Anais do **Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO)** da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Luana Neves Quintanilha Joaquim

Fatec Cruzeiro – Prof. Waldomiro May (quintanilhaluana070@gmail.com)

Ingrid Meirelles Salvino Tomaszewski

Fatec Cruzeiro – Prof. Waldomiro May (ingrid.tomaszewski@fatec.sp.gov.br)

Resumo

Entre as 100 maiores criações humanas, estão as rodas, que se tornaram rodas ferroviárias, nascidas nos anos 1800, produto da revolução industrial, onde neste mesmo período nasceu a máquina a vapor, que visou trocar as rodas ferroviárias que utilizavam de tração animal por veículos engatados uns aos outros. Resultando assim na escolha da atemporal roda, e seu ensaio não destrutivo por ultrassom, mais especificamente nas rodas fundidas, na qual o ultrassom evidencia problemas como porosidades, inclusões, trincas de contração, falta de fusão, desta maneira, resultando na capacidade de correção preventiva destes problemas, dos quais, caso não fossem resolvidos, causariam falhas eminentes no transporte de cargas, resultando em acidentes. Desta maneira, tornaram-se um objetivo na escrita deste artigo a compreensão de teorias e poder vê-las em prática, entender detalhadamente a operação de um ultrassom e seu modo de funcionamento, adquirir conhecimento quanto a termos técnicos e os resultados provenientes do ultrassom. Ressaltou seu destaque em inspeções precisas, rápidas e de qualidade proveniente da alta tecnologia e técnica phased array, que trouxe como resultado a segurança do transporte ferroviário que alimentou a indústria do país, tornando-se o fator que garantiu a qualidade dos serviços das produtoras de rodas ferroviárias fundidas.

Palavras-chave: Ultrassom, Rodas Ferroviárias, Fundidas.

Abstract

Among the 100 greatest human creations are wheels, which became railway wheels, born in the 1800s, a product of the industrial revolution, where in the same period the steam engine was born, which aimed to replace railway wheels that used animal traction with vehicles coupled to each other. Resulting in the choice of the timeless wheel, and its non-destructive testing by ultrasound, more specifically in cast wheels, in which ultrasound highlights problems such as porosities, inclusions, shrinkage cracks, lack of fusion, thus resulting in the ability to preventively correct these problems, which, if not resolved, would cause imminent failures in cargo transportation, resulting in accidents. Thus, it became an objective in writing this article to understand theories and be able to see them in practice, to understand in detail the operation of an ultrasound and its mode of operation, to acquire knowledge about technical terms and the results from ultrasound. It highlighted its prominence in precise, fast, and quality inspections from high technology and phased array technique, which resulted in the safety of railway transportation that fed the country's industry, becoming the factor that guaranteed the quality of the services of cast railway wheel producers.

Keywords: Ultrasound, Railway Wheels, Cast.

1. INTRODUÇÃO

Neste estudo, avalia-se o ultrassom em rodas ferroviárias fundidas de uma empresa do vale do Paraíba, como uma alternativa que demonstra eficiência em todos os processos, oferecendo vantagens diferenciais, como a capacidade de inspecionar grandes volumes de maneira rápida e precisa, contribuindo com a garantia de rodas de altíssima qualidade, rapidez que gera demanda atendida, a segurança dos seres humanos e da carga, através de normas regulamentadoras que mantêm criteriosa qualidade, como a norma AARM-107/M, que informa qual especificação o material da roda precisa ter, em qual parte da peça o ultrassom precisa ser feito, como devem ser feitos os processos de fabricação, requisitos de inspeção, as tolerâncias que são permitidas e, por fim, a

