite de Escoamento (MPa).
Lo = Alongamento (%)

2 – Ensaio de Dureza HV10

CONDIÇÃO	Calota P-20			Calota P-45			Calota P-190		
	Média 1	Média 2	Média 3	Média 1	Média 2	Média 3	Média 1	Média 2	Média 3
S/ Trat. Térmico	155	151	152	133	122	115	164	139	139
Trat. Térm. Convencional	98	121	117	185	164	138	177	163	151
Trat. Térm. por indução	148	146	145	149	128	118	128	123	121

3- Tamanho dos grãos

Produto	Sem TT			TT Convencional			TT Indução		
	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.1	Pos.2	Pos.3
P-20	8	8	8	6 a 8	7 a 8	8	7 a 8	7 a 8	7 a 8
P-45	7 a 8	7 a 8	7 a 8	8	8	8	7 a 8	7 a 8	7 a 8
P-190	8	8	8	8	8	8	7 a 8	7 a 8	7 a 8

Por todas as análises realizadas, podemos assegurar que:

A Indução Térmica permite de forma controlada elevar a TEMPERATURA do material entre 600º C a 650º C determinada na NBR-8460 para alívio de tensão e manter pelo TEMPO necessário até atingir a homogeneização de aquecimento na área a ser aliviada a tensão residual.

O alívio de tensão, atendeu os requisitos quanto a redução da dureza, manter os limites de escoamento (LE) e resistência mecânica (LR), bem como alongamento (A) apresentou resultado dentro do mínimo da norma NBR-7460 (18% mínimo).

Durante o ensaio metalográfico das amostras, pode-se constatar que houve redução dos tamanhos dos grãos, qualidade equivalente na delineação dos grãos austeníticos, bem como um rearranjo no sentido e tamanho dos grãos.

Com estes resultados e evidências, deve-se solicitar que na revisão da norma NBR 8460, a inclusão da alternativa de tratamento térmico para alívio de tensões por indução elétrica de calotas, com os respectivos parâmetros de controle do processo que assegurem a sua realização dentro de uma repetibilidade (eficiência) de resultado nas peças tratadas, pois atualmente os controles e registros são evidenciados pelos lotes que passam pelo forno e os seus respectivos gráficos de temperatura.

6 – CONTATOS:

REBOGÁS REQUALIFICADORA

FELIPE COIMBRA ALOI ANDRÉ – felipe.andre@rebogas.com.br

RAPHAEL COIMBRA ALOI ANDRÉ - raphael.andre@rebogas.com.br

NELSON ALVES ANDRÉ – rebogas@rebogas.com.br

RIGETEC INSPEÇÃO E SOLUÇÕES TECNICAS

EDUARDO SANTOS - atendimento@rigetec.com.br

GABRIEL MATOS - atendimento@rigetec.com.br

CIA ULTRAGAZ S.A.

HENRIQUE DONAIRE SERTÓRIO - henrique.sertorio@ultragaz.com.br
REGINALDO JOEL SOARES DA CUNHA - reginaldo.cunha@ultragaz.com.br
MARCOS SIQUEIRA - ugdesenv@ultragaz.com.br

CIA LIQUIGAZ S.A.

NILTON ANTONIO DIAS – ndias@liquigas.com.br
PAULO DE MARTINS – pmartin@liquigaz.com.br

NACIONAL GAS

PAULA MARQUES - paula.marques@nacionalgas.com.br

SUPERGASBRAS

ANDRÉ MONTEIRO - almonteiro@supergasbras.com.br