

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Eimar Antônio de Oliveira Filho

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE SOLDAGEM TIG EM PROJETO DE SETOR
ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL

Belo Horizonte

2024

Eimar Antônio de Oliveira Filho

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE SOLDAGEM TIG EM PROJETO DE SETOR
ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Especialização em Soldagem do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial para obtenção do título de
engenheiro especialista em soldagem.

Orientador: Prof. Paulo José Modenesi

Belo Horizonte

2024

O48e	Oliveira Filho, Eimar Antônio de. Estudo da aplicação de soldagem TIG em projeto de setor alimentício industrial [recurso eletrônico] / Eimar Antônio de Oliveira Filho. – 2024. 1 recurso online (78 f. : il., color.) : pdf. Orientador: Paulo José Modenesi. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Especialista em Soldagem. Anexos: f. 67-78. Bibliografia: f. 64-66. 1. Soldagem. 2. Alimentos – Indústria. 3. Tanques de armazenamento. I. Modenesi, Paulo José. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título. CDU: 621.791
------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE SOLDAGEM

UFMG

ATA DA DEFESA DA MONOGRAFIA DO ALUNO EIMAR ANTONIO DE OLIVEIRA FILHO

Realizou-se, no dia 09 de dezembro de 2024, às 14:00 horas, Presencial - LRSS/UFMG, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de monografia, intitulada *Estudo da aplicação de soldagem TIG em projeto de setor alimentício industrial.*, apresentada por EIMAR ANTONIO DE OLIVEIRA FILHO, número de registro 2022689083, graduado no curso de PROCESSOS GERENCIAIS, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em SOLDAGEM, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Paulo Jose Modenesi - Orientador (UFMG), Prof(a). Ariel Rodriguez Arias (UFMG), Prof(a). Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense (UFMG), Prof(a). Claudiney Último Dumont (UFMG).

A Comissão considerou a monografia:

☒ Aprovada *NOTA: 65 (Sessenta e cinco)*

☐ Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 09 de dezembro de 2024.

Paulo Jose Modenesi
Prof(a). Paulo Jose Modenesi (Doutor)

Ariel Rodriguez Arias
Prof(a). Ariel Rodriguez Arias (Doutor)

Alexandre Queiroz Bracarense
Prof(a). Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense (Doutor)

Claudiney Último Dumont
Prof(a). Claudiney Último Dumont (Especialista)

Dedico esse trabalho ao meu querido papai Eimar, que me deu a oportunidade de, aos 12 anos de idade, conhecer o mundo da solda.

Aos meus filhos Augusto e Arthur, minhas fontes de inspiração, que me auxiliam a encontrar forças para vencer os obstáculos que surgem em minha vida.

À minha querida mamãe Maria de Lourdes, que sempre me apoiou sem medir esforços.

Aos meus irmãos, que sempre me apoiaram de forma unânime.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor Deus, primeiramente, pelo sopro da vida e pela oportunidade de frequentar o Curso de Especialização em Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A todos os professores da UFMG que sempre se dedicaram, com firmeza e resiliência, ao compromisso com o aprendizado, estendendo a gratidão a todos do Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação (LRSS) que apoiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus queridos e estimados colegas de turma José Pracidio de Andrade, Carlos Nazareth, Rodrigo Soares e Ricardo Cordeiro, pelo companheirismo e afinidades demonstrados nessa caminhada.

Ao Senhor Ewerton Augusto de Sousa Nogueira, pela dedicação.

À Selza Maria Dias Prado, minha primeira professora, que me encantou com as primeiras letras e me ensinou a amar o mundo do conhecimento.

RESUMO

O Brasil lidera mundialmente a produção e o consumo de cachaça, com uma capacidade instalada de 1,2 bilhões de litros por cerca de 40 mil produtores. O setor gera mais de 600 mil empregos e é crucial para a economia, com a produção concentrada em Estados como São Paulo e Minas Gerais. Este trabalho visa esclarecer e destacar a importância da soldagem TIG na construção de tanques de armazenamento, por facilitar a higiene e prevenir a formação de biofilmes em equipamentos utilizados no setor alimentício. A aplicação de corretas técnicas e parâmetros para o desenvolvimento do projeto permitiu a avaliação da capacidade em atender às necessidades do cliente e do mercado, bem como às especificações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). No desenvolvimento do projeto, foram avaliadas, também, as necessidades mecânicas e realizado estudo metalográfico do material utilizado, para melhor determinação das condições ideais de aplicação da soldagem.

Palavras-chave: soldagem; TIG (Tungsten Inert Gas); indústria alimentícia; projeto.

ABSTRACT

Brazil is the world's top producer and consumer of cachaça, with an installed capacity of 1,2 billion liters which comes from more than 40,000 producers. This sector provides around 600,000 job opportunities and it is crucial for the Brazilian economy, and such production is concentrated especially in the States of São Paulo and Minas Gerais. This piece of work aims to point out and make it clear the importance of TIG welding in the construction of storage tanks, which ensures hygiene and prevents the formation of biofilms in some of the equipment used in the food industry. The application of the correct techniques and parameters for the development of the project granted the evaluation of the capacity to meet the market and clients needs, as well as the specifications of ANVISA (Brazilian Health Regulatory Agency). During the development of the project, the mechanical needs were also evaluated and a metallographic study of the material applied was carried out to best determine the ideal conditions in the use of the welding.

KEYWORDS: Welding: TIG (Tungsten Inert Gas); food industry: project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo da estrutura cristalina cúbica de face centrada.....	18
Figura 2 – Ilustração do processo de soldagem TIG.....	23
Figura 3 – Ilustração do processo de soldagem MIG.....	23
Figura 4 - Tipos de solda.	25
Figura 5 - Diagrama esquemático de uma forma de onda de corrente-tempo de pulso padrão.	27
Figura 6 - Resultado de diferentes processos de soldagem em aço AISI 304L.....	27
Figura 7 - Desenho do tanque de armazenamento de líquido.	32
Figura 8 - Desenho das dimensões do tanque produzido em modelo 2D.	33
Figura 9 - Área de interesse de cálculo.	36
Figura 10 - Componente de forças sobre o fundo do tanque.	36
Figura 11 - Momento fletor devido a cargas no fundo de tanque.	37
Figura 12 - Esforços de tração e compressão devido a momento fletor no fundo do tanque de armazenamento.	37
Figura 13 - Junta T com a chapa de topo carregada axialmente.	38
Figura 14 - Amostras I e II encaminhadas para análise química e metalográfica..	41
Figura 15 - Preparação para ensaio de tração a) Dimensões de corpo de prova b) Amostras para ensaio conforme fimensão referência.	42
Figura 16 - Resultados obtidos em ensaio de tração a) Corpo de prova b) Gráfico força aplicada (Kgf) x Deformação específica (mm/mm).	43
Figura 17 - Chapas calandradas após higienização.....	44
Figura 18 - Soldagem de topo das laterais do tanque realizada na posição ascendente	45
Figura 19 – Processo de acabamento das juntas externas do tanque de armazenamento.....	45
Figura 20 – Processo de avalização de vazamentos no tanque por meio de líquido penetrante.	46
Figura 21 - Avaliação da qualidade da solda por meio de inspeção visual.....	47
Figura 22 – Resultado final do projeto.....	47
Figura 23 – Corpos de Prova a) Cordão de soldagem usando o eletrodo 308L b) Cordão de solda utilizando o arame 308L de 0,8mm de diâmetro no processo MIG c) Cordão de solda autogena no processo TIG.....	48

Figura 24 - a) Componentes da tocha b) Tocha montada.....	50
Figura 25 - Chapa amostral para teste de parâmetros de soldagem. Chapa de aço: 125x100x2.5mm, sendo a - preparação de amostra; b - chapas soldadas AISI 304.	51
Figura 26 - Processo de preparação de amostras.	51
Figura 27 - Corpo de prova utilizado para obtenção de parâmetros de soldagem.....	53
Figura 28 - Parâmetros de soldagem	53
Figura 29 - Oscilograma do aparelho de solda a) Voltagem (V) b) Corrente (A).....	54
Figura 30 - Solda na lateral do tanque (detalhe).....	55
Figura 31 - Solda entre a lateral e o fundo do tanque (detalhe)	55
Figura 32 - Vistas de corte de chapas com solda TIG pulsada a) Chapas soldadas com junta de topo b) Chapas soldadas com penetração total em junta de canto	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química especificada (% massa) AISI 304 e AISI 304L.	17
Tabela 2 - Padrões físico-químicos da cachaça.	28
Tabela 3 - Limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes metálicos em bebidas alcoólicas fermentadas e fermento-destiladas.	30
Tabela 4 - Relação espessura de metal base por espessura de filete de solda.	39
Tabela 5 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 6 - Comparação das especificações técnicas dos aços inoxidáveis AISI 304L e 304 conforme dados obtidos das amostras enviadas para análise	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASM	American Society for Metals
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCC	Cúbica de corpo centrado
CETEF	Centro de Ensino Técnico Fahrenheit
CFC	Cúbica de Faces Centradas
DTAs	Doenças transmitidas por alimentos
GMAW	Gas Metal Arc Welding
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
HB	Hardness Brinell
IBRAC	Instituto Brasileiro da Cachaça
IN	Instrução Normativa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAMAT	Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais
LMT	Limites máximos tolerados
LRSS	Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MIG	Metal Inert Gas
MPa	Megapascal
PPS	Pulso por segundo
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SAE	Society of Automotive Engineers
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
TIG	Tungsten Inert Gas
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNF	Unified National Fine Thread
ZTA	Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2 DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1 Critérios e necessidades do projeto	14
2.2 Características e propriedades dos aços inoxidáveis.....	16
2.3 Composição e especificações técnicas do aço AISI 304L.....	17
2.4 Características e especificações do aço AISI 304	19
2.5 Análise comparativa entre os aços AISI 304 e AISI 304L.....	20
2.6 Características da soldagem.....	21
2.7 Especificações técnicas do líquido armazenado	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Projeto dimensional do tanque.....	31
3.2 Cálculo de esforços nos pontos de solda.....	33
3.3 Análise química e metalográfica dos aços AISI 304L e AISI 304	40
3.4 Ensaio de tração de corpo de prova	42
3.5 Processo de montagem do tanque	43
3.5.1 Processo de soldagem.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5. CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS	62
ANEXO 01	65
ANEXO 02	71

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e do Instituto Brasileiro da Cachaça (IBRAC), o Brasil é o maior produtor e consumidor de cachaça do mundo, com valorização crescente no mercado interno. O setor possui uma capacidade instalada de 1,2 bilhões de litros, sendo predominantemente composto por produtores de micro e pequeno porte, totalizando cerca de 40 mil produtores e quatro mil marcas. Essa indústria é um importante pilar econômico, gerando mais de 600 mil empregos diretos e indiretos, com produção concentrada principalmente em São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e Paraíba, e consumo destacado em São Paulo, Pernambuco, Rio de Janeiro, Ceará, Bahia e Minas Gerais.

Apesar da liderança da cerveja no mercado geral de bebidas alcoólicas, a cachaça ocupa a segunda posição entre as mais consumidas no Brasil e é a bebida destilada mais consumida em volume, representando mais de 81% do total em 2011, situação retratada pela Euromonitor International conforme publicado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). SEBRAE (2014).

A produção de cachaça no Brasil está sujeita a um conjunto abrangente de regulamentações determinadas para garantir a segurança e a qualidade do produto. A Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022 e a Instrução Normativa (IN) ANVISA nº 160, de 1º de julho de 2022 são as duas principais normas que regulamentam a produção de cachaça no Brasil. A Portaria MAPA nº 539 estabelece os padrões de identidade e qualidade para a aguardente de cana e a cachaça, determinando requisitos presentes no produto, como a graduação alcoólica, teor de cobre e limites para álcoois superiores, garantindo a autenticidade e a qualidade do produto. A Instrução Normativa ANVISA nº 160 complementa essas regulamentações ao definir os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes nos alimentos, incluindo a cachaça, assegurando que os produtos estejam livres de níveis nocivos de substâncias como metais pesados e microtoxinas, e garantindo a segurança para o consumo. Essas normas são fundamentais para a padronização e a segurança da cachaça tanto no mercado interno quanto para exportação. O cumprimento dessas regulamentações é fundamental para garantir a conformidade com as normas sanitárias e de qualidade.

A salmonelose é uma infecção causada por bactérias do gênero *Salmonella*, frequentemente transmitida por alimentos contaminados. Uma das principais preocupações na indústria alimentícia e de saúde é a formação de biofilmes, que são comunidades microbianas aderidas a superfícies e envoltas por uma matriz de substâncias extracelulares. Esses biofilmes

podem servir como reservatórios para patógenos, incluindo *Salmonella*, e são notoriamente difíceis de erradicar. Biofilmes se formam em várias superfícies, como equipamentos industriais, utensílios de cozinha e tubulações, criando um ambiente onde as bactérias podem prosperar e resistir a desinfetantes e métodos de limpeza. A presença de *Salmonella* em biofilmes pode ser um grande desafio para garantir a segurança alimentar, pois a bactéria pode persistir em condições adversas e contaminar produtos alimentícios processados ou manipulados (Carvalho-Netto, Rosa e Camargo, 2008).

O desenvolvimento deste trabalho relaciona-se à atividade realizada no campo de soldagem, em virtude da necessidade de um cliente que forneceu o material para a execução de um projeto de montagem de um tanque com capacidade aproximada de 1.600 litros para armazenamento de aguardente, que será instalado na cidade de Entre Rios, situada no Sul de Minas Gerais. Pretendeu-se, com a execução do projeto, analisar o processo de soldagem de um tanque de destilaria de pequeno porte, com aplicação de técnica apropriada para evitar riscos de contaminação de alimentos associados aos componentes do aço pela interferência da soldagem na estrutura química do metal, bem como o uso de estratégias que garantam superfícies mais uniformes e de melhor qualidade final, de modo a dificultar a formação de biofilmes.

Diversos estudos buscaram avaliar diferentes condições de projeto a fim de melhorar a relação entre produto e final e aplicação de mercado, nesse caso voltado à fácil manutenção higiênica e ao baixo risco de desenvolvimento de biofilmes e de proliferação de bactérias.

O trabalho desenvolvido por Birania *et al.* (2022), apresentou que a aplicação de diferentes técnicas de soldagem representa ganho significativo para projeto voltado a aplicação na indústria alimentícia, trabalho esse que foca a discussão, o desenvolvimento teórico de projeto e as vantagens do uso da soldagem Tungsten Inert Gas (TIG) com técnica pulsada para a produção de tanques de armazenagem de alimentos, focado nas características mecânicas do cordão de solda, que atendam as especificações técnicas brasileiras da ANVISA.

Espera-se que essas especificações sejam adotadas nos projetos de tanques da destilaria, a fim de se garantir a qualidade e a segurança no armazenamento do produto a ser comercializado.

2 DESENVOLVIMENTO

A seguir será abordado sobre a importância do presente trabalho na indústria de processamento de alimentos, considerando a necessidade de seguir regulamentações e normas técnicas no processo de fabricação de tanques de destilaria, a fim de garantir-lhes a integridade, além da qualidade e segurança da bebida produzida.

Serão tratados temas acerca dos tipos de aço inoxidável utilizados no mercado, das características e propriedades de cada um, com destaque para o American Iron and Steel Institute (AISI) 304L e o AISI 304, tipos fornecidos pelo cliente para a fabricação do tanque, e realizada a comparação entre características e especificação de ambos.

Por fim, serão abordadas as características dos diferentes processos de soldagem e dos tipos de juntas, além das especificações técnicas da cachaça, produto que será armazenado no tanque, cuja construção é objeto deste trabalho.

2.1 Critérios e necessidades do projeto

Os contaminantes de soldas em tanques de alimentação representam preocupação significativa na indústria de processamento de alimentos, devido aos riscos de contaminação química e às suas implicações para a saúde pública. A presença de substâncias tóxicas decorrentes da soldagem de tanques, como metais ou compostos químicos, pode causar sérios problemas de saúde caso tais substâncias forem ingeridas, juntamente com os alimentos processados nesses tanques.

Doenças associadas à contaminação por metais pesados, como chumbo e cádmio, incluindo o envenenamento, podem afetar o sistema nervoso central, causar danos aos órgãos internos e até mesmo levar à morte em casos graves. A exposição prolongada a esses metais, através da ingestão de alimentos contaminados, pode resultar em problemas de saúde específicos, incluindo distúrbios neurológicos, danos renais e hepáticos, e aumentar o risco de câncer (Santos, 2014).

Além disso, a presença de contaminantes químicos nos alimentos, como cloretos, fluoretos ou hidrocarbonetos, provenientes do processo de produção, pode causar intoxicação aguda ou crônica, irritações gastrointestinais, danos ao sistema respiratório e, em casos extremos, levar a distúrbios metabólicos ou até mesmo à morte.

A contaminação microbiológica também representa ameaça à saúde pública, uma vez que bactérias patogênicas, fungos ou outros microrganismos presentes em soldas contaminadas

podem se multiplicar no ambiente favorável dos tanques, resultando em doenças transmitidas por alimentos (DTAs). Essas doenças variam em gravidade, desde gastroenterites leves até infecções mais graves, como salmonelose.

Portanto, é fundamental garantir que os tanques sejam fabricados e soldados de acordo com os mais altos padrões de higiene e segurança alimentar, a fim de prevenir a contaminação química, microbiológica e garantir a qualidade e a segurança dos produtos alimentícios. Uma dessas regulamentações é a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 216 da ANVISA, que estabelece normas técnicas para serviços de alimentação, com o objetivo de garantir a qualidade e a segurança dos alimentos oferecidos à população.