marcação e identificação correta. Nas últimas décadas, com o impulso da Revolução Industrial, intensificou-se a necessidade do ser humano em adquirir bens e, com isso, houve a modificação necessária dos meios de transporte para se adequarem demanda de seus respectivos séculos, inserindo, desta maneira, a evolução do meio de transporte, que inclui o setor ferroviário, no qual está sempre presente no transporte de cargas excepcionalmente pesadas. Sendo assim, a modificação ocorreu como um todo, modificando desde a matéria-prima, produção mais tecnológica, até a adoção de métodos de inspeção avançados, como o ultrassom, nas famosas rodas ferroviárias. As rodas ferroviárias são rodas trilho que têm como principal função ter o perfil exato que se encaixa nos trilhos de uma ferrovia, para realizar o transporte dos vagões e guie o veículo. Cada tipo de roda tem seu determinado tempo de vida útil, nas quais as rodas da parte piloto do trem não têm o mesmo tempo das rodas dos vagões. Isso ocorre porque as rodas do piloto têm um desgaste, inúmeras vezes maior, por conta da tração inicial que inicia o movimento do veículo, se distinguindo totalmente das rodas dos vagões. Tanto as rodas dianteiras dos vagões quanto as do piloto, elas sempre são as recém-produzidas e, quando ocorre o desgaste em ambas as rodas, elas são trocadas de posição para serem reutilizadas como rodas dianteiras, mas jamais essas rodas se misturam, rodas de vagões pertencem somente ao vagão e vice-versa, isso é inflexível.

A questão base em que este artigo se mantém é: qual a eficácia do ultrassom em rodas ferroviárias fundidas? Para então responder à pergunta que sustenta a escrita deste artigo, o artigo se concentrará em rodas ferroviárias fundidas, utilizando as rodas fundidas como pesquisa e determinação de eficácia do ensaio não destrutivo por ultrassom e suas técnicas de utilização, no contexto contemporâneo, onde a segurança é o ponto principal da fabricação do produto, o ultrassom é o delimitador desta segurança eficaz. A eficácia que necessita ser atendida pelo ultrassom e a capacidade do método de identificar e entregar exatamente a localização da descontinuidade, seu tamanho e sua profundidade, sua função e nos mostrar exatamente o que não conseguimos ver a olho nu para ser possível analisar o defeito e realizar as devidas modificações possíveis e necessárias.

Diante disso, criaram o objetivo principal do artigo, evidenciar como ultrassom

trazia resultados eficazes, segurança no transporte e apresentar seu destaque em comparação com diferentes modelos e técnicas de utilização do mesmo, também se tornou imprescindível como objetivo deste artigo a apresentação teórica e prática do ultrassom, onde termos técnicos seriam abrangidos para a clara compreensão de seu modo de funcionamento por completo.

O ultrassom era o que sustentava a garantia de qualidade de uma empresa metalúrgica, ele tornou-se indispensável pela sua garantia de qualidade no meio ferroviário, pois era a indústria ferroviária que, desde os primórdios, era responsável pela logística da entrega seja de produtos ou de seres humanos, desta maneira, era uma indústria que necessitava de tecnologia de ponta, sendo essa tecnologia, o ultrassom.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O setor ferroviário é um dos mais antigos do mundo, e ainda sim, um dos que atende as demandas de grande porte das indústrias nos dias de hoje, mas isso só ocorre por uma série de fatores, sendo um dos principais deles, a qualidade, característica essa que gera segurança, eficácia e eficiência, sem qualidade, não há nada. Todos os processos de criação de uma roda ferroviária são rigidamente seguidos, através de normas como a AARM-107/M desde seus testes iniciais até os finais. Como citado anteriormente, há uma diferença entre aço fundido e ferro fundido, a diferença é De acordo com (ASKELAND e outros, 2019, p.338). “Os aços têm menos de 2,11%C, e os ferros fundidos possuem mais que esse teor”.

Resumindo, o aço tem menos carbono que o ferro fundido. Sabemos que o aço é a liga utilizada na fundição, um dos motivos é porque é maleável, podendo variar bastante atendendo à necessidade. E com isso podemos dar início para todas as características superficiais e internas que o aço, material utilizado para criação da roda, necessita ter e como ele e modificado para atender requisitos diversos. Começaremos falando sobre a propriedade:

Dureza:

> O ensaio de dureza Shore A avalia as propriedades de resistência à penetração sem perfurar o elastômero e a dureza está relacionado ao módulo elástico e comportamento viscoelástico do material. De acordo com ASTM D2240 (2015)

Teste de dureza é o quanto a amostra consegue resistir à deformação, utilizado como teste de qualidade das rodas ferroviárias fundidas, onde a peça feita, mas não finalizada, e selecionada para passar por esse teste, que consiste em realizar uma força sobre a peça e assim obter dados de quanta dureza a peça resiste, de acordo com a marca deixada na peça após o teste, deve-se ressaltar que a dureza pode ser variável com a necessidade do cliente e do ramo ferroviário que a roda será utilizada, sendo assim, a dureza da roda é adaptável por escolha do cliente.

A seguir, a figura 1 que mostra um teste de dureza:

Figura 1 – Teste de Dureza

Fonte: FREEPIK AUT (2024, p.1)

Ductilidade:

De acordo com (ESTEVES, 2017, P.4). “A ductilidade representa uma medida do grau de deformação plástica que o Material suporta antes de ocorrer a fratura”.

Característica essencial que é necessário a peça ter, todo o processo de

tratamento térmico tem o objetivo de para manter a peça com alta dureza e com boa ductilidade, sendo a maneira ideal que a peça esteja, para ser capaz de executar sua função com qualidade e segurança, pois uma peça somente com alta dureza não significa que é resistente, significa que a peça é frágil, sendo assim, a ductilidade uma necessidade para a peça ser eficiente.

Condutividade Térmica:

De acordo com (SANTOS, 2022, p.1). "A condutividade térmica é uma propriedade intrínseca do material e fornece a sua capacidade de conduzir".

A condutividade térmica é a capacidade de um material de transferir o calor, essa condutividade é utilizada em empresas para realizar o derretimento de grandes quantidades de aço, para que ele após o derretimento através da condução térmica realize-se o molde da peça que esteja em processo de fabricação. Neste estudo, na empresa metalúrgica analisada, o eletrodo que se torna responsável de realizar a condutividade térmica do forno elétrico para o aço.

Fusão e Solidificação:

> Pois a transformação da fase líquida para fase sólida ocorrida durante o processo de solidificação irá gerar microestruturas, no qual determinam as propriedades mecânicas dos materiais. (MELO, 2022, p.1)

Quando falamos em solidificação em uma empresa metalúrgica, estamos falando do processo que foi citado na introdução, o processo em que o eletrodo por conta do arco elétrico derrete a sucata e deixa ela líquida, porém o enfoque agora se mantém na etapa seguinte da de quando a sucata tomou forma, momento que a solidificação acontece, que nada mais é que o aço líquido se moldando no molde, ficando solidificado. Diante deste fenômeno, a solidificação, acontece outro evento do aço se comprimir e acabar ocupando menos espaço, com isso, ficando lugares sem preenchimento do aço, mas para a peça não ficar com um pedaço faltando, existem os massalotes, sendo canos revestidos de areia, canos esses que estão preenchidos de aço derretido, para que ele preencha esse espaço vazio que ficou por conta da solidificação do aço.

Tratamento Térmico:

> Aplicam-se esses procedimentos para controlar as microestruturas dos materiais, assim como a sua morfologia e tamanho de grão.
>
> (Fontes, et al., 2015; Rocha et al., 2015)

Pode-se pensar no tratamento térmico como a oportunidade de mudar a microestrutura do aço, permitindo que ele se adeque ou que ele possa ser modificado para ficar da maneira requisitada, utilizando se apenas da mudança de temperatura para alcançar tais necessidades, onde cada tipo de tratamento térmico responde de maneira mais eficaz dependendo do material de teste utilizado, sendo assim, não há tratamento térmico melhor ou pior, apenas tratamento que atende melhor a necessidade do material.

Normalização:

> A Normalização normalmente é recomendada para casos onde se necessita melhore Condições de usinabilidade e é indicada para aços que possuem teores de carbono, em peso, superiores a 0,20% na sua composição, abaixo disso não é possível identificar vantagens na sua aplicação. (GEHRKE, 2019.)

Tratamento térmico utilizado nas rodas que são usadas de base para esse artigo, o tratamento térmico de normalização consiste em aquecer a peça a uma temperatura crítica para que assim os grãos fiquem mais juntos, organizados e menos rígido, diferentemente da peça original, sendo assim, as empresas tendem a escolher esse tratamento, pois podem mudar a peça sem envolver adição de liga superficialmente, onde apenas controlando o tempo que a peça fica a uma determinada temperatura e seu método de resfriamento, já ocorre modificações extremamente necessárias nas peças.