Com foco em atender os altos níveis de higiene necessários para o setor alimentício, são necessários cuidados nas diversas etapas do projeto de equipamentos mecânicos para armazenamento de alimentos, no caso deste trabalho, a aguardente.

Especificações técnicas para tanques de armazenamento de cachaça são extremamente importantes para garantir a qualidade e segurança do produto. Em sua maioria esses tanques são construídos do material aço inoxidável, devido a sua resistência à corrosão, durabilidade e facilidade em atender as normas de higiene sanitária. Suas dimensões adaptam-se à escala de produção e ao volume de cachaça a ser armazenado. O *design* dos tanques pode variar entre cilíndrico vertical, horizontal ou cônico, enquanto o acabamento interno é polido para garantir uma superfície lisa, facilitando a limpeza e prevenindo a formação de incrustações. Sistemas de produção e armazenamento devem ser confiáveis a fim de garantir a integridade do produto e prevenir vazamentos e contaminação.

Na indústria alimentícia, uma variedade de aços inoxidáveis é empregada devido à resistência à corrosão e facilidade de limpeza (Alonso, Lemos e Nascimento, 2023).

Conforme apresentado por Patel AD (2015), dentre os aços inoxidáveis, os principais tipos usados estão o American Iron and Steel Institute (AISI) 304, conhecido por sua resistência em ambientes moderadamente corrosivos, e o AISI 316, amplamente utilizado em equipamentos expostos a ambientes agressivos, devido à sua excelente resistência à corrosão em presença de ácidos e cloretos. Além deles, há também suas variantes com baixo teor de carbono, como o AISI 304L e o AISI 316L. Eles oferecem melhor soldabilidade e são comuns na fabricação de tanques de armazenamento e tubulações. Sugere-se que existem seis razões principais para a disseminação generalizada da utilização do aço inoxidável na indústria alimentícia e de laticínios: resistência à corrosão; durabilidade; facilidade de fabricação; resistência ao calor; manutenção do sabor e cor; proteção; e capacidade de limpeza (Patel AD, 2015). Esses recipientes devem atender às rigorosas regulamentações sanitárias da indústria

de alimentos e bebidas, garantindo que sejam seguros para o armazenamento e a manipulação de produtos alimentícios, de modo a minimizar os riscos de danos à saúde do consumidor.

2.2 Características e propriedades dos aços inoxidáveis

O aço inoxidável é uma liga metálica composta principalmente por ferro e cromo, juntamente com outros elementos de liga, como níquel, molibdênio e manganês. O cromo é o elemento essencial que confere ao aço inoxidável a resistência à corrosão, formando uma camada passiva de óxido de cromo na superfície do material, que o protege contra a oxidação e a corrosão. O teor de cromo geralmente varia entre 10% e 30%, dependendo do tipo específico de aço inoxidável e de propriedades desejadas. Além do cromo, outros elementos de liga são adicionados para ajustar as propriedades mecânicas e químicas do aço inoxidável, como resistência mecânica, resistência à corrosão, soldabilidade e ductilidade (Modenesi, 1992).

Os aços inoxidáveis são categorizados, principalmente, conforme sua microestrutura e composição química em austeníticos, ferríticos, martensíticos e duplex. Desses, os mais comuns são os aços inoxidáveis austeníticos, reconhecidos por não serem magnéticos e apresentarem alta resistência à corrosão. Contêm cromo entre 16% e 26% e níquel acima de 8%, e podem ser exemplificados pelos aços 304 e 316. Já os aços inoxidáveis ferríticos apresentam magnetismo e menor resistência à corrosão em comparação aos austeníticos, com teor elevado de cromo, acima de 12%, e baixo teor de níquel, como o aço 430. Os aços inoxidáveis martensíticos apresentam propriedades magnéticas, maior dureza e resistência mecânica quando comparados aos aços austeníticos e ferríticos, frequentemente beneficiados por tratamento térmico, com maior teor de carbono, acima de 0,1%, e cromo, geralmente acima de 12%, como no caso dos aços 410 e 420. Por fim, os aços inoxidáveis duplex têm quantidades aproximadamente iguais de austenita e ferrita e apresentam alta resistência à corrosão e mecânica. Essas classificações são fundamentais para atender requisitos específicos de aplicações industriais, levando em conta suas propriedades, como resistência à corrosão, mecânica e soldabilidade (Modenesi, 1992).

A seleção do tipo de aço inoxidável depende da sua finalidade técnica. Nesse sentido, uma das variáveis analisadas no presente trabalho é a faixa de temperatura em que o tanque de armazenamento de cachaça será utilizado, que varia entre 9,8 e 32,9°C, média de temperaturas do município de Entre Rios, Minas Gerais. Isso é importante porque o emprego do aço em altas e baixas temperaturas pode resultar em diferentes comportamentos e propriedades devido às variações nas condições ambientais.

Destaca-se que alguns tipos de aços inoxidáveis são projetados especificamente para operar em temperaturas elevadas, contendo elementos de liga adicionais, como molibdênio e nióbio, que aumentam sua estabilidade estrutural e resistência ao calor. Em contrapartida, quando utilizado em baixas temperaturas, o aço inoxidável pode se tornar mais frágil devido à transição dúctil-frágil, especialmente em temperaturas abaixo de zero. Isso pode levar à sua fragilização, com redução da tenacidade, causando trincas e falhas. Por isso, em aplicações em baixas temperaturas, são utilizados aços inoxidáveis com maior resistência à fragilização, preferencialmente os austeníticos sem ferrita delta em sua composição, em detrimento dos martensíticos e ferríticos.

O aço inoxidável apresenta algumas das características mais adequadas dos materiais de construção utilizados em equipamentos alimentares. É o material mais amplamente utilizado na indústria em contato direto com alimentos. O aço inoxidável AISI 302 é usado para melhorar a aparência do *design* externo de equipamentos para alimentos, mas não em equipamentos em contato com alimentos ou produtos com agentes corrosivos. Em comparação aos demais tipos, o aço inoxidável AISI 304 é o mais usado para o propósito de proporcionar melhor resistência, mantendo as qualidades propícias à indústria alimentícia (Patel AD, 2015).

2.3 Composição e especificações técnicas do aço AISI 304L

O AISI 304L é um aço inoxidável austenítico, com estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC), conforme ilustrado na Figura 1, e reduzido teor de carbono.

O aço inoxidável austenítico é utilizado preferencialmente para aplicações em alimentos e laticínios, porque possui característica mais estável e resistente à corrosão do que outros aços inoxidáveis (Patel AD, 2015). A composição química confere ao AISI 304L propriedades como alta resistência à corrosão e boa conformabilidade. A composição química típica do AISI 304L inclui carbono, cromo, níquel, manganês, fósforo, enxofre, silício e nitrogênio. Os valores percentuais de cada um desses elementos estão descritos na *Tabela 1*.

Tabela 1 - Composição química especificada (% massa) AISI 304 e AISI 304L.

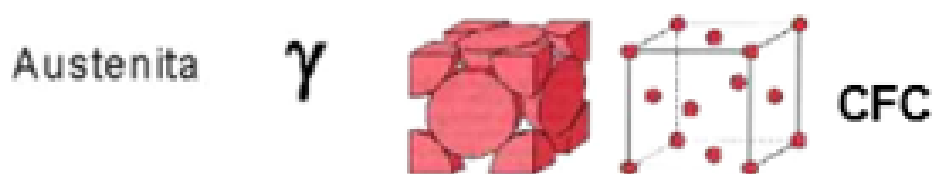
Elemento	AISI 304L (%)	AISI 304 (%)
Carbono (C)	≤ 0,030	≤ 0,08

Elemento	AISI 304L (%)	AISI 304 (%)
Cromo (Cr)	18,0-20,0	18,0-20,0
Níquel (Ni)	8,0-12,0	8,0-10,50
Manganês (Mn)	≤ 2,0	≤ 2,0
Fósforo (P)	≤ 0,0450	≤ 0,0450
Enxofre (S)	≤ 0,030	≤ 0,030
Silício (Si)	≤ 0,750	≤ 0,750
Nitrogênio (N)	≤ 0,100	≤ 0,10

Fonte: (Iran *et al.*, 2021)

A microestrutura do AISI 304L é predominantemente austenítica devido ao seu alto teor de níquel e cromo. A fase austenítica é estabilizada pela presença de níquel, que expande a faixa de temperatura de existência de austenita ferro. A austenita possui características não magnéticas, com alta ductilidade e resistência à corrosão. (Modenesi, 1992). A estrutura CFC (Figura 1) austenítica é estável desde temperaturas muito altas, após a solidificação do aço, passando pelas temperaturas de laminação ou forjamento (1000 a 1200 °C), até a temperatura de 912 °C, quando ocorre a transformação do ferro CFC para a estrutura cúbica de corpo centrado (CCC) — denominada ferrita ou fase α — estável até a temperatura ambiente.

Figura 1 - Modelo da estrutura cristalina cúbica de face centrada.



Fonte: (Diego Marques, 2022)

Pequenas quantidades de ferrita delta podem estar presentes na microestrutura do AISI 304L como uma fase dispersa, especialmente em condições de solidificação rápida ou em soldas. A ferrita delta tem uma estrutura CCC e pode melhorar a resistência ao trincamento a quente durante a soldagem. Em condições específicas de processamento, como exposição a altas temperaturas por períodos prolongados, podem formar-se carbonetos de cromo (Cr_{23}C_6) nas bordas de grão. No entanto, o AISI 304L, com seu baixo teor de carbono, é menos propenso à formação de carbonetos, minimizando a precipitação de carbonetos de cromo e a subsequente sensibilização da estrutura (Modenesi, 1992).

A passivação contribui para sua resistência à corrosão em ambientes oxidantes e em algumas soluções ácidas. A presença de cromo forma uma camada passiva de óxido de cromo na superfície que protege o material de corrosão. A estrutura austenítica proporciona alta ductilidade e tenacidade ao AISI 304L, tornando-o adequado para processos de conformação e usinagem, pois sua capacidade de deformar plasticamente ajuda a reduzir a formação de lascas e a melhorar o acabamento superficial, o que minimiza a possibilidade de formação de pontos de adesão de biofilmes. O baixo teor de carbono do AISI 304L reduz a tendência de formação de carbonetos de cromo nas zonas afetadas pelo calor durante a soldagem, diminuindo o risco de sensibilização e, conseqüentemente, de corrosão intergranular (Modenesi, 1992).

De acordo com Zhao *et al.* (2022), a microestrutura austenítica apresenta, predominantemente, grãos com dimensões superiores a 100 micrômetros (μm), que, em termos de classificação American Society for Testing and Materials (ASTM) corresponderia a um número baixo de grão (por exemplo, ASTM 1-4), o que indica a existência de grãos maiores. Com isso, podem surgir impactos negativos na resistência e na dureza do material.

2.4 Características e especificações do aço AISI 304

O AISI 304 é um dos aços inoxidáveis mais amplamente utilizados no mundo, devido a uma soma de fatores que incluem baixo custo, boas propriedades mecânicas e estabilidade diante de variações de temperatura. Ele também é pertencente à família dos aços inoxidáveis austeníticos e possui excelente resistência à corrosão, boa soldabilidade e alta ductilidade. Sua composição química é descrita na Tabela 1. Em sua forma recozida, o AISI 304 é não magnético, embora possa se tornar levemente magnético após trabalho a frio. Adicionalmente, para as aplicações industriais dos aços inoxidáveis AISI/Society of Automotive Engineers (SAE) 304, o método de soldagem é amplamente utilizado devido à sua simples montagem e/ou união em chapas, placas e/ou tubos confeccionados com esse material. É imperativo destacar que durante a soldagem são produzidas muitas descontinuidades, as quais atuam como gerador de tensão que pode levar a uma diminuição na vida útil da solda (Galvis e Hormaza, 2011).

Em propriedades mecânicas, o AISI 304 possui uma resistência à tração que varia de 515 a 750 Megapascal (MPa), limite de escoamento entre 205 e 310 MPa, alongamento mínimo de 40% e dureza de até 201 *Hardness Brinell* (HB). Essas propriedades fazem do AISI 304 um material versátil, adequado para uma vasta gama de aplicações. Além de sua aplicabilidade para fabricação de tanques, tubos e válvulas utilizados na indústria alimentícia e de bebidas, ele também é utilizado em equipamentos de cozinha, como painéis, pias, bancadas e na indústria

química para equipamentos de processamento e reatores. Ademais, é comum o seu uso na construção civil em fachadas, corrimãos e elementos arquitetônicos, bem como na indústria automotiva e aeroespacial em componentes estruturais e decorativos (American Society for Metals - ASM International, 2020).

Apesar de sua excelente resistência à corrosão, o AISI 304 não é adequado para uso em ambientes com alta concentração de cloretos, onde a corrosão por pite pode ocorrer. Além disso, a utilização contínua em temperaturas entre 425 e 860 °C pode resultar na precipitação de carbeto de cromo, comprometendo a resistência à corrosão. Contudo, o AISI 304 pode resistir a temperaturas de até 870°C em serviço contínuo e até 925°C em serviço intermitente. O AISI 304 apresenta excelente conformabilidade e pode ser facilmente trabalhado a frio para fabricar uma ampla variedade de formas. É adequado para operações de soldagem com métodos comuns, como por arco com eletrodo revestido Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) e Gas Metal Arc Welding (GMAW), todos produzindo juntas de alta qualidade mecânica (ASM International, 2020).

2.5 Análise comparativa entre os aços AISI 304 e AISI 304L

Os aços inoxidáveis AISI 304 e o 304L são aços austeníticos mais utilizados na indústria alimentícia devido às suas propriedades supracitadas. A principal diferença entre eles reside no teor de carbono e nas propriedades resultantes dessa variação. Enquanto o AISI 304 apresenta um teor de carbono de até 0,08%, o 304L tem um teor de carbono significativamente menor, de até 0,03%. No que se refere às demais especificações técnicas da composição química, os elementos cromo, níquel, manganês, fósforo, enxofre, silício e nitrogênio são similares em ambos.

Em termos de microestrutura, ambos são predominantemente austeníticos, estabilizados pelos altos teores de níquel e cromo. Quanto à formação de ferrita delta, o que possui maior tendência é o AISI 304, sobretudo em condições de solidificação rápida. Além disso, em condições específicas de processamento, como exposição a altas temperaturas, o AISI 304 pode formar carbonetos de cromo nos contornos de grão, enquanto o AISI 304L, devido ao seu baixo teor de carbono, minimiza a precipitação desses carbonetos, reduzindo a suscetibilidade à corrosão intergranular (ASM International; ASTM International, 2020).

Quanto às propriedades mecânicas, o AISI 304 possui maior resistência à tração, dureza *Brinell* e limite de escoamento do que o AISI 304L. Apesar disso, ambos apresentam alongamento mínimo de 40% (ASM International; ASTM International, 2020).

Em termos de aplicação, o AISI 304 é amplamente utilizado em situações em que a soldagem não é um fator crítico ou quando a corrosão intergranular não representa um grande problema. Exemplos incluem equipamentos de cozinha, componentes arquitetônicos e construções. Por outro lado, o AISI 304L é preferido em aplicações que requerem soldagem, como tanques de armazenamento, tubulações e equipamentos de processamento na indústria química e alimentícia, devido à sua resistência melhorada à corrosão intergranular (ASM International; ASTM International, 2020).

Diferentemente do AISI 304, o AISI 304L, com seu baixo teor de carbono, minimiza a precipitação de carbonetos, reduzindo o risco de corrosão intergranular após a soldagem. Essa característica faz do AISI 304L uma escolha ideal para situações em que a integridade do material pós-soldagem é essencial (ASM International; ASTM International, 2020).

Ambos os aços inoxidáveis oferecem uma combinação de resistência à corrosão, formabilidade e durabilidade, adequadas para uma ampla gama de aplicações. O AISI 304 é uma excelente escolha para usos gerais em que a soldagem não é crítica, enquanto o AISI 304L se destaca em aplicações em que a soldagem é necessária e a resistência à corrosão intergranular é crítica (ASTM International, 2020).