Têmpera:

> É um tratamento térmico que tem o intuito de elevar a dureza do aço, por meio do aquecimento do metal até a austenitização e o posterior resfriamento rápido, formando uma microestrutura predominantemente martensítica. (MANHAES, William Sfalsin et al, 2022. p.1)

A têmpera consiste em ser uma das etapas do tratamento térmico, a tempera ocorre após a normalização da peça e sua função é potencializar a dureza da peça, para ser equilibrada com a ductilidade que o revenimento fará a peça ter. Para peças que são realizadas o tratamento termoquímico de cementação, não há necessidade de têmpera, pois a cementação permite a dureza ser tão intensa ao ponto de poder ir direto para o revenimento, sem a necessidade de realizar a potencialização da dureza do material através da têmpera.

Revenimento:

> O Revenimento é um tratamento térmico utilizado para conferir aos materiais Temperados (com microestrutura martensítica) um aumento de ductilidade, ajuste de Dureza e redução da fragilidade, (DIAS, Leonardo Viana et al. 2018 p,1)

Tem como objetivo dar a peça a ductilidade necessária para ser funcional, pois uma peça ser extremamente rica em dureza sem ductilidade a torna frágil, não sendo capaz de ser utilizada para o transporte de carga, logo, o revenimento entra com a capacidade de permitir a peça ser dúctil e poder ser utilizada em sua função de transporte ferroviário.

Tratamentos Termoquímicos:

> Os tratamentos termoquímicos dos metais se enquadram em uma classe de Tratamentos térmicos especiais que têm como objetivo principal promover o Endurecimento superficial de componentes metálicos mantendo a tenacidade do Núcleo da peça. (ALVIM, Marta Barbosa et al 2017 p.1)

Tratamento semelhante ao térmico, mas que se diferencia no quesito de utilização de meios diferentes para obter a mudança da peça, como o tratamento térmico utiliza apenas a temperatura para modificar a microestrutura da peça, enquanto o tratamento termoquímico utiliza além da temperatura, utiliza a adição de ligas, dois elementos químicos juntos, para mudar a estrutura superficial da peça, mais especificadamente, a parte que entrará em contato direto com o trilho. Diante da

apresentação dos tipos de tratamentos termoquímicos, há necessidade de ressaltar que neste artigo somente o processo de tratamento térmico é feito nas rodas ferroviárias fundidas.

Cementação:

> A cementação sólida é um tratamento termoquímico que possibilita o aumento da dureza nas superfícies dos metais, por meio da difusão de carbono da atmosfera de um forno para a superfície do metal. (MANHÃES, William Sfalsin et al 2022. P.1)

Método de tratamento termoquímico, que consiste em adicionar carbono a peça com o objetivo de aumentar a sua dureza, essa inserção do carbono pode ser liquida, gasosa e solida. Tem como objetivo mudar a estrutura superficial da peça. O tratamento termoquímico por cementação aumenta tanto a dureza da peça, colocando-a na fase martensita, fase extremamente dura, tão dura ao ponto de não precisar da têmpera para realizar a potencialização da dureza, mas extremamente dura ao ponto de ser frágil, mantendo a necessidade do revenimento para tornar a peça dúctil.

Ensaios Não Destrutivos:

> Os ensaios não destrutivos são técnicas utilizadas para avaliar a integridade de uma solda sem danificá-la. Esses ensaios são importantes para garantir a qualidade e segurança de uma estrutura soldada. Existem diferentes tipos de ensaios não destrutivos que podem ser aplicados. (VIEIRA 2023, p.39).

São ensaios utilizados para analisar a microestrutura da amostra, sem danífica la, para poder entender como ela reage a danos e qual sua resistência, muito utilizado por conta do baixo custo, e como dito em seu nome, não danifica o que é testado. Alguns dos tipos de ensaios não destrutivos são: radiografia, ultrassom, termografia, partículas magnéticas, estanqueidade. Pode se utilizar um ultrassom, por exemplo, e ter as partículas magnéticas como técnica de utilização da inspeção por ultrassom.

Ultrassom:

> O ensaio por ultrassom é uma técnica de certificação não destrutiva amplamente utilizada em soldas para detectar defeitos internos, como inclusões, trincas, porosidades, falta

> de fusão e descontinuidades que podem comprometer a integridade de uma junta soldada. Durante o ensaio por ultrassom, as ondas sonoras de alta frequência, que penetram no material, são transmitidas pelo transdutor. Quando essas ondas encontram uma descontinuidade, parte delas é refletida de volta para o transdutor, que converte o sinal em uma imagem visual ou em um registro sonoro. (VIEIRA ,2023, p.39).

O ultrassom é um método de ensaio não destrutivo, que pode ser automatizado ou manual, onde nem um, nem outro é menos eficaz, eles apenas atendem seu método de produção, como, por exemplo, caso você tenha uma produção padrão e que não mude, o automatizado seria ideal para você, mas caso você produza com diversidade, o ultrassom manual te atenderia de uma maneira melhor. No ultrassom automático a roda que é inspecionada pode estar pendurada e ser rodada lentamente sobre um pouco de água, isso nos mostra que a água através das ondas melhora o recebimento das ondas sonoras, essas que aparecem no scanner e são chamadas de amplitude, que nos mostra qual é o seu tamanho e quão fundo está a descontinuidade. As normas têm como objetivo garantir a segurança, mas o que é pouco dito em estudos sobre processos de ultrassom, é que há normas para selecionarem os inspetores que cuidarão do ultrassom, em que eles devem ser nível 3 para garantirem qualificação para estar lá e capacidade de ensinar também. Para acentuar uma questão extra, caso uma roda guia fosse encontrada com algum problema ela pode ser consertada com solda, mas isso só pode ocorrer se o problema estiver nas laterais da roda guia, caso esteja na parte interna da roda guia, não é permitido consertar. Enquanto isso, na roda ferroviária nem sequer é permitido mudar, pois, normas regulamentadoras não permitem. É estimado que cerca de 250 rodas ferroviárias passam por vistoria por conta da agilidade do ultrassom, essa quantidade refere-se a um dia.

Defeitos Captados Pelo Ultrassom:

O ultrassom é capaz de ver como está dentro da peça sem precisar realizar uma ruptura, por isso se enquadra como ensaio não destrutivo.

Os defeitos que aparecem em uma peça podem ser chamados de descontinuidade

ou indicação, geralmente essas indicações ocorrem no processo de fabricação, como por exemplo, porosidade, escória, inclusões, dobras de laminação e micro trincas em materiais laminados.

Técnica Phased Array:

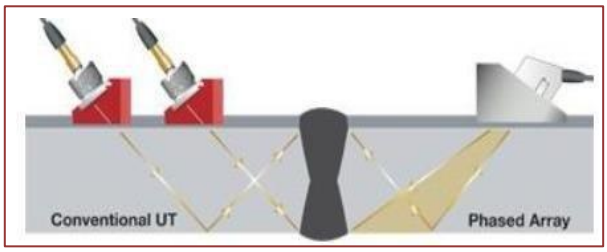
Classificação em tabela sobre os transdutores ultrassônicos a seguir:

Tabela 1 - Classificação dos transdutores.

Função	Tipo de Incidência	Número de cristais	Tipo de Contato
Emissor	Normal	Monocristal	Direto
Receptor	Angular	Policristal *(Phased Array)*	Imersão
Emissor receptor	-	-	-

Fonte: ABATI (2015)

Figura 2 - Diferença entre transdutores monocristais e Phased Array.



Fonte: ABATI (2015)

"Devido às particularidades dos transdutores phased-array, é possível numa única varredura deste, inspecionar o material com vários ângulos de refração diferentes de uma só vez, já que a mudança do ângulo é feita eletronicamente. Isso significa uma maior velocidade de inspeção, principalmente em soldas, onde no mínimo é recomendado dois ângulos diferentes." (ANDREUCCI, 2018, p.25) "As vantagens principais dos transdutores Phased Array são:

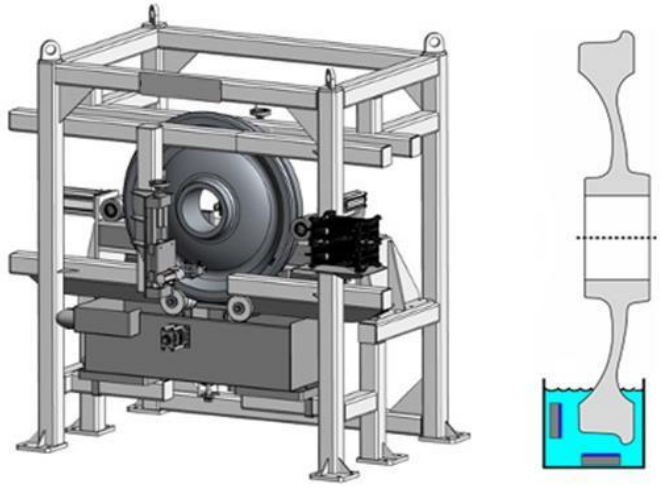
- Variedade de pontos focais para um mesmo transdutor
- Variedade de ângulos de incidência para um mesmo transdutor
- Varredura do material de forma eletrônica do feixe sônico
- Variedade dos modos de inspeção
- Maior flexibilidade para inspeção de juntas complexas". (ANDREUCCI, 2018, p.25)

"Para garantir a integridade das rodas ferroviárias, a mesma também deve ser inspecionada pelo método não destrutivo de ultrassom, pois eventualmente durante o processo de fabricação pode ocorrer o aparecimento de descontinuidades. Tendo em vista

> que esses danos podem ser de grande impacto, ou seja, acidentes fatais, ambientais, recalls, entre outros. Este trabalho técnico mostra a importância do ensaio de ultrassom para controlar a qualidade dos materiais, constatar o atendimento de normas e especificações aplicáveis, prevenir acidentes, reduzir custos, preservar a vida e o meio ambiente". (GUIMARÃES, 2021, p.52)

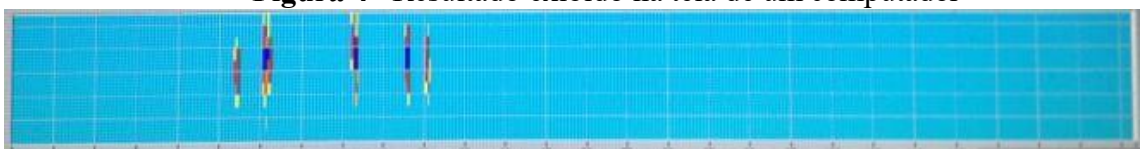
A seguir uma figura 8 que é uma figura ilustrativa de um ultrassom automatizado utilizado em empresas metalúrgicas e a figura 9 que é uma figura representativa dos resultados mostrados do ultrassom em um computador:

Figura 3 – Máquina automática Ultrassom



Fonte: François Vicat (2020)

Figura 4– Resultado exibido na tela de um computador



Fonte: De autoria própria

Ambas as figuras são representações de como o ultrassom é utilizado em uma empresa metalúrgica, utilizando-se do método automatizado pois atende a alta demanda, qualidade de maneira rápida e eficaz, e eficiência.