2.6 Características da soldagem

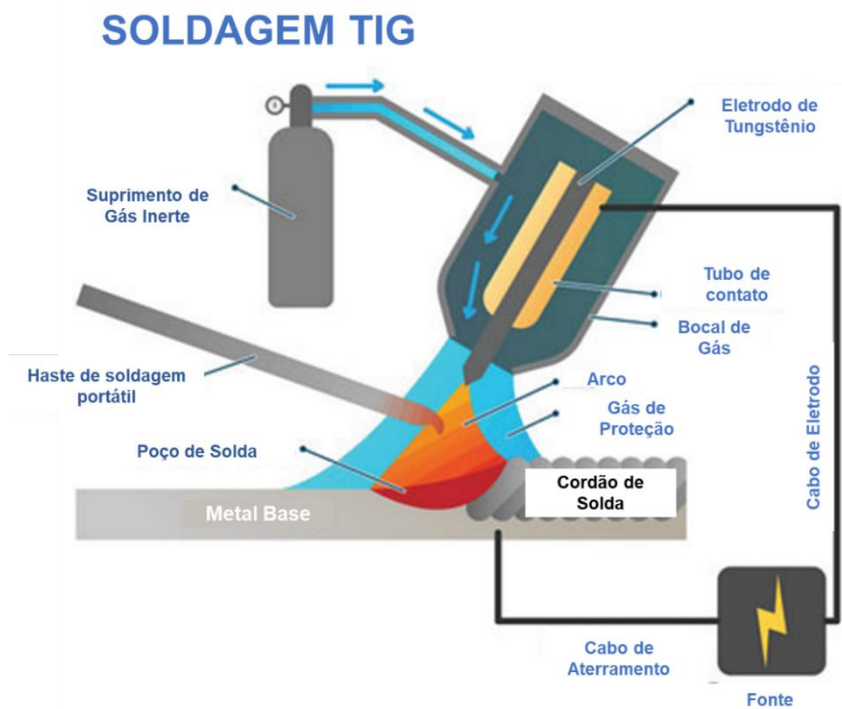
A soldagem de aços inoxidáveis é primordial na indústria alimentícia, garantindo a integridade estrutural, a durabilidade e a segurança dos equipamentos envolvidos no processamento de alimentos. A seleção do processo adequado é essencial para garantir a integridade das juntas e a segurança alimentar. Os processos de soldagem *Tungsten Inert Gas* (TIG) e *Metal Inert Gas* (MIG) são amplamente empregados na indústria alimentícia, cada um com características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações e requisitos técnicos (Birania *et al.*, 2022).

Na soldagem TIG (Figura 2), um arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e o material de base, enquanto na soldagem MIG (Figura 3), o arco é formado entre um arame consumido durante o processo e o material de base. Ambos os processos utilizam gases inertes, como o argônio ou o hélio, para proteger a poça de fusão contra a contaminação atmosférica. O processo TIG é o mais indicado para a soldagem de materiais de aço inoxidável, pelo fato de ter maior vantagem sobre a soldagem a arco de metal blindado e a soldagem a arco de metal a gás, pois dá a oportunidade de controlar o processo de

soldagem. Assim, soldas de qualidade e mais resistentes são sempre alcançadas usando esse método (Lawal *et al.*, 2023).

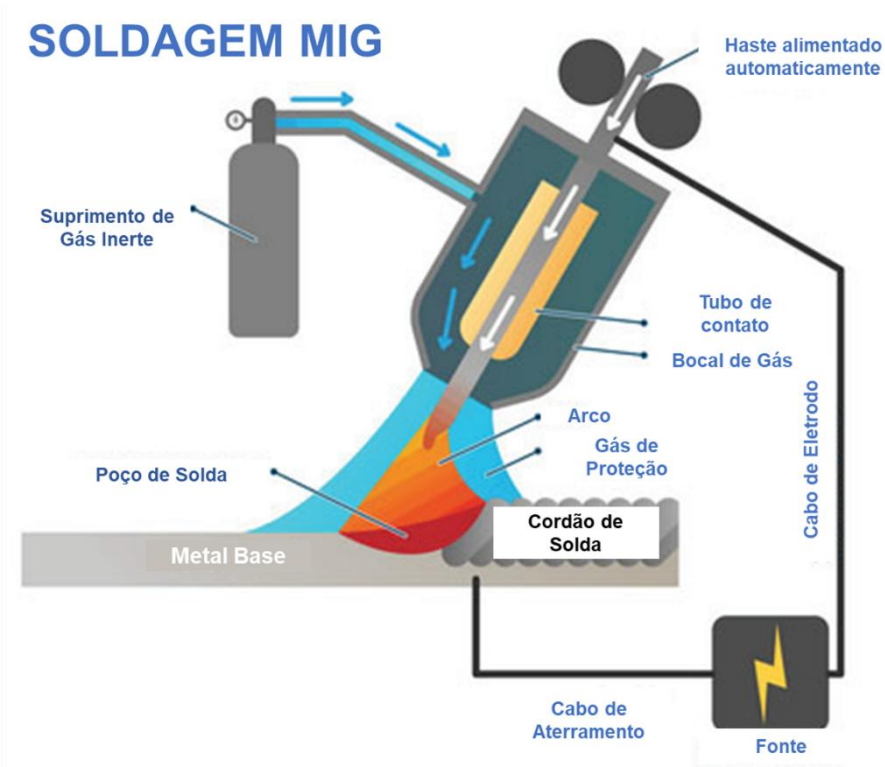
Por outro lado, a soldagem MIG é caracterizada por sua alta taxa de deposição de metal, tornando-a adequada para aplicações de alta produtividade. Ambos os processos são essenciais na fabricação e manutenção de equipamentos utilizados na indústria alimentícia, garantindo a integridade estrutural, higiene e conformidade com os padrões de segurança alimentar. Estudos desenvolvidos não comungam com a ideia de que soldas em uma nova condição são mais suscetíveis ao acúmulo bacteriano (fixação + superfície crescimento) ou ao maior aprisionamento do que o metal original. Em superfícies de testes que foram continuamente submetidas a fluxo de massa em meio aquoso, a acumulação devido à sedimentação foi considerada insignificante. Estudos na área sugerem que os alimentos padrões de rugosidade superficial da indústria para aço inoxidável pode ter pouca relevância para o acúmulo bacteriano de curto prazo nas superfícies (Tide *et al.*, 1999).

Figura 2 – Ilustração do processo de soldagem TIG.



Fonte: (Adaptado de Lawal *et al.*, 2023)

Figura 3 – Ilustrativo do processo de soldagem MIG.

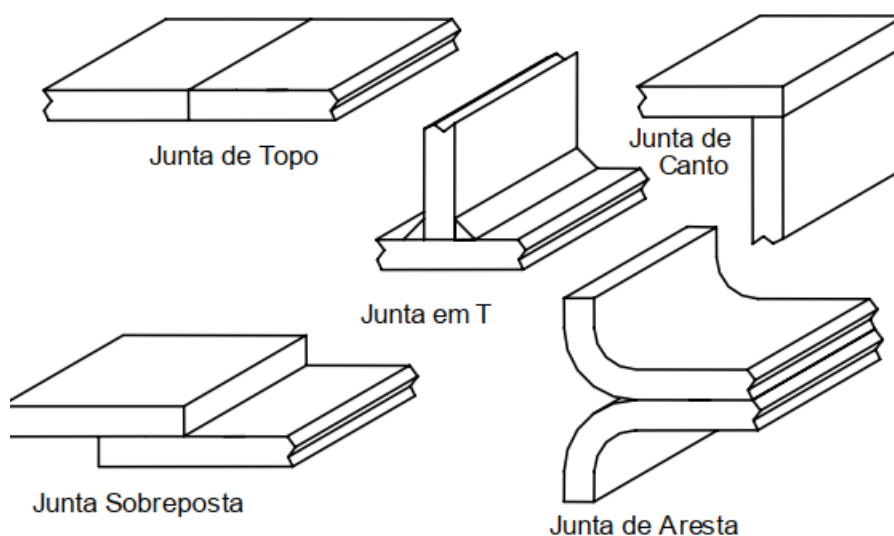


Fonte: (Lawal *et al.*, 2023)

A soldagem autógena é um método de união de metais no qual não se utiliza metal de adição no processo de soldagem. Em vez disso, as peças são fundidas diretamente entre si, utilizando apenas o calor gerado por uma chama ou outro meio de aquecimento controlado. Esse processo é especialmente útil em situações em que a integridade estrutural e a composição química precisam ser preservadas, como em reparos de precisão ou na fabricação de componentes sensíveis. Nesse sentido, a preparação adequada da superfície antes da soldagem é vital. Isso inclui a remoção de contaminantes como óleos, graxas e oxidações, que podem comprometer a qualidade da solda. O controle da entrada de calor durante o processo de soldagem é necessário para minimizar a formação de óxidos de cromo e manter a resistência adequada. Após a soldagem, a passivação é crucial para restaurar a camada passiva de óxido de cromo do aço inoxidável, responsável por sua resistência à corrosão. A passivação pode ser realizada por métodos químicos, utilizando soluções ácidas para remover contaminantes e promover a formação da camada passiva, ou métodos eletroquímicos, que aplicam correntes elétricas para acelerar este processo. Em seu estudo, Pinheiro *et al.* (2023) apresentou que, em geral, a soldagem de aços inoxidáveis por método autógeno reduziu a dureza e proporcionou resultados aceitáveis, sem trincas e descontinuidades, considerando o teste de flexão. Ademais, existem poucas referências na literatura para melhor julgar as condições de aplicação de soldas autógenas em equipamentos mecânicos voltados para a indústria alimentícia. Devido a isso, o foco do trabalho se estende em esclarecer as condições do projeto, voltada a esforços aos quais as soldas serão solicitadas.

Outra importante característica da soldagem é a determinação do tipo de junta que essa irá tomar, conforme apresentado pela Figura 4 (AWS, 2012):

Figura 4- Tipos de Solda.



Fonte: (Adaptado AWS, 2012)

Onde:

Junta de Topo – utilizada principalmente para unir as extremidades de chapas planas de mesma espessura ou de espessuras de valores aproximados. A principal vantagem deste tipo de junta é eliminar a excentricidade que apareceria numa junta sobreposta, por exemplo. Quando utilizada com solda de penetração total, as juntas de topo minimizam o tamanho da ligação e possuem melhor aparência. Sua principal desvantagem consiste no fato de que as bordas a serem conectadas necessitam de uma preparação prévia especial (normalmente estas bordas devem ser chanfradas) e devem ser cuidadosamente alinhadas antes da soldagem. Esse tipo de junta é recomendado para ser executado em fábrica, onde o processo de soldagem pode ser melhor controlado;

Junta “T” – tipo utilizado para fabricar seções, tais como perfis I ou H e perfis “T”, assim como para ligações de enrijecedores, consoles e demais peças que formam ângulos retos entre si. É especialmente útil na ligação de perfis compostos por tiras de chapas planas que podem ser unidas por soldas de filete ou soldas de entalhe;

Junta de Canto – utilizada principalmente para formar perfis caixão soldados quadrados ou retangulares, para uso em colunas e vigas que precisam resistir esforços torsionais consideráveis;

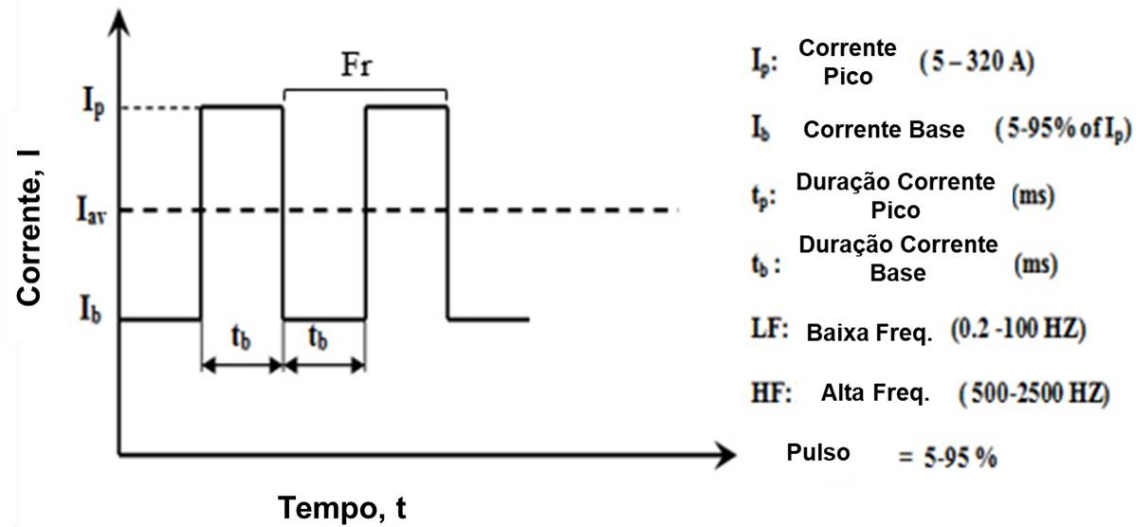
Junta Sobreposta – tipo mais comum de junta, possuindo duas grandes vantagens: facilidade de montagem, pois as peças podem ser levemente deslocadas para acomodar pequenos erros de fabricação, e facilidade de ligação, pois as peças a serem conectadas não necessitam de nenhuma preparação especial em suas bordas. Em juntas sobrepostas utiliza-se solda de filete o que as torna apropriadas tanto para ligações de fábrica quanto para ligações de campo. Outra vantagem desse tipo de junta é a facilidade em executar ligações de espessuras diferentes;

Junta de Borda – as juntas de borda não costumam ser estruturais, sendo utilizadas para manter duas ou mais placas alinhadas ou num determinado plano.

Diversos são os fatores que influenciam a escolha do processo de soldagem adequado à determinada situação: os elementos a unir e o tipo de junta, a posição da solda, a produção necessária, as propriedades mecânicas e a composição do material de base, e o grau de automatização necessário. No dimensionamento do cordão de solda necessário à fixação de uma junta, deve-se levar em consideração vários aspectos como: o nível de solicitação dos esforços, o processo de fixação, o grau de dificuldade da operação, a proporção geométrica entre cordão e componentes soldados, além do custo envolvido (Machado, 2011).

Para este trabalho, considerou-se outra importante característica da soldagem TIG: a soldagem pulsada. A soldagem TIG com arco pulsado é uma variante do processo TIG, que consiste na oscilação da corrente de soldadura entre dois níveis – a corrente de pico e a corrente de base (Figura 5).

Figura 5 - Diagrama esquemático de uma forma de onda de corrente-tempo de pulso padrão.



Fonte: (Adaptado Ugla, 2016)

De acordo com o estudo desenvolvido por Ugla (2016), conforme ilustrado pela Figura 6, tem-se que, para aço AISI 304L, após otimização de parâmetros aplicados em processo, a soldagem pulsada em alta frequência (500Hz), quando comparada com a soldagem TIG por corrente contínua e a soldagem pulsada de baixa frequência(5Hz), apresenta melhores resultados quanto à resistência mecânica e ao aspecto visual.

Figura 6 - Resultado de diferentes processos de soldagem em aço AISI 304L



Fonte: (Ugla, 2016)

Logo, a avaliação e seleção de parâmetros como a corrente, a velocidade de soldagem, o tipo de eletrodo ou gás de proteção devem ser realizados com precaução, de acordo com as características do material, bem como sua finalidade técnica. Métodos não destrutivos, como inspeção visual e ensaios por líquidos penetrantes, são comumente usados para identificar defeitos superficiais. Por outro lado, nos casos em que a integridade da solda é crítica, técnicas mais sofisticadas como radiografia e ultrassom podem ser necessárias.

2.7 Especificações técnicas do líquido armazenado

A Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022, define os requisitos de identidade e qualidade para a cachaça, incluindo as características físico-químicas que devem ser atendidas para sua comercialização no Brasil. Além de ter uma graduação alcoólica entre 38% e 48% em volume a 20°C, deve apresentar acidez volátil não superior a 130 mg/100 mL de álcool anidro. A concentração de ésteres totais deve ser inferior a 150 mg/100 mL de álcool anidro, enquanto o coeficiente de congêneres varia de 180 a 500 mg/100 mL de álcool anidro, influenciando suas características sensoriais. A presença de compostos fenólicos totais é requisitada apenas em cachaças envelhecidas, e a adição de edulcorantes é proibida para preservar sua integridade. Além disso, a cachaça deve ter um limite máximo de 30 mg/100 mL de álcool anidro para aldeídos totais (expressos como acetaldeído), até 5 mg/100 mL de álcool anidro para a soma de Furfural e Hidroximetilfurfural, e até 360 mg/100 mL de álcool anidro para a soma dos álcoois isobutílico, isoamílicos e n-propílico. Essas normativas estão sistematizadas na *Tabela 2* e visam garantir a qualidade, segurança e autenticidade da cachaça brasileira, preservando suas características únicas e tradicionais.

Tabela 2 - Padrões físico-químicos da cachaça.

Parâmetros	Limites
Graduação alcoólica (% v/v), a 20°C	38 - 48
Acidez volátil (mg/100 mL de álcool anidro)	Até 130
Ésteres totais (mg/100 mL de álcool anidro)	Até 150
Coeficiente de congêneres (mg/100 mL de álcool anidro)	180 - 500

Aldeídos totais (mg/100 mL de álcool anidro)	Até 30
Soma de Furfural e Hidroximetilfurfural (mg/100 mL de álcool anidro)	Até 5
Soma dos álcoois isobutílico, isoamílicos e n-propílico (mg/100 mL de álcool anidro)	Até 360
Compostos fenólicos totais (para bebida envelhecida)	Presente
Edulcorantes	Ausente

Fonte: (ANVISA, 2022)

Além disso, deve-se observar também os padrões microbiológicos, que são referentes às contaminações do produto por microrganismos. A norma específica que regulamenta padrões para bebidas destiladas, incluindo a cachaça é a IN nº 160 de 1º de julho de 2022 da ANVISA. Para a contagem total de bactérias aeróbias mesófilas, o valor máximo permitido deve ser inferior a 10^3 Unidade Formadora de Colônia (UFC) por mililitro, enquanto para coliformes totais e termotolerantes, fermentos e bolores, e *Escherichia coli*, os limites geralmente são inferiores a 10 UFC/mL. Para bactérias patogênicas como *Staphylococcus aureus* e *Salmonella spp.*, a presença deve estar ausente em 25 mL da amostra.