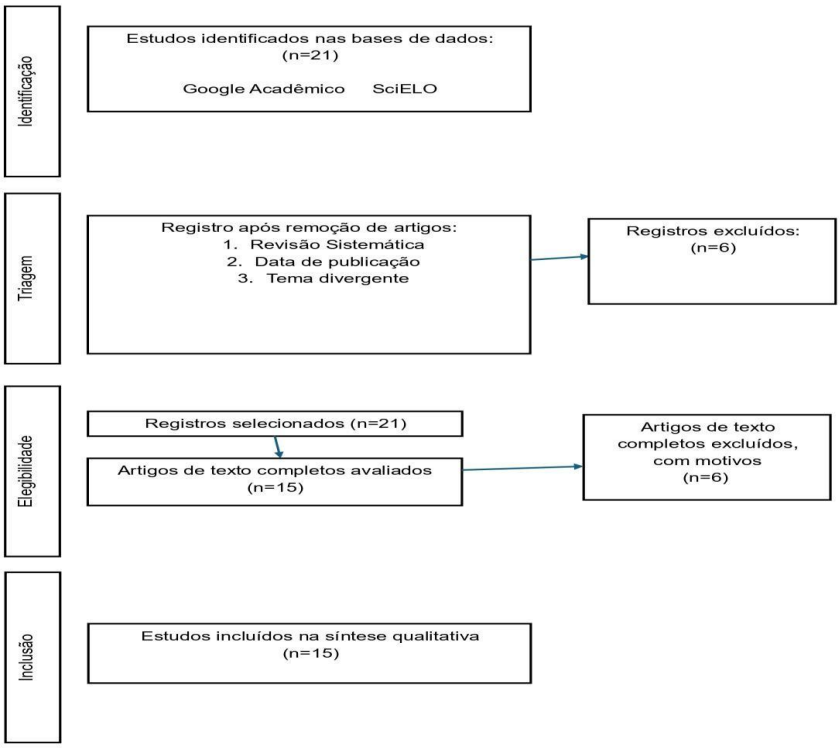
3. MÉTODO

No artigo presente, foi realizado o método descritivo e qualitativo de pesquisa, que consiste no caráter subjetivo, utilizando se de experiência individual do autor e de narrativas sobre o determinado tema de outros pesquisadores. Para se enquadrar como pesquisa qualitativa, foram realizadas duas visitas técnicas, nas quais permitiram acompanhar o processo de funcionamento do ultrassom ao vivo e a fundição em operação, nas duas visitas estava acompanhada de um especialista. No tópico funcionamento do ultrassom, a origem é primária, pois as informações foram coletadas na visita técnica realizada ao lado de um engenheiro responsável pelo cuidado da máquina, onde o foi visitada à sala reservada para o ultrassom, ultrassom esse totalmente automatizado, por conta da alta demanda e a necessidade da alta qualidade, este processo inicia-se com a seleção de rodas em estágio final onde serão analisadas pelo ultrassom automatizado, pois o método é o último a ser realizado, desta maneira, todas as rodas para chegarem no ultrassom estão parcialmente completas. A análise da detecção de dados do ultrassom foi acompanhada de um especialista, no qual analisamos o resultado fornecido através do ultrassom na roda ferroviária, durante a análise visualizamos haver defeitos na peça, foi observado o eco que a descontinuidade tinha na peça e em como estava profundo seu defeito, de acordo com o especialista, que mostrou como as amplitudes que foram fornecidas também foram por conta da inspeção de ultrassom realizado pela máquina automatizada. Desta maneira, através da visualização em tempo real do processo de inspeção, buscou se descrever de maneira assertiva a qualidade e segurança do ultrassom como método de qualidade. O ultrassom consiste na última etapa de produção e análise de qualidade da peça, onde ele tem como objetivo analisar a microestrutura da peça para detectar defeitos que estejam presentes, defeitos esses que normas regulamentadoras diz se estão no conforme ou não, sendo uma dessas normas a norma NBR11727 DE 01/1992, que nos diz quais as dimensões necessárias, especifica quais materiais devem ser utilizados para a produção da roda, quais propriedades mecânicas devem ter e por fim, estabelece os ensaios necessários e quais técnicas devem ser utilizadas para realizar o mesmo. A partir do momento que a peça já esteja pronta para a análise, ocorre a inspeção,

que leva cerca de 2,5 minutos, tempo rápido para uma demanda alta, segundos após a inspeção já e entregue os gráficos que informam como a peça está internamente, que em base da norma regulamentadora NBR16845 DE 06/2020, norma essa que inspeciona a qualidade de rodas ferroviárias fundidas e avalia sua integridade, aplicada especificamente na inspeção ultrassônica de trilhos Vignole, incluindo a avaliação da integridade das rodas ferroviárias fundidas. Seguindo com o processo, as técnicas utilizadas através do ultrassom são as técnicas de partícula magnética, phased array e dureza, onde o procedimento da partícula magnética se baseia em analisar descontinuidades em superfícies e subsuperfícies da peça, enquanto a técnica phased array se baseia em utilizar, as amplitudes que aparecem na tela quando realizada a inspeção e analisar de determinada maneira para obter o resultado sobre o que ocorre quando a peça está fora dos conformes e, desta maneira, mostrando ao vivo o quanto o equipamento é eficaz, e pôr fim a dureza aplica uma pressão sobre a amostra e se coleta o resultado através da marca deixada na peça, caso a peça apresente bons resultados destes 3 testes finais, a roda está apta para ser uma peça com qualidade e pode ser comercializada. Na outra visita que teve como enfoque como a produção funcionava, primeiro foi realizada uma reunião que mostrava e explicava em slides os processos que acompanhávamos, reunião essa também feita e explicada por um engenheiro, onde forneceram mais informações primárias, informações essas sendo descritas no item introdução. Quanto às demais informações, foram de origem secundária, onde foram escolhidos artigos e livros que foram selecionados com base em filtros que se encaixassem no quesito rodas ferroviárias fundidas.

A seguir a figura 5, fluxograma do artigo:

Figura 5 – Fluxograma



Fonte: Autoria Própria

Este artigo foi escrito por dois principais motivos: afinidade pela matéria de materiais e tratamento, onde foi apresentado os métodos de inspeção metalúrgica e houve interesse particular da autora pelo assunto, e o segundo motivo foi a oportunidade de utilização, na prática, os conhecimentos adquiridos no ambiente de trabalho, especificamente a área de engenharia e qualidade de rodas, motivo esse também pelo qual foi escolhido o ultrassom e não o Raio X, pois a empresa selecionada utiliza-o, desta maneira surgiu a oportunidade de recolher informações úteis e que de fato acontecem dentro de uma empresa, podendo garantir a veracidade, entender a teoria que foi apresentada em sala de aula, entender a prática que acontecem no dia a dia, se a roda está apta para ser uma peça com qualidade e se pode ser comercializada por fim escrever os ensinamentos que foram adquiridos neste artigo.

4. RESULTADOS

O resultado geral esperado desse trabalho é o compartilhamento de conhecimento válido para os que procuram entender, encontrar informações que possam ser úteis, ampliar a visibilidade sobre o transporte ferroviário e, por fim, espera-se que este artigo proporcione familiaridade para os que leem sobre o tema e entenderem de maneira clara e objetiva o artigo.

O resultado esperado específico é a descrição detalhada do processo de ultrassom em uma empresa metalúrgica, o acesso a máquinas e visualização de gráficos que inspecionaram as descontinuidades contidas nas rodas fundidas, entender a variedade de defeitos que podem haver nas rodas, analisar como o ensaio não destrutivo contribui para a segurança e detecção de erros de maneira precisa e assertivas, experiências de contato direto com a fundição, ter reuniões para discutir sobre o tema com trabalhadores da área, visualizar previamente onde o defeito da peça possa ter ocorrido, aplicar na prática a teoria passada em sala de aula e adquirir conhecimento prático.

Este artigo busca atingir seus objetivos através de experiências de visitas realizadas pessoalmente em uma empresa metalúrgica, obtendo detalhes da fundição e da produção como um todo, informações essas que serão utilizadas para a composição deste artigo, incluindo informações coletadas de estudos escritos por outros pesquisadores da área de engenharia de materiais, para que além de detalhes de autoria própria o artigo seja capaz de solucionar questionamentos aos que buscam compreender sobre o tema, para que a contínua exploração e desenvolvimento desse campo de estudo tão fundamental seja estimulada com o objetivo de realizar ainda mais descobertas para evoluir o mercado ferroviário e para estimular o interesse dos novos sobre o campo de estudo da engenharia metalúrgica.

5. DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através das visitas realizadas foram de mais de 300 rodas analisadas durante um único dia. Isso ocorreu devido à rapidez e à inspeção segura através

do ultrassom. Mas quem se tornou responsável por resultados tão avançados foi a técnica *phased array*, devidamente acompanhada dos equipamentos.

Através dos diversos cristais espalhados pelos transdutores, tornou-se possível esse desempenho avançado, pois, quando o ultrassom de somente um único transdutor foi comparado com o *phased array*, evidenciou-se o destaque e a alta capacidade de realizar muitas inspeções, com altíssima qualidade e com garantia de segurança do produto.

Contudo, através da escrita do artigo, foi possível destacar pontos de melhoria quanto à própria base de pesquisa, como, por exemplo, como o ultrassom *phased array* respondeu a materiais ou produtos relativamente diversos, como uma roda ferroviária forjada. Desta maneira, puderam comparar o método de ensaio não destrutivo ultrassom com modelos variados, obtendo uma variável de resultado encontrado, podendo, assim, expandir a compreensão e saber identificar onde e quando se tornou melhor a utilização do ultrassom.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto artigo, obteve-se as considerações finais deste trabalho, retomando a questão central da pesquisa: A averiguação da eficiência e eficácia do ultrassom em rodas ferroviárias fundidas. Chegou-se à confirmação de que o ultrassom é, inegavelmente, uma das melhores opções para rodas fundidas e forjadas, igualmente benéfico para ambas. Essa conclusão foi alcançada