A ANVISA não estabelece temperatura específica de armazenamento da cachaça em suas regulamentações. No entanto, recomenda-se que a cachaça seja armazenada em temperaturas adequadas para preservar sua qualidade e características sensoriais. Geralmente, a cachaça é armazenada em locais frescos e arejados, protegida da luz solar direta e de variações extremas de temperatura. Uma temperatura ambiente estável, entre 18°C e 25°C, é comumente considerada adequada para o armazenamento da cachaça, garantindo que ela mantenha suas propriedades e sabor ao longo do tempo. Além disso, as cachaças envelhecidas podem ser armazenadas em temperaturas mais baixas, próximas a 15°C, para uma maturação mais lenta e controlada.

No que se refere aos contaminantes metálicos, a IN nº 160 de 1º de julho de 2022 da ANVISA estabelece os valores contidos na Tabela 3 como limites máximos tolerados.

Tabela 3 - Limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes metálicos em bebidas

alcoólicas fermentadas e fermento-destilladas.

Contaminante Metálico	LMT (mg/kg)
Arsênio (As)	0,1
Cádmio (Cd)	0,02
Chumbo (Pb)	0,20
Cobre (Cu)	5,0
Estanho (Sn)	200
Níquel (Ni)	1,0
Mercúrio (Hg)	0,02

Fonte: (ANVISA, 2022)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta deste trabalho consiste na avaliação de procedimento de soldagem para produção de um tanque de aço inoxidável utilizado para o armazenamento de cachaça. Conforme já mencionado, o projeto foi elaborado a partir de chapas de aço AISI 304 e AISI 304L fornecidas pelo cliente, que é fabricante mineiro de cachaça.

Inicialmente, foi elaborado o projeto técnico para dimensionamento do tanque. Em seguida foi feito o levantamento químico e metalográfico para avaliação e validação das características dos aços fornecidos para definição do tipo de soldagem apropriada e elaboração do projeto, com a finalidade de atendimento a normas técnicas para que a cachaça produzida/armazenada no tanque atenda às regulamentações do MAPA e da ANVISA.

Em sequência, foram realizados testes para estabelecimento de parâmetros da soldagem TIG Pulsada, além da avaliação teórica de cargas estabelecidas em projeto.

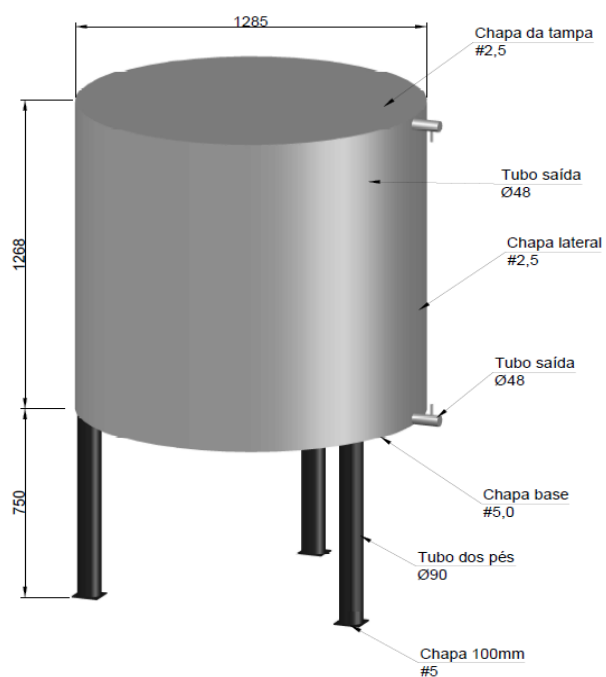
Por fim, foi realizado ensaio de tração para verificar a resistência mecânica da solda e dos aços utilizados, conforme será tratado na seção 3.4.

3.1 Projeto dimensional do tanque

O tanque será utilizado para armazenamento de cachaça produzida em alambique no município de Entre Rios de Minas, que opera em temperatura diária variando entre 11 e 26°C (Climatempo, 2024), referentes aos meses de janeiro a junho de 2024 (INMET, 2024).

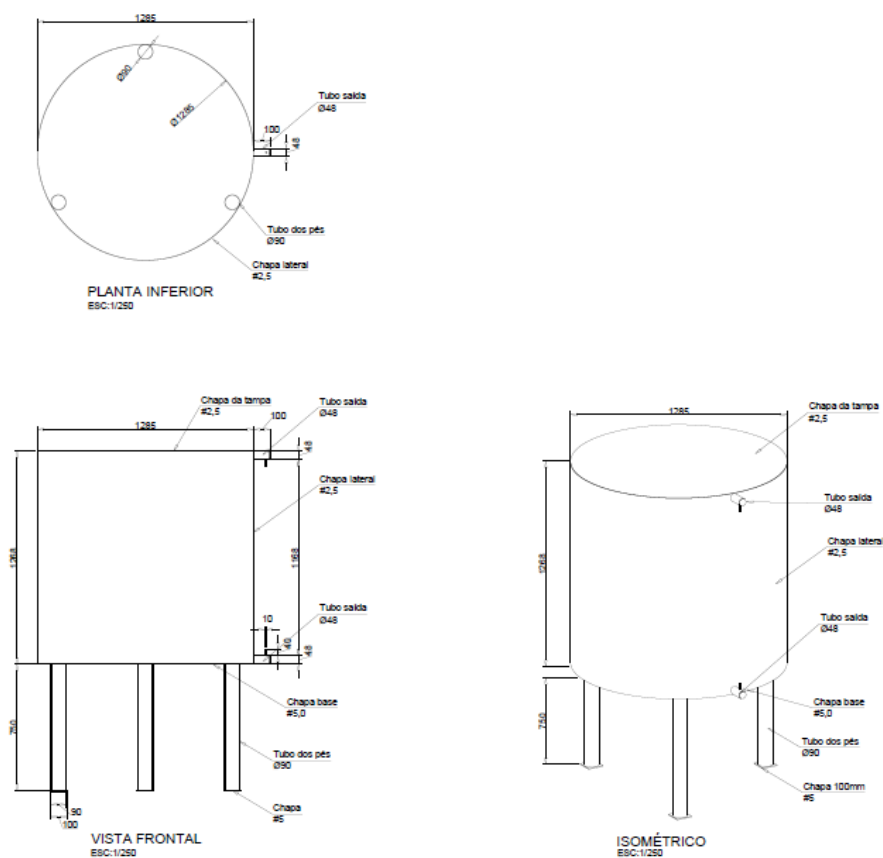
As dimensões do tanque encontram-se esquematizadas nas Figuras 7 e 8, para atender a capacidade de armazenamento de aproximadamente 1.600L de aguardente.

Figura 7 - Desenho do tanque de armazenamento de líquido.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 8 - Desenho das dimensões do tanque produzido em modelo 2D.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

3.2 Cálculo de esforços nos pontos de solda

Na elaboração e execução do projeto deste trabalho, em relação à resistência da solda de filete, foram obedecidos os requisitos básicos da NBR 8800:2008, que define os princípios gerais que regem projeto de estruturas metálicas, a fim de garantir a confiabilidade e integridade do tanque.

A resistência da solda de filete é determinada pelo tamanho mínimo da perna, calculada pela equação 08, conforme prescrita pela mencionada norma.

Para este trabalho foram calculados os esforços no filete de solda que liga a chapa de aço inoxidável do fundo do tanque com a lateral, devido à maior concentração de tensões nessa região.

Inicialmente, para determinação de cargas produzidas pelo tanque de armazenamento foram avaliadas as componentes de força que atuam no tanque. Para tal, são consideradas as seguintes condições físicas para cálculo:

- O tanque possui função apenas de armazenamento, ou seja, não há acréscimo de nenhuma pressão ou processo de fermentação interna de forma a aumentar os esforços internos do tanque;
- O tanque estará fixado sobre um suporte e, pelo fato de não ser movimentado, considera-se que o líquido e o tanque estarão em condições estáticas;
- para o cálculo, será considerado o tanque com a capacidade máxima;
- A densidade do produto a ser armazenado, nesse caso a cachaça, é de 0,9355 g/mL ou 935,5 kg/m³ conforme Vanuchi e colaboradores (2014);
- A densidade dos aços utilizados no tanque, AISI 304 e AISI 304L, é de aproximadamente 7.900 kg/m³.
- Verificou-se que as chapas laterais do tanque possuem 2,5mm de espessura além das demais especificações mostradas nas Figuras 5 e 6.
- Verificou-se que a chapa inferior ou “fundo” de tanque possui espessura de 5mm.
- Verificou-se que a chapa superior ou “tampa” de tanque possui espessura de 2,5mm.

Com base nas dimensões fornecidas nas Figuras 5 e 6, tem-se que o **volume máximo** que pode ser armazenado no tanque é calculado por:

$$V_L = \pi * r^2 * h = \pi * 0,6425^2 * 1,285 = 1,665m^3 \quad (01)$$

Onde:

- V_L – Volume de líquido total do tanque (m³);
- r – Raio da base cilíndrica do tanque (m);
- h – Altura do tanque (m).

O **peso do líquido**, que corresponde ao peso de cachaça, é determinado conforme:

$$P_L = V_L * d_L * g = 1,665 * 935,5 * 9,81 = 15.582 N \quad (02)$$

Onde:

- P_L – Peso do líquido (N);
- d_L – Densidade do líquido (kg/m³);
- g – Gravidade (9.81 m/s²).

O **volume de aço** utilizado na fabricação do tanque é igual a:

$$\begin{aligned}
 V_T &= V_{Lateral} + V_{Tampa} + V_{Fundo} \\
 &= (\pi * h * (Espessura_{Lat}^2)) + (\pi * Espessura_{Tampa} * r^2) + (\pi * Espessura_{Fundo} * r^2) \\
 &= 0,000025 + 0,00324 + 0,00162 = 0,004885 \, m^3 \quad (03)
 \end{aligned}$$

O **peso do tanque** é determinado conforme:

$$P_T = V_T * d_T * g = 0,004885 * 7900 * 9,81 = 386 \, N \quad (04)$$

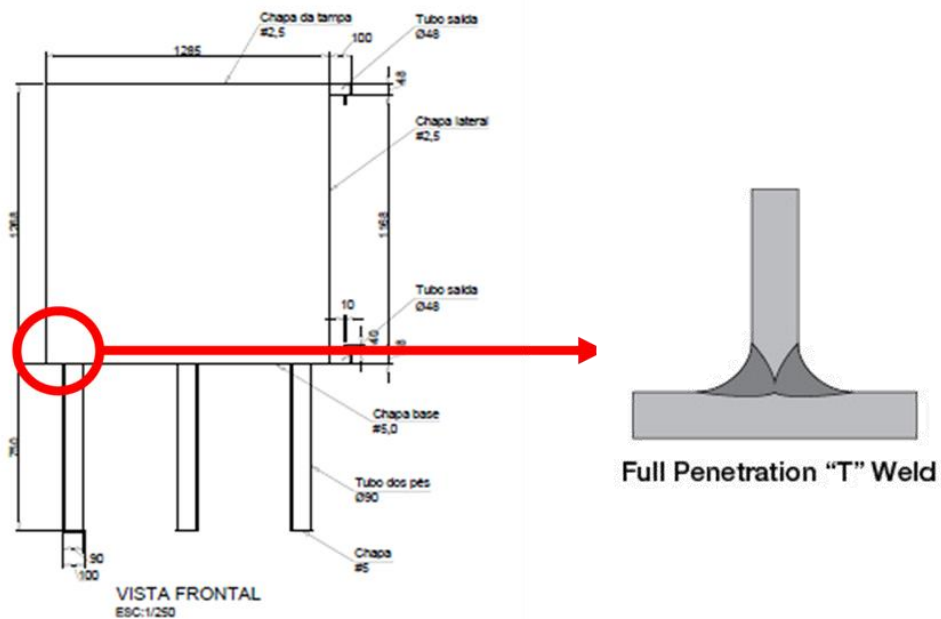
Onde:

- P_T – Peso do tanque (N);
- V_T – Volume total do Tanque (m^3);
- d_T – Densidade do aço (m^3).

Devido ao peso do tanque ser desprezível em relação ao peso do líquido armazenado (aproximadamente 2,5%), tal valor foi desconsiderado em cálculos posteriores.

Conforme apresentado na Figura 9, observa-se que os esforços mecânicos na base do tanque são máximos, tratando-se, portanto, de região interesse na determinação de dimensionamento de filete de solda. Considerando isso, entende-se que o tipo de junta de solda indicado para o processo é o **T** com penetração total.

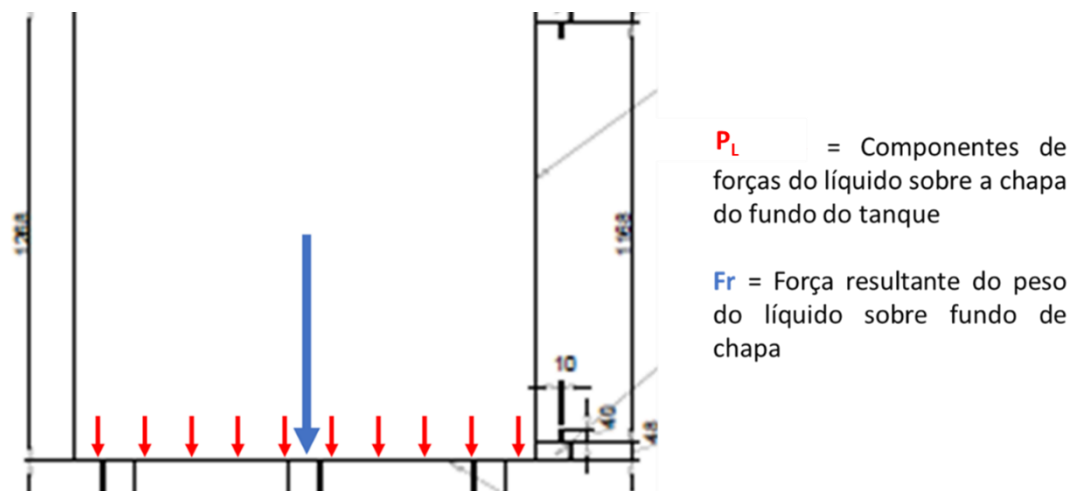
Figura 9 - Área de interesse de cálculo.



Fonte: (Adaptado do autor)

Os esforços de tração que a solda resistirá, em sua maior componente no fundo do tanque, são causados pelo momento de flexão devido à pressão hidrostática, conforme as Figuras 10 e 11:

Figura 10 - Componente de forças sobre o fundo do tanque.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 11 - Momento fletor devido a cargas no fundo de tanque.



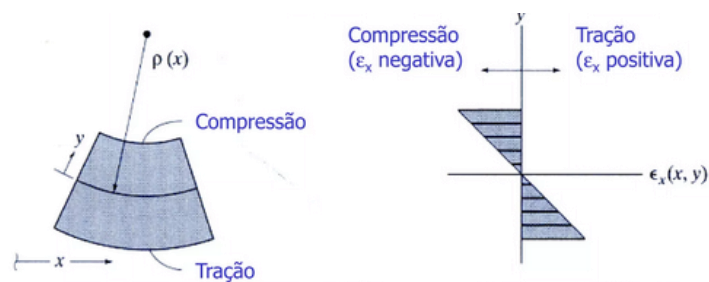
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

A partir do momento fletor da base do tanque, calculado pela equação 05, obtém-se a tensão compressiva em solda (equação 06), devido à força de compressão exercida pelo líquido.

$$M_{FUNDO} = \frac{P_L * r_{FUNDO}}{4} = \frac{15.582 * 0,6425}{4} = 2.502,8 \text{ N} * m \quad (05)$$

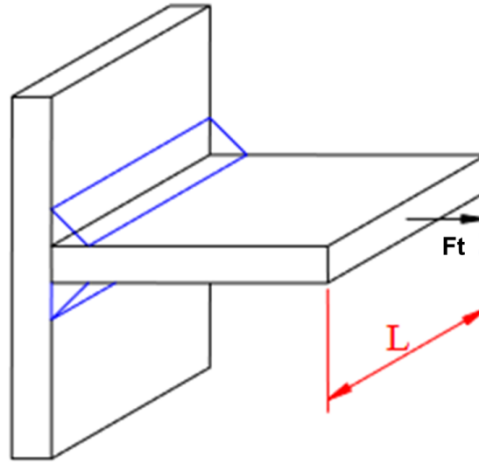
O momento fletor no fundo do tanque gera esforços de tração e compressão, conforme mostrado na Figura 12:

Figura 12 - Esforços de tração e compressão devido a momento fletor no fundo do tanque de armazenamento.



Fonte: (NBR 8800:2008)

Figura 13 - Junta T com a chapa de topo carregada axialmente.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13, é possível observar que a tensão normal de tração atuando na solda é obtida pela equação:

$$\sigma_{Tração} = \sigma_{Comp} = \frac{(M_{Fundo} * \bar{y})}{I} = 2.502,8 * \frac{0,0025}{\frac{2 * \pi * 0,6425^3 * 0,005^3}{12}} = 148,87 \text{ MPa} \quad (06)$$

Onde:

- $\sigma_{Tração}$ - Tensão de tração a qual a solda é submetida no fundo do tanque
- y – Centróide de aplicação de momento
- I – Momento de inercia da chapa em formato “disco”

Por fim, a força de tração é definida por:

$$F_{Tração} = \sigma_{Tração} * A_{MB} = 148,87 * (2 * \pi * 0,6425 * 0,005) = 3,00 \text{ MN} \quad (07)$$

Onde:

- A_{MB} – É definido pela área efetiva metal base

A Tabela 4, baseada em orientações da Norma NBR 8800:2008, apresenta os valores mínimos para perna de filete de solda em função da espessura do material base:

Tabela 4 - Relação espessura de metal base por espessura de filete de solda.

Menor espessura do metal-base na junta (mm)	Tamanho mínimo de perna da solda de filete, d_w (mm)
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

a – Executados com apenas um passe

Onde: d_w – Diâmetro da Solda (mm)

Fonte: (Adaptado NBR 8800:2008)

Conforme a Tabela 4, temos que o tamanho mínimo de perna da solda de filete é de 3mm.

A norma NBR 8800:2008 define que, para as soldas de entalhe de penetração total sujeitas a tensões de compressão e tração perpendiculares ao eixo da solda, as resistências de cálculo são obtidas com base no escoamento do metal-base (f_y), conforme a equação 08.

$$R_d = \frac{(A_{mb} * f_y)}{\gamma_{a1}} \quad (08)$$

Onde:

- R_d – Resistência de cálculo
- A_{MB} – Área efetiva do metal base – 0,0201745 m² (Conforme obtido em equação 07)
- f_y – Tensão limite do escoamento aço (205 a 310 MPa) (Valaco, 2024)
- γ_{a1} – Coeficiente Parcial de Segurança conforme Tabela 5

Tabela 5 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências.

COMBINAÇÕES	AÇO ESTRUTURAL		CONCRETO (γ_c)	AÇO DE ARMADURAS (γ_s)
	Escoamento, flambagem e instabilidade (γ_{a1})	Ruptura (γ_{a2})		
Normais	1.1	1.35	1.4	1.15
Especiais ou de construção	1.1	1.35	1.2	1.15

COMBINAÇÕES	AÇO ESTRUTURAL		CONCRETO (γ_c)	AÇO DE ARMADURAS (γ_s)
	Escoamento, flambagem e instabilidade (γ_{a1})	Ruptura (γ_{a2})		
Excepcionais	1	1.15	1.2	1

Fonte: (Adaptado NBR 8800:2008)

Logo, observa-se que a resistência mínima calculada da solda é de:

$$R_d = \frac{0.0201745 * 205 * 10^6}{1,1} = 3,76 \text{ MN} \quad (09)$$

3.3 Análise química e metalográfica dos aços AISI 304L e AISI 304

Foram enviadas duas amostras das chapas de aço inoxidável, fornecidas para produção do tanque, ao Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais (LAMAT) do Centro de Ensino Técnico Fahrenheit (CETEF) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) - Unidade Itaúna CETEF Marcelino Corradi-, para a realização da análise química e metalográfica de sua composição, como apresentado na Figura 14.

A amostra I refere-se ao material utilizado nas laterais e na parte superior do tanque (espessura de 2,5 mm), enquanto a amostra II refere-se ao da parte inferior do tanque (espessura de 5 mm). As amostras foram analisadas e comparadas com as especificações técnicas dos diferentes tipos de aço inoxidável disponíveis.

Conforme os resultados obtidos, as especificações da amostra I mais se aproximam às do aço inoxidável AISI 304L. Por outro lado, os resultados da amostra II se aproximaram mais das especificações descritas em ASTM A240 para o AISI 304.

Portanto, os resultados descritos na Tabela 6 foram obtidos a partir do **ANEXO 01 – Relatórios de Análise Metalográfica – Relatórios de Ensaio nº 4895/2024 e nº 4896/2024**.

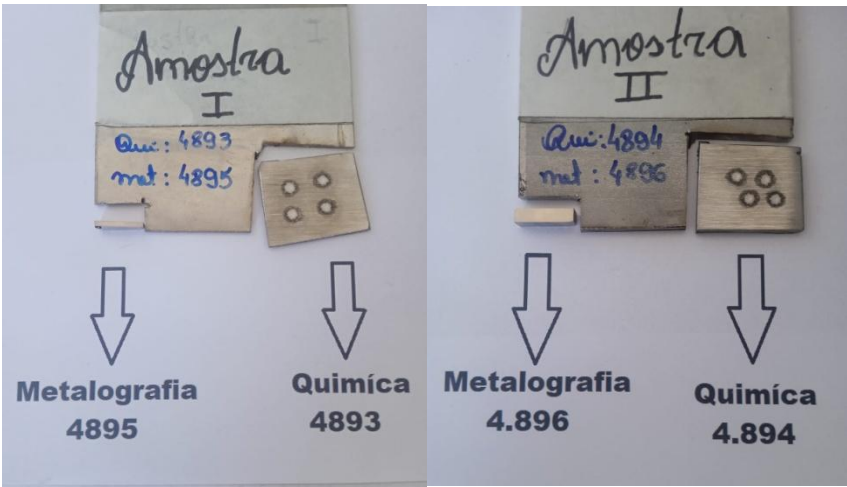
Tabela 6 - Comparação das especificações técnicas dos aços inoxidáveis AISI 304L e 304,

conforme dados obtidos das amostras enviadas para análise.

ELEMENTO AISI 304L (%)	AISI 304 (%)	RESULTADO DA AMOSTRA I (%)	RESULTADO DA AMOSTRA II (%)
Carbono (C) ≤ 0,030	≤ 0,08	0,0193	0,0375
Cromo (Cr) 18,0-20,0	18,0-20,0	185,933	182,048
Níquel (Ni) 8,0-12,0	8,0-10,50	81,312	81,867
Manganês (Mn) ≤ 2,0	≤ 2,0	14,098	11,041
Fósforo (P) ≤ 0,0450	≤ 0,0450	0,0243	0,0373
Enxofre (S) ≤ 0,030	≤ 0,030	0,0018	0,034
Silício (Si) ≤ 0,750	≤ 0,750	0,3727	0,4383
Nitrogênio (N) ≤ 0,100	≤ 0,10	0,0572	0,0545
Cobalto (Co) -	-	0,2472	0,1998
Vanádio (V) -	-	0,1330	0,0930

Fonte: (Anexo 01 – relatório de análise metalográfica - relatório de ensaio nº 4895/2024)

Figura 14 - Amostras I e II encaminhadas para análise química e metalográfica.



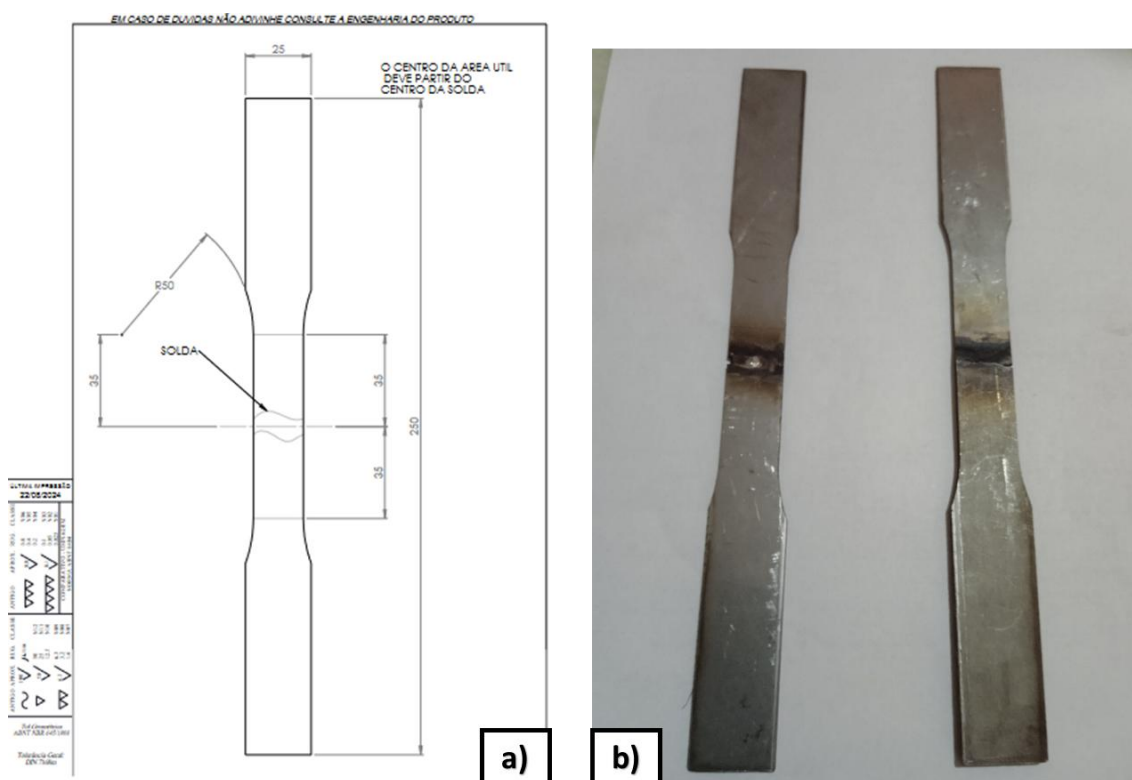
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

3.4 Ensaio de tração de corpo de prova

Os resultados do ensaio informam sobre o comportamento do material sob carga e sua qualidade. Essas informações são importantes para selecionar o material adequadamente e projetar componentes usados em vários campos industriais para garantir que o material selecionado seja capaz de suportar as condições operacionais esperadas e atender aos requisitos de desempenho.

Foram realizados dois ensaios com os corpos de prova apresentados na Figura 15. Esses ensaios buscaram garantir que os valores de resistência mecânica obtidos pela junta soldada fossem superiores aos valores mínimos especificados para os aços AISI 304 e AISI 304L.

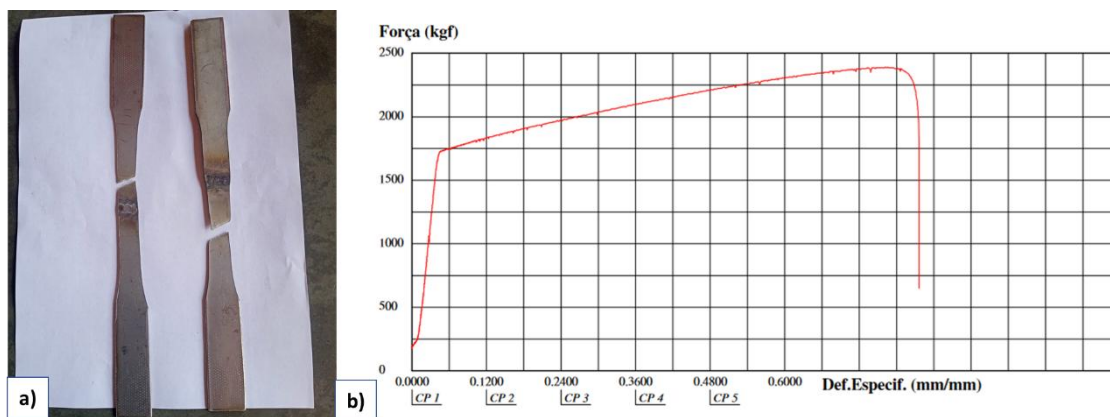
Figura 15 - Preparação para ensaio de tração a) Dimensões de corpo de prova b) Amostras para ensaio conforme a dimensão referência.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Conforme resultados apresentados no relatório de ensaio **ANEXO 02 - ENSAIO DE TRAÇÃO - UNIVERSIDADE DE ITAÚNA, Faculdade de Engenharia - Laboratório Metalográfico**, a Figura 16 ilustra os resultados obtidos no ensaio de tração.

Figura 16 - Resultados obtidos em ensaio de tração a) Corpo de prova b) Gráfico força aplicada (Kgf) x Deformação específica (mm/mm).



Fonte: (Anexo 02 - ensaio de tração - Universidade de Itaúna, Faculdade de Engenharia - Laboratório Metalográfico)

O relatório do ensaio de tração apresenta também parâmetros avaliados sobre comportamento do material:

- Tensão de Escoamento (Yield Strength) 516 MPa;
- Tensão de Resistência (Ultimate Tensile Strength): 718 MPa;
- Alongamento (%): 52.

3.5 Processo de montagem do tanque

O processo de montagem do tanque inclui diversas etapas visando à obtenção do melhor resultado para que o produto (cachaça) nele produzido/armazenado atenda às normas de qualidade e saúde da ANVISA.

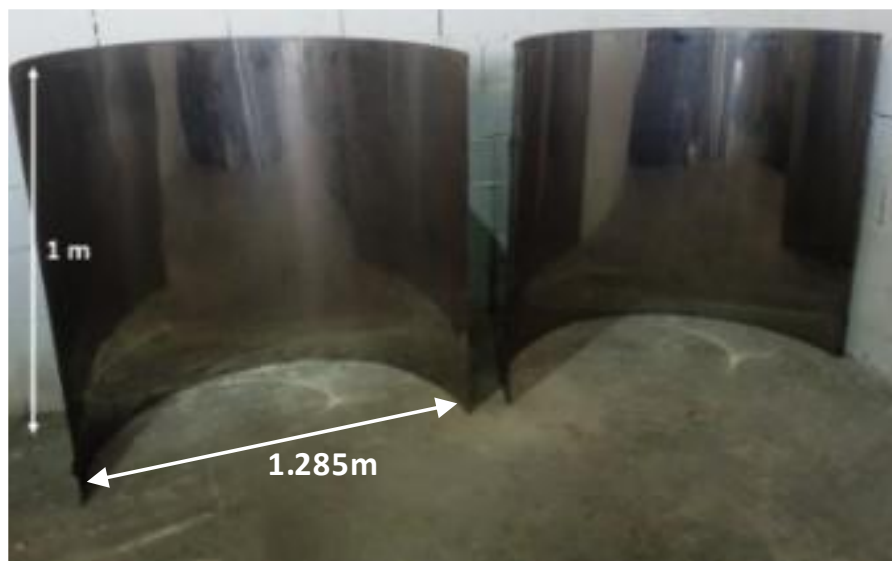
Dentre essas etapas estão:

- Corte de chapas;
- Calandragem das chapas para conformá-las de acordo com a especificação do projeto;
- Limpeza e higienização;
 - A higienização das peças metálicas foi feita com acetona (C_3H_6O), com base nos benefícios indicados no trabalho de Becker *et al.*(2016);
 - A Figura 17 apresenta o resultado obtido após higienização.
 - Todas as soldas executadas são de filetes, de acordo com os tipos de junta: “T”

na base e na tampa do tanque e “topo” na lateral do tanque entre as chapas calandradas. Para soldagem das chapas laterais do tanque, houve ponteamento e realização de sondagens intermitentes entre as chapas calandradas, com o cordão de solda feito de 10-15 cm por vez.

- A soldagem TIG da lateral do tanque é ilustrada na Figura 18.
- Inicialmente realizou-se a limpeza das juntas com uso de esmerilhadeira e escova de aço inoxidável, seguida pela montagem das chapas calandradas de 2,5 mm de espessura.
- Em seguida, a junta da chapa inferior de 5 mm de espessura foi limpa e montada.
- As juntas internas e da parte superior foram higienizadas, montadas e soldadas.
- As juntas externas da lateral e parte inferior foram soldadas, e os pés de apoio e tubos para enchimento do reservatório foram instalados.
- Avaliação de possíveis pontos de vazamento com líquido penetrante:
 - Para verificar possíveis vazamentos, o líquido penetrante foi aplicado nas juntas inferior, lateral e superior, seguido de aplicação do líquido revelador, conforme apresentado nas Figuras 19 e 20.
 - Por fim, o adesivo de proteção foi removido e o tanque recebeu polimento, para obtenção de uma superfície limpa e livre de imperfeições.
 - A avaliação da qualidade da solda, conforme Figura 21, foi realizada para verificar a uniformidade do filete de solda, além de analisar a presença de defeitos como porosidade, descontinuidade, materiais contaminantes, garantindo que todas as etapas de montagem e soldagem foram realizadas com precisão e que o tanque estava pronto para operação.
- O resultado final do trabalho é apresentado na Figura 22, seguindo todas as dimensões apresentadas no projeto, conforme seção 3.1.

Figura 17 - Chapas calandradas após higienização.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 7 - Soldagem de topo das laterais do tanque realizada na posição ascendente.



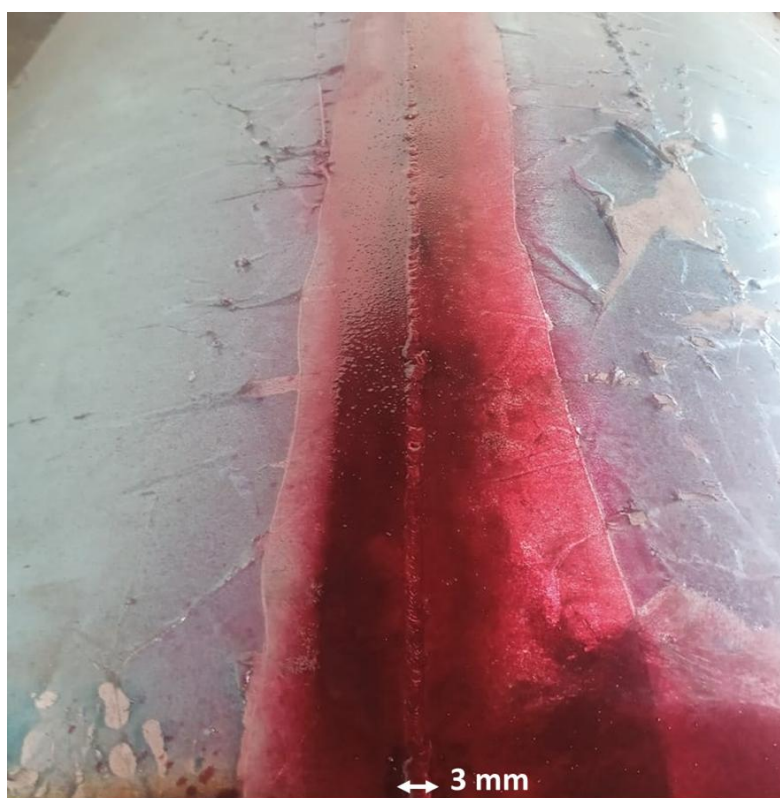
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 19 – Processo de acabamento das juntas externas do tanque de armazenamento.



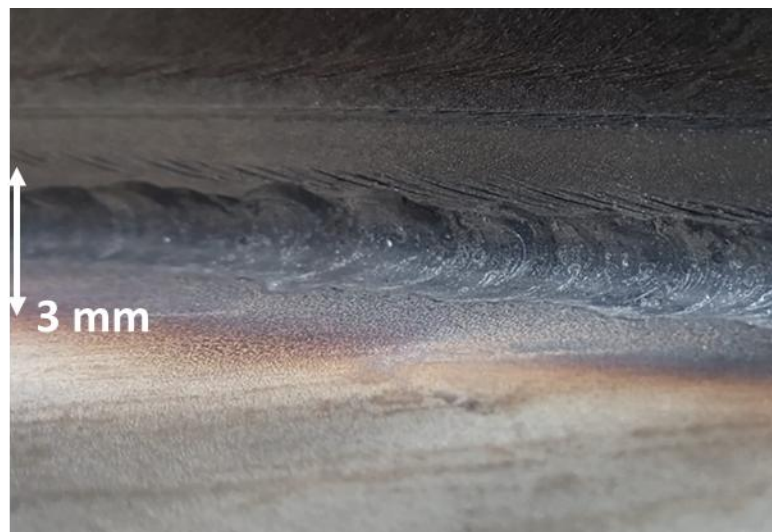
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 20 – Processo de avaliação de vazamentos no tanque por meio de líquido penetrante.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 21 - Avaliação da qualidade da solda por meio de inspeção visual.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 8 – Resultado final do projeto.



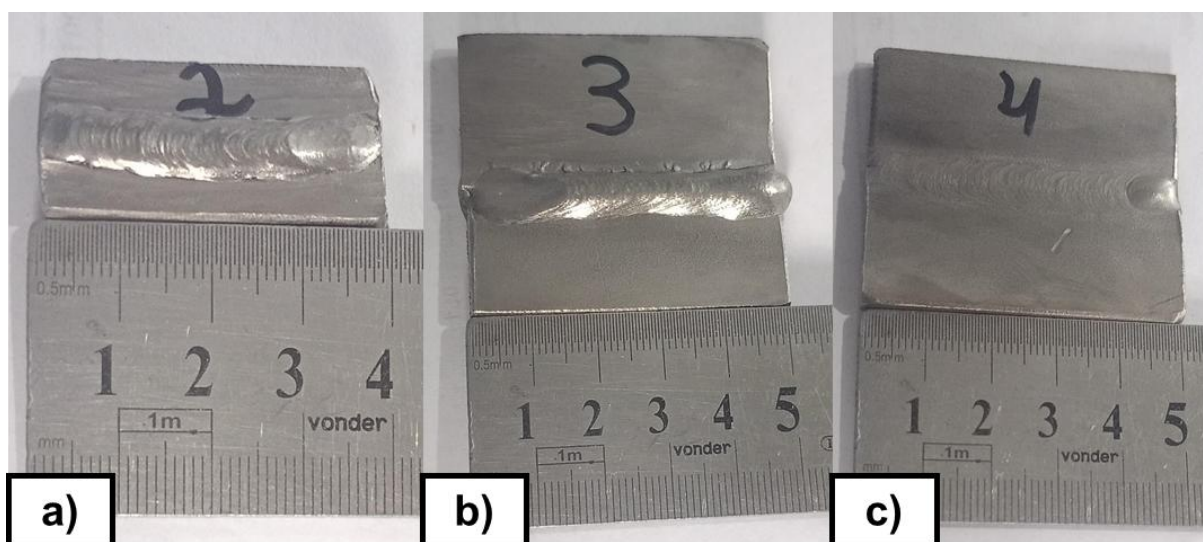
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

3.5.1 Processo de soldagem

Conforme apresentado, a soldagem TIG foi o processo utilizado neste projeto, de forma autógena e pulsada.

Inicialmente foi realizada análise comparativa entre a soldagem autógena e a com adição de material. Chegou-se à conclusão de que a soldagem autógena gera um cordão de solda com menor superfície de contato, permitindo melhor aplicabilidade em regiões com susceptibilidade à proliferação de biofilmes, conforme observado em corpos de prova na Figura 23.

Figura 9– Corpos de Prova: a) Cordão de soldagem usando o eletrodo 308L b) Cordão de solda utilizando o arame 308L de 0,8mm de diâmetro no processo MIG c) Cordão de solda autógena no processo TIG



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Os parâmetros para a soldagem são definidos pelas configurações do aparelho de soldagem. Além disso, o processo de soldagem envolve diversos componentes previamente selecionados para se obter melhor aplicação no material e alta qualidade da solda:

1. Bocal (Bocal de Cerâmica):

- Função: O bocal, também conhecido como copo de cerâmica, direciona o fluxo de gás de proteção (geralmente argônio) para a área de soldagem, protegendo a poça de fusão da contaminação atmosférica;
- Medidas: Os bocais têm tamanhos variados que são numerados, como #4, #5, #6, #7, etc., que representam o diâmetro interno do bocal em 1/16 de polegada;

- Rosca: O bocal se rosqueia diretamente no difusor de gás ou no corpo da tocha, dependendo da configuração. A rosca é normalmente interna e compatível com o difusor específico da tocha SR26.

2. Difusor de Gás ou Porta Pinça:

- Função: O difusor de gás (ou porta pinça) tem a função de manter a pinça no lugar e permitir a passagem do eletrodo de tungstênio. Além disso, o difusor distribui o gás de proteção uniformemente ao redor do eletrodo;
- Medidas: Para a tocha SR26, o difusor de gás é compatível com o eletrodo de tungstênio de diâmetros variados de 1,6mm, 2,4mm, 3,2mm, entre outros;
- Rosca: Geralmente, a rosca é 3/8"-32 Unified National Fine Thread (UNF) para o acoplamento na tocha.

3. Pinça:

- Função: A pinça segura o eletrodo de tungstênio na posição correta e garante o contato elétrico entre o eletrodo e o difusor de gás ou porta pinça;
- Medidas: A pinça é selecionada com base no diâmetro do eletrodo de tungstênio. Para um eletrodo de 2,4mm, é utilizada uma pinça de 2,4mm;
- Material: Normalmente feita de cobre ou liga de cobre para garantir uma boa condutividade elétrica e resistência ao calor.

4. Capa Longa:

- Função: A capa longa, ou "back cap", serve para manter o eletrodo de tungstênio pressionado dentro da tocha e protege o eletrodo e a tocha da contaminação externa. A capa longa também facilita ajustes no comprimento do eletrodo exposto;
- Medidas: Existem capas de diferentes comprimentos: curta, média e longa. Para um eletrodo de 2,4mm, a capa longa é adequada para permitir uma melhor manipulação e ajuste do eletrodo;
- Rosca: A rosca da capa longa é compatível com a parte traseira da tocha SR26 e é, geralmente, uma rosca interna que se conecta ao corpo da tocha.

Características químicas do eletrodo revestido utilizado:

Eletrodo de Tungstênio Ponta Vermelha (Tório 2% - WT20)

- Descrição Geral: O eletrodo de tungstênio ponta vermelha, também conhecido como eletrodo de tungstênio toriado (WT20), contém aproximadamente 2% de óxido de tório (ThO_2). Esse tipo de eletrodo é amplamente utilizado devido às suas excelentes

características de acendimento do arco e sua capacidade de manter uma ponta afiada durante o processo de soldagem. É adequado para soldagem em corrente contínua (DC) e é utilizado em diversos materiais.

- **Composição:**

- Tungstênio (W): 98%
- Óxido de Tório (ThO_2): 2%

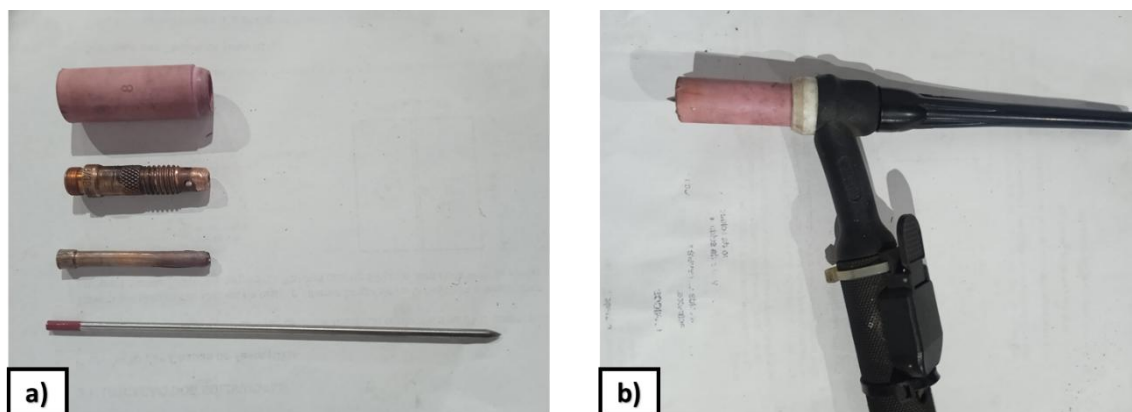
Conforme fabricante, o eletrodo possui as seguintes características e benefícios:

- Capacidade de Carga de Corrente: Os eletrodos de tungstênio toriado têm uma capacidade de carga de corrente mais alta do que os outros eletrodos de tungstênio não aleados, o que resulta em menor taxa de desgaste;
- Facilidade de Acendimento do Arco: Oferece um acendimento de arco fácil e uma boa estabilidade do arco, especialmente em baixas correntes. Isso torna o eletrodo ideal para aplicações de soldagem em que é necessária uma precisa estabilidade de arco;
- Forma da Ponta: A adição de tório permite que o eletrodo mantenha uma ponta afiada por mais tempo do que os eletrodos de tungstênio puro ou de outros eletrodos não aleados. Isso é benéfico para soldas precisas e em materiais finos;
- Resistência ao Desgaste: A presença de tório melhora a resistência ao desgaste do eletrodo, prolongando sua vida útil.

Características físicas dos componentes:

- Características do Bocal nº 8
 - Difusor, pinça e eletrodo de tungstênio ponta vermelha de 3,25 mm de diâmetro com 2 % de tório.
- Características Tocha: Marca Binzel refrigerada a água,
 - Modelo TIG, TBi SR 18,
 - Gatilho TSB de 3,5 metros.
- Características do aparelho de solda:
 - Marca. H soldas
 - Modelo TIG 315 P AC/DC
- Gás de proteção: Argônio 100%;

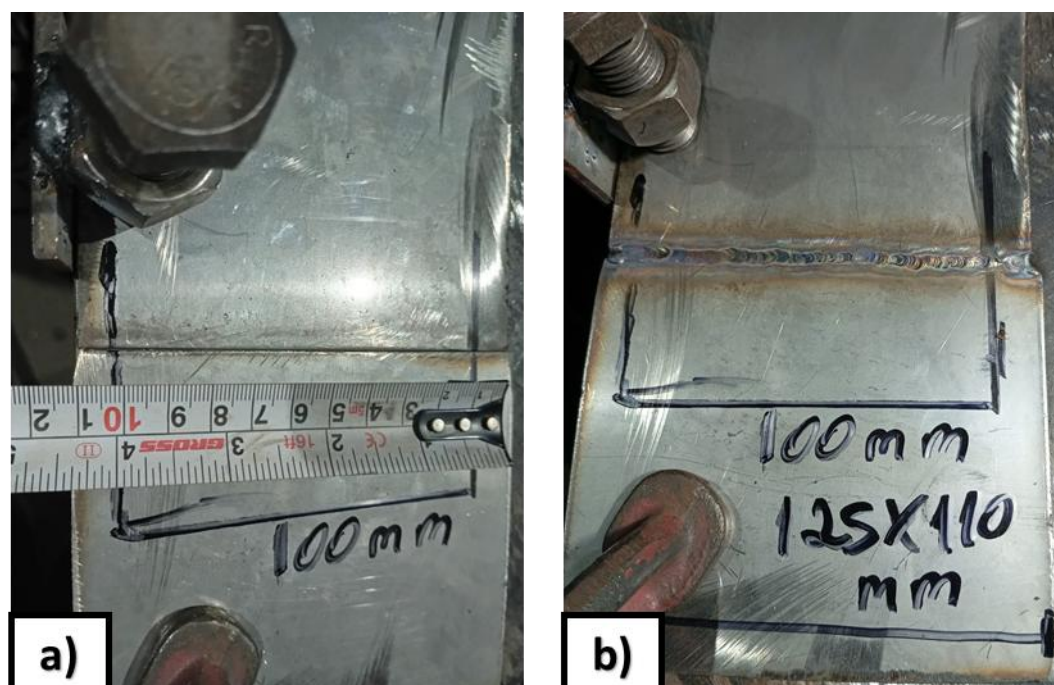
Figura 24 - a) Componentes da Tocha b) Tocha montada.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

A configuração do aparelho ocorre de maneira a respeitar parâmetros do material e da velocidade de soldagem. Neste caso, foram realizados ensaios em chapas menores, de material similar, para validar os parâmetros do processo e qualidade final da solda conforme mostrado nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 - Chapa amostral para teste de parâmetros de soldagem. Chapa de aço: 125x100x2,5mm, sendo a - preparação de amostra; b - chapas soldadas do AISI 304.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 26 - Processo de preparação de amostras.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Após processo de teste em chapas de aço, foram definidos os seguintes parâmetros para a soldagem:

- V – Velocidade de avanço ou deslocamento de tocha – 1,82mm/s;
- PPS – Pulso por segundo – Regulagem de frequência de pulso do aparelho – 75Hz;
- A – Configuração de corrente média – 25A;
- Vazão do gás de proteção (Argônio 100%): Q – 12L/min;
- Corrente de soldagem: Corrente Contínua Negativa /PCEN
 - Corrente Base: 15 A
 - Corrente Pico: 27 A
 - Duração da corrente Pico: 10,6 ms
 - Duração da corrente Base: 2,6 ms

A seguir, a Figura 27 mostra uma solda realizada com os parâmetros indicados, a Figura 28 indica os parâmetros regulados na fonte de soldagem e a Figura 29 apresenta os oscilogramas de tensão e corrente de um teste de soldagem.

Figura 27 - Corpo de prova utilizado para obtenção de parâmetros de soldagem



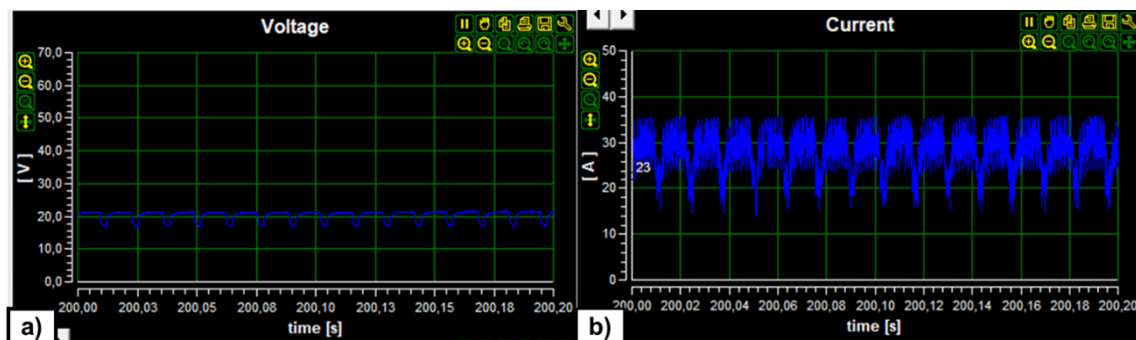
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 28 - Parâmetros de soldagem



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 10 - Oscilograma do aparelho de solda a) Tensão (V) b) Corrente (A)

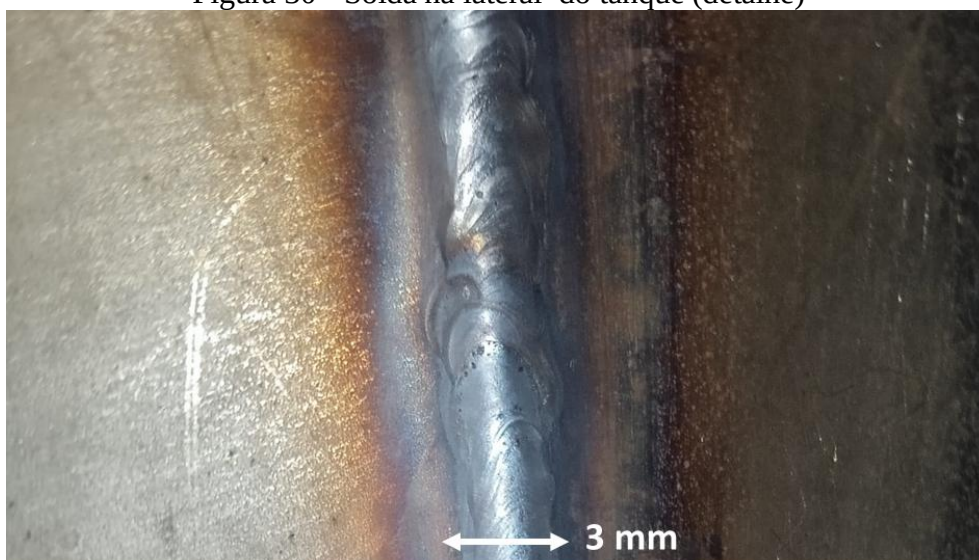


Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise, inicialmente feita de forma visual, mostrou-se satisfatória quanto à qualidade obtida no projeto, com foco no resultado de solda final, como observados nas Figuras 30 e 31:

Figura 30 - Solda na lateral do tanque (detalhe)



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Figura 31 - Solda entre a lateral e o fundo do tanque (detalhe)



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

A soldagem TIG no modo autógeno apresentou-se como excelente opção para a indústria alimentícia devido à sua capacidade de fornecer soldas de alta qualidade e precisão. Esse processo oferece alto nível de controle e precisão, resultando em soldas com acabamento satisfatório para o projeto e pouca ou nenhuma projeção de respingos, o que reduz a necessidade de limpeza adicional e mantém a integridade das superfícies soldadas. A soldagem TIG no modo autógeno também permite o controle preciso (considerando o alto nível técnico do soldador) da quantidade de calor aplicado, minimizando o risco de deformações e preservando as propriedades mecânicas do material, o que é essencial para a durabilidade e segurança dos equipamentos alimentícios.

No que tange à avaliação da capacidade da solda frente à necessidade do projeto, também foram avaliadas as características mecânicas quanto ao esforço a que estão suscetíveis. Quando avaliado na pior condição estipulada, ou seja, a solda entre o fundo e a parede do tanque, a resistência calculada conforme norma NBR 8800:2008, R_d , apresentada na equação 09 é superior à carga exercida pelo peso do tanque e líquido armazenado, conforme obtido pela equação 07.

- R_d – Resistência da Solda = 3,76 MN
- $F_{\text{TRAÇÃO}}$ - Força de Tração = 3,00 MN

Importantes evidências para validação do projeto do tanque e solda aplicados, são os valores obtidos para cálculo de Tensão em Solda ($\sigma_{\text{TRAÇÃO}}$), conforme equação 06, em comparação de valores de tensão obtidos pelo ensaio de tração do corpo de prova, descrito em seção 3.4.

- $\sigma_{\text{TRAÇÃO}}$ – Tensão em solda conforme cálculo teórico - 148,87 MPa
- σ_E - Tensão de Escoamento da Solda: 516,00 MPa

Conforme Jang e Ahn, (2019), no campo de desenvolvimento de projetos, é de vital necessidade a avaliação das características mecânicas dos componentes quanto à resiliência aos esforços solicitados. Os resultados teóricos, por meio do cálculo de esforços solicitantes no fundo do tanque, e práticos, obtidos através de ensaio de tração, são determinantes para convergir ao resultado esperado, de modo que a soldagem realizada possua capacidade de resistência mecânica sobre as cargas aplicadas.

Os trabalhos de Tseng e Chou (2001) e de Kumar e Sundara Bharathi (2015) apresentaram resultados indicando que a soldagem TIG pulsada não apenas minimiza o risco de distorções e tensões residuais, mas também melhora a qualidade do cordão de solda, garantindo uma soldagem mais uniforme e maior integridade estrutural do aço. Assim, o modo

TIG pulsado é particularmente benéfico para aplicações que exigem alta precisão e resistência prolongada, considerando a durabilidade do material soldado.

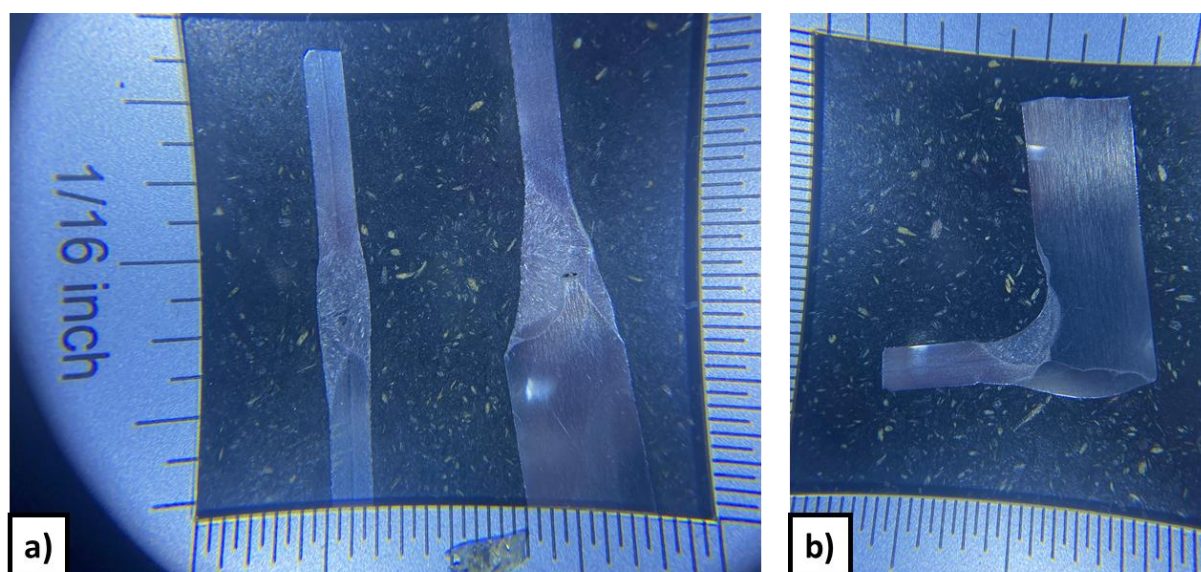
Quando a soldagem é realizada em modo TIG pulsado, o processo se caracteriza pelo controle mais preciso da temperatura e da energia aplicada. Esse modo permite a alternância entre períodos de alta e baixa intensidade de corrente, resultando em temperaturas mais baixas na zona de soldagem em comparação aos métodos contínuos. Segundo Henke (2010), esse controle térmico reduz o risco de superaquecimento, permitindo o aprimoramento da microestrutura da região soldada e favorecendo a resistência mecânica do material ao promover uma distribuição mais uniforme das fases e reduzir a ocorrência de defeitos e descontinuidades. Além disso, o processo resultou no desenvolvimento de menores tensões residuais em comparação a métodos convencionais, o que é fundamental para evitar a aceleração do processo de fadiga e prolongar a vida útil do componente.

Seguindo a análise de resultado obtido por soldagem TIG, conforme apresentado no trabalho de Borges, *et al.* (2021), o uso de argônio, quando comparado à soldagem SMAW, melhora significativamente a qualidade da soldagem, eliminando a oxidação da raiz do cordão e tornando a superfície mais adequada para uso na indústria alimentícia. Conforme relatado no estudo, tubos soldados sem proteção de gás apresentam raízes rugosas e oxidadas, que são menos apropriadas devido ao risco de acúmulo de resíduos (Borges *et al.* 2021). A escolha da vazão do gás e de outros parâmetros de soldagem deve ser feita com base em considerações econômicas e necessidades específicas de desempenho.

Por meio deste trabalho chegou-se à conclusão de que soldagem autógena, quando bem executada, apresenta resultados de forma a atender as necessidades do projeto estudado. Isso ocorre porque, com a realização da soldagem autógena no modo TIG pulsado, viabiliza-se a formação de superfícies mais lisas e, conseqüentemente, menos adesivas ao biofilme. É relevante destacar que o processo de soldagem executado pode ter custo mais elevado devido à necessidade de equipamento sofisticado e de operadores qualificados.

Para melhor avaliar a qualidade final da solda, foram realizados cortes em corpos de prova soldados, permitindo a vista lateral da solda. Conforme observado na Figura 32, a soldagem TIG autógena pulsada permitiu a realização de uma solda com penetração total, com a Zona Termicamente Afetada (ZTA) visualmente uniforme. As imagens da Figura 32 foram obtidas com o auxílio de equipe técnica do Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação (LRSS) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Figura 32 - Vistas de corte de chapas com solda TIG pulsada a) Chapas soldadas com junta de topo b) Chapas soldadas com penetração total em junta de canto



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

É necessário ressaltar que o uso da acetona na preparação das superfícies a serem soldadas, especialmente no contexto da indústria alimentícia, desempenha um papel fundamental na melhoria dos resultados de soldagem e na garantia de acabamento de alta qualidade. A acetona é um solvente eficaz que atua removendo óleos, graxas, resíduos e outros contaminantes das superfícies de aço AISI 304 e AISI 304L. Ela age através da dissolução desses contaminantes, que são solúveis em acetona, facilitando sua remoção completa. A presença de contaminantes pode comprometer a integridade da solda, resultando em falhas, corrosão e até mesmo em contaminação dos alimentos processados (Becker *et al.*, 2016). A limpeza adequada das superfícies com acetona é, portanto, essencial para garantir soldas limpas e fortes, promovendo a durabilidade e a segurança dos equipamentos utilizados na indústria alimentícia.

O resultado obtido na análise metalográfica permite avaliar a microestrutura do aço inoxidável, conforme destacado na seção 3.3 deste trabalho, identificando características como a distribuição dos grãos, o que influencia diretamente a resistência à corrosão e a durabilidade do material. A análise de composição química é fundamental para garantir que o aço inox atenda aos requisitos de resistência à corrosão, dureza e higiene exigidos pela indústria alimentícia. A presença de elementos como cromo e níquel, por exemplo, pode melhorar significativamente a resistência à corrosão e garantir a integridade dos equipamentos em ambientes agressivos. Além disso, a seleção correta do aço inoxidável assegura a conformidade com as normas de segurança

alimentar, evitando a contaminação dos produtos alimentícios e garantindo a longevidade dos equipamentos. Assim, a escolha adequada do aço inoxidável é essencial para garantir a eficiência operacional, a segurança alimentar e a durabilidade dos equipamentos na indústria alimentícia.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho tratou do desenvolvimento de um projeto aplicado à indústria alimentícia com diversas características a serem respeitadas, a fim de garantir uma aplicação adequada para que os alimentos produzidos atendam às normas da ANVISA. Durante seu desenvolvimento foi possível observar que a escolha dos parâmetros de projeto possui impacto direto em seu resultado. Na etapa de elaboração é importante observar: escolha do material, projeto para dimensões, técnicas e parâmetros aplicáveis para soldagem, técnicas para avaliação de resultados e acabamentos, treinamento adequado de operadores. A avaliação do uso correto de diversas técnicas aplicáveis para o desenvolvimento tem impacto no custo e na utilização do produto.

A soldagem TIG no modo autógeno, que não utiliza material de adição, apresentou um bom resultado para atender as necessidades da indústria alimentícia por oferecer alta qualidade e precisão, resultando em soldas com acabamento superior por apresentar menor projeção de respingos. O modo TIG pulsado, com seu controle preciso da temperatura, evita superaquecimento e alterações estruturais do aço, promovendo soldas mais uniformes e duráveis. O uso de argônio como gás de purga melhora a qualidade da solda ao eliminar a oxidação e reduzir a formação de biofilmes, fundamental para prevenir contaminações bacterianas. É importante ressaltar que essa técnica requer elevado nível de perícia do operador, ou seja, para obtenção de resultado satisfatório, é de vital importância a especialização do operador.

Ademais, a escolha adequada do material e a limpeza das superfícies são essenciais para garantir a integridade e a durabilidade do material. A análise metalográfica e da composição química do aço asseguram que ele atenda aos requisitos de resistência à corrosão e segurança alimentar. Após a produção, a acetona remove contaminantes que a limpeza mecânica pode ter deixado e a realização de inspeções detalhadas garantem a qualidade do produto, com possíveis reparos e atualizações nos procedimentos de controle de qualidade para manter os padrões necessários.

A avaliação teórica e prática da resistência mecânica do aço AISI 304 e da solda utilizada acrescentou credibilidade no correto dimensionamento do tanque, apresentando resultados positivos sobre sua resistência aos esforços solicitados em pior condição, conforme apresentados nas seções 3.2 e 3.5.

Em futuras avaliações do produto, caso sejam identificados danos que favoreçam o acúmulo de biofilmes, pode ser necessário realizar reparos, que incluem o tratamento de áreas

afetadas com nova aplicação de soldagem ou substituição de seções comprometidas. Após os reparos, é fundamental verificar novamente a integridade do aço e as superfícies tratadas para garantir que atendam aos padrões de qualidade e segurança necessários, conforme descrito na NBR 8800:2008. Por fim, é vital registrar todas as ações realizadas e atualizar os procedimentos de controle de qualidade para evitar a recorrência do problema em futuros processos produtivos. Essas etapas asseguram que o aço esteja em condições adequadas e que o produto atenda aos requisitos de qualidade e durabilidade esperados.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, V. P. P.; LEMOS, J. G.; NASCIMENTO, M. DA S. DO. Yeast biofilms on abiotic surfaces: Adhesion factors and control methods. **International Journal of Food Microbiology**, v. 400, p. 110-265, 2 set. 2023.
- ALVES, B. I. S.; SILVA, F. F.; NORTE, R. L. S.; SILVA, M. A. M.; JUDICE, G. **H.Comparativo das propriedades e metalografia entre o Aço Inox 304 e o Aço Inox 301 encruado**. Trabalho de conclusão de curso – UNA, Pouso Alegre, 2021.
- AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding**. 14. ed.2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**.2008.
- ASM INTERNATIONAL. ASTM A240/A240M-20a: **Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications**. West Conshohocken, PA: ASM International, 2020.
- ASM INTERNATIONAL. ASM Handbook - Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. In: **ASM Handbook**, v. 1, p. 1–2521.
- BECKER, S.; MERZ, R.; HASSE, H.; KOPNARSKI, M. Solvent cleaning and wettability of technical steel and titanium surfaces. **Adsorption Science and Technology**, v. 34, n. 4–5, p. 261–274, 1 jun. 2016.
- BIRANIA, S.; ATTKAN, A. K.; KUMAR, S.; KUMAR, N.; SINGH, V. K. Cold plasma in food processing and preservation: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 9, 22 set. 2022.
- BOARI, C. A. Formação de biofilme em aço inoxidável por *Aeromonas hydrophila* e *Staphylococcus aureus* sob diferentes condições de cultivo. **Tese de Doutorado – Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 2008
- BORGES, T. L.; TURAZI, A.; STENGER, C. Estudo do uso de atmosfera de proteção interna na soldagem de tubos para a indústria alimentícia. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, p. 240–250, jun. 2021.
- CARVALHO-NETTO, O. V. DE; ROSA, D. D.; CAMARGO, L. E. A. Identification of contaminant bacteria in cachaça yeast by 16s rDNA gene sequencing. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 5, p. 508–515, 2008.
- CLIMATEMPO. Climatologia de Entre Rios de Minas - MG. Climatedpo. Disponível em: <https://www.climatedpo.com.br/climatologia/3728/entrieriosdeminas-mg>. Acesso em: 27 set. 2024.
- CUNHA, Thiana Berthier da. **Fragilização por hidrogênio de uniões soldadas de aços inoxidáveis austeníticos, utilizados como barreira contra a corrosão no processo de refino do petróleo**. 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

DONLAN, R. M.; CARR, J. Staphylococcus aureus biofilm 01. 2005. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Staphylococcus_aureus_biofilm_01.jpg. Acesso em: 13 set. 2024.

GALVIS E, A. R.; HORMAZA, W. Characterization of failure modes for different welding processes of AISI/SAE 304 stainless steels. **Engineering Failure Analysis**, v. 18, n. 7, p. 1791–1799, out. 2011.

HENKE, S. L. **Efeito da soldagem plasma pulsada na microestrutura e Resistência à fadiga de um aço inoxidável Supermartensítico**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Estação Meteorológica Automática de Entre Rios de Minas - MG. 2024. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A513>.

JANG, J. H.; AHN, S. H. FE Modeling Methodology for Load Analysis and Preliminary Sizing of Aircraft Wing Structure. **International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace**, v. 6, n. 2, 2019.

KUMAR, R.; SUNDARA BHARATHI, S. R. A Review Study on A-TIG Welding of 316(L) Austenitic Stainless Steel. **International Journal of Emerging Trends in Science and Technology**, v. 02, n. 03, p. 2066-2072, 2015.

LAWAL, S. L.; AFOLALU, S. A.; JEN, T. C.; AKINLABI, E. T. Tungsten inert gas (TIG) and metal inert gas (MIG) welding applications - critical review. **E3S Web of Conferences**, v. 390, p. 1-11, 1 jun. 2023.

MACHADO, I. G. Dimensionamento de Juntas Soldadas de Filete: Uma Revisão Crítica (Design of Fillet Welded Joints: A Critical Review). **Soldagem & Inspeção**, v. 16, n. 2, p. 189–201, abr. 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria MAPA Nº 539**. Brasil, 27 dez. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-539-de-26-de-dezembro-de-2022-453828778>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução de Diretoria Colegiada Nº 216**. Brasil, ANVISA, 15 set. 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Instrução normativa Nº 160**. Brasil, ANVISA, 1 jul. 2022.

MODENESI, P.; MARQUES, P.; SANTOS, D. **Curso de metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 1992.

PATEL AD, D. A. Stainless Steel for Dairy and Food Industry: A Review. **Journal of Material Science & Engineering**, v. 04, n. 05, 2015.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed.

PINHEIRO, F. W.; SOUZA, L. M.; PEREIRA, E. C.; MONTEIRO, S. N.; AZEVEDO, A. R. G. Effect of solubilization heat treatment on microstructure and corrosion resistance of joints

welded with the autogenous TIG process duplex stainless steel. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 26, p. 1527–1536, 1 set. 2023.

SANTOS, L. I. P. **Estudo da contaminação dos alimentos confeccionados em folha de alumínio**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Qualidade Alimentar) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2014.

SEBRAE. Números da cachaça no Brasil. 2014. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/numeros-da-cachaca-no-brasil/>.

SOARES, R. L. **Caracterização de uma fita de ti45ni48cu7 com efeito de memória de forma para aplicação em uma microválvula**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

TIDE, C.; HARKIN, S. R.; GEESEY, G. G.; BREMER, P. J. SCHOLZ, W. The influence of welding procedures on bacterial colonization of stainless steel weldments. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 2, p. 85–96, nov. 1999.

TSENG, K. H.; CHOU, C. P. Effect of pulsed gas tungsten arc welding on angular distortion in austenitic stainless steel weldments. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 6, n. 3, p. 149–153, 1 jun. 2001.

ZHAO, M.; WU, H.; LU, J.; SUN, G.; DU, L. Effect of grain size on mechanical property and corrosion behavior of a metastable austenitic stainless steel. **Materials Characterization**, v. 194, 1 dez. 2022.

ANEXO 01 –
Relatórios de Análise Metalográfica - LAMAT SENAI
Relatório de Ensaio nº 4895/2024



Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4895/2024

Solicitante / Client: Eimar Antonio de Oliveira Filho
Endereço / Address: Rua Tiradentes, 13 - Centro - Igarapé - MG
Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test
Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:
 Amostra I

Microestrutura / Microstructure:	
	Aço
- Austenita e presença de ferrita delta. - Nota-se a presença de inclusões dispersas na seção examinada.	
Temperatura do Ensaio 22 °C (test temperature:)	
Observações:	

Informações / Informations:
*Ensaio realizado com referência à norma ABNT NBR 15454:2007. Equipamentos utilizados: Microscópio Ótico GX51 OLYMPUS, nº 163645; Régua graduada nº 39449 e MO.MET.01.

Este relatório contém resultados que se referem exclusivamente à amostra enviada pelo solicitante e somente deve ser reproduzido por completo, sendo que a reprodução de partes requer aprovação escrita do LAMAT / This report contain results referred exclusively specimen sent to requestor and only be reproduced in full, and that reproduction of parts requires written approval by LAMAT.

Recepção / Reception	27/05/24	Analista Analyst	Responsável Responsible
Realização / Achievement	07/06/24	Dualas Fernando Lopes	
Emissão / Emission	07/06/24	Laboratorista	Dualas Fernando Lopes Laboratorista

Responsável Técnico LAMAT: Philippe Silva Parreiras, CREA-MG nº 142016726-0 Technical Responsible LAMAT: Philippe Silva Parreiras, CREA-MG nº 142016726-0
--



SENAI

Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Análise Metalográfica

Report of Metallographic Analysis

Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4895/2024



Presença de inclusões.

Reativo: Sem ataque.

Ampliação: 200x



Austenita e ferrita.

Reativo: Ácido oxálico.

Ampliação: 100x

SENAI Itaipava CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaipava - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 2 de 3



SENAI

Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Análise Metalográfica

Report of Metallographic Analysis

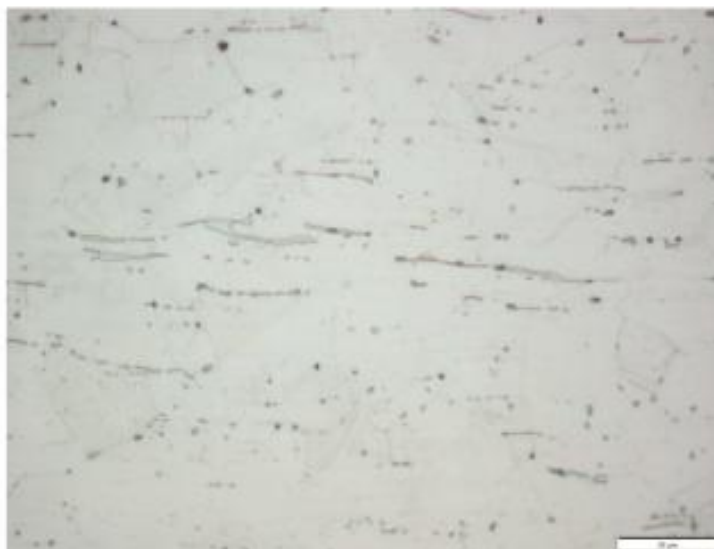
Relatório de Ensaio / Test Report N°:4895/2024



Austenita e ferrita.

Reativo: Ácido oxálico.

Ampliação: 200x



Detalhe da austenita e ferrita.

Reativo: Ácido oxálico.

Ampliação: 1000x

SENAI Itaipava CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaipava - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 3 de 3

Relatório de Ensaio nº 4896/2024



Ensaio
NBR ISO/IEC
17025
CRL 0126



Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT
Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE
Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Análise Metalográfica
Report of Metallographic Analysis

Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4896/2024

Solicitante / Client: Eimar Antonio de Oliveira Filho
Endereço / Address: Rua Tiradentes, 13 - Centro - Igarapé - MG
Item recebido: material para análise/ensaio / Item received: material for analysis/test
Identificação do cliente para a amostra enviada / Customer id for the sample sent:
 Amostra IV

Microestrutura / Microstructure:	
	Aço
- Austenita e presença de ferrita delta. - Nota-se a presença de inclusões dispersas na seção examinada.	
Temperatura do Ensaio	22 °C
Observações: 	

Informações / Informations:
*Ensaio realizado com referência à norma ABNT NBR 15454:2007. Equipamentos utilizados: Microscópio Ótico GX51 OLYMPUS, nº 163645; Régua graduada nº 39449 e MO.MET.01.

Este relatório contém resultados que se referem exclusivamente à amostra enviada pelo solicitante e somente deve ser reproduzido por completo, sendo que a reprodução de partes requer aprovação escrita do LAMAT / This report contain results referred exclusively specimen sent to requestor and only be reproduced in full, and that reproduction of parts requires written approval by LAMAT.

Recepção / Reception	27/05/24	Analista Analyst	Responsável Responsible
Realização / Achievement	07/06/24	Dualas Fernando Lopes Laboratorista	 Dualas Fernando Lopes Laboratorista
Emissão / Emission	07/06/24		

Responsável Técnico LAMAT: Philippe Silva Parreiras, CREA-MG nº 142016726-0
 Technical Responsible LAMAT: Philippe Silva Parreiras, CREA-MG nº 142016726-0


SENAI
Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Análise Metalográfica

Report of Metallographic Analysis

Relatório de Ensaio / Test Report Nº:4896/2024


Presença de inclusões.

Reativo: Sem ataque.

Ampliação: 100x


Austenita e ferrita.

Reativo: Ácido oxálico.

Ampliação: 100x

SENAI Itaipava CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaipava - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 2 de 3



SENAI

Laboratório de Ensaios e Análise em Materiais - LAMAT

Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE

Accredited by General Coordination of Accreditation - CGCRE

Relatório de Análise Metalográfica

Report of Metallographic Analysis

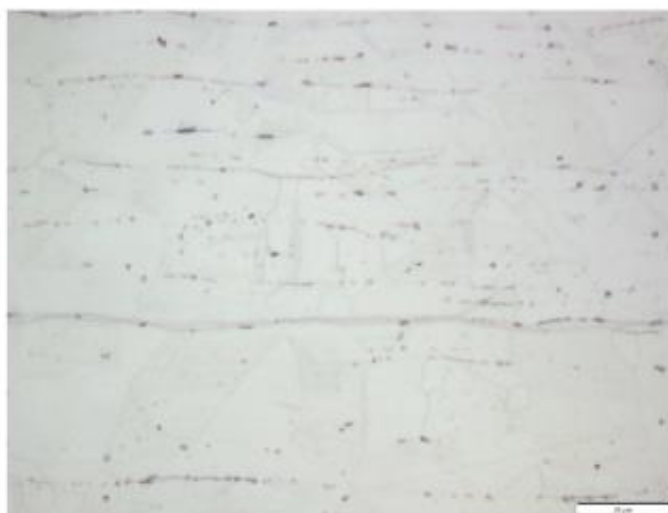
Relatório de Ensaio / Test Report N°:4896/2024



Austenita e ferrita.

Reativo: Ácido oxálico.

Ampliação: 200x



Detalhe da austenita e ferrita.

Reativo: Ácido oxálico.

Ampliação: 1000x

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi

Rua Lília Antunes, 99 - B. Nogueira Machado - CEP: 35680-270 - Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400

Página 3 de 3

ANEXO 02

Ensaio de Tração – Certificado nº 265375 da Universidade de Itaúna – Faculdade de Engenharia – Laboratório Metalográfico



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALOGRAFICO

CERTIFICADO Nº: 265375

INTERESSADO: EIMAR ANTONIO DE OLIVEIRA FILHO

MATERIAL: CHAPA DE AÇO SOLDADO - INOX

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 241265 **Tipo:** Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Dimensões (mm)	Área Seção (mm²)	Escoamento (MPa)	Resistência (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)
1	1	1,91 x 17,10	32,66	516	718,2	52,3	55,8

***Máquina Universal de Ensaios, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. . CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO Nº1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

Dados fornecidos pelo Cliente:

Amostra: I

Material: Aço Inox 304 L

Espessura: 1,91 mm

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Temperatura de Ensaio: 22°C Velocidade de ensaio: 10mm/min.

Gráfico do ensaio pagina seguinte: trb3351

Itaúna, 27 de Agosto de 2024

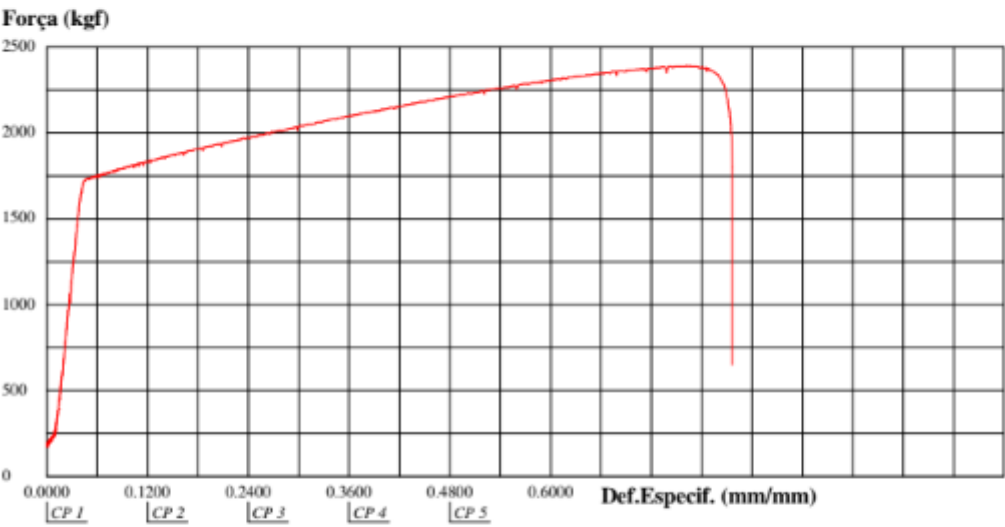

 Resp: Eng. Ewerton Augusto de Sousa Nogueira
 CREA-MG 47457/D

Fundação Universidade de Itaúna
FAEN - Laboratório Metalografico

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: - Data: **27/08/2024** Hora: **08:26:49** Trabalho n° **3351**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Labmetal2020**
Ident. Amostra: > Cliente: **Eimar Antonio de Oliveira Fill** Amostra :Material: **304L - Soldado** - Norma: **ASME IX Adaptada**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Força @Escoam. ES1 (kgf)	Força @Força Max. (kgf)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	1.91	1718	2391	41





Relatório de assinaturas



Ewerton Augusto de Sousa Nogueira

CPF: 512.505.946-34

Data: 27/08/2024 09:12

IP: 177.52.96.18

Responsável Técnico



Escaneie a imagem para verificar a autenticidade do documento ou utilize o link:

https://ged.uit.br/ecm_validador?hash=XRxV0TK8VAYY4QCLUK6S

Hash SHA-512 do PDF original

96aab9626d29670124535b70556c26643a5bbe4b1cef51292458d45e071463b7e6b35b5c07f0
11cbe9d20e130ba9ca2481ba518be41283126a86bc886e118813



Ensaio de Tração – Certificado nº 265376 da Universidade de Itaúna – Faculdade de Engenharia – Laboratório Metalográfico



UNIVERSIDADE DE ITAÚNA

FACULDADE DE ENGENHARIA - LABORATÓRIO METALGRÁFICO

CERTIFICADO Nº: 265376

INTERESSADO: EIMAR ANTONIO DE OLIVEIRA FILHO

MATERIAL: CHAPA DE AÇO SOLDADO - INOX

NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 241266 **Tipo:** Ensaio de Tração

ENSAIO DE TRAÇÃO

Item	C.P	Dimensões (mm)	Área Seção (mm ²)	Escoamento (MPa)	Resistência (MPa)	Along: 50mm (%)	Estricção (%)
1	2	1,91 x 19,11	36,50	378	709,0	37,8	60,5

***Máquina Universal de Ensaio, tipo hidráulica, marca EMIC. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. . CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO N°1246961 e 1246962, emitido pelo Laboratório Isaac Newton do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC - Acreditado pela RBC-CAL-0045.

***DOCUMENTO VALIDADO PELO RELATÓRIO DE ASSINATURAS ANEXADO.

Dados fornecidos pelo Cliente:

Amostra: II

Material: Aço Inox 304 L

Espessura: 1,91 x 5,00 mm

O presente resultado refere-se exclusivamente às amostras enviadas pelo Interessado.

Observações:

Temperatura de Ensaio: 22°C

Velocidade de ensaio: 10mm/min.

Gráfico do ensaio pagina seguinte: trb3352

Itaúna, 27 de Agosto de 2024

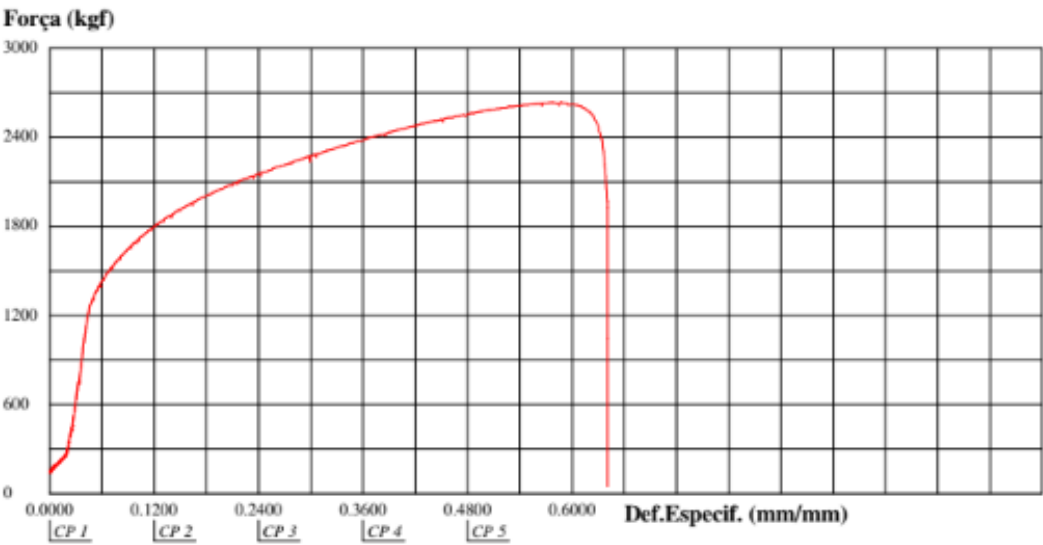

 Resp: Eng. Ewerton Augusto de Sousa Nogueira
 CREA-MG 47457/D

Fundação Universidade de Itaúna
FAEN - Laboratório Metalografico

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: - Data: **27/08/2024** Hora: **08:41:28** Trabalho n° **3352**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Labmetal2020**
Ident. Amostra: > Cliente: **Eimar Antonio de Oliveira Filho** Amostra: Material: **304L - Soldado** - Norma: **ASME IX Adaptada**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Força @Escoam. ES1 (kgf)	Força @Força Max. (kgf)	Deformação @Ruptura (mm)
CP 1	1.91	1407	2638	32





Relatório de assinaturas



Ewerton Augusto de Sousa Nogueira

CPF: 512.505.946-34

Data: 27/08/2024 09:11

IP: 177.52.96.18

Responsável Técnico



Escaneie a imagem para verificar a autenticidade do documento ou utilize o link:

https://ged.uit.br/ecm_validador?hash=MJKMIV95HHPP6IVIPHFI

Hash SHA-512 do PDF original

39c35f06ea678ef73673fe52719cf3528341f505307aabbfbdaa208f3edae2605c00223cf0529e69955f83131bfeaf213299c1d097fd76f4c4e41aa35ec8ada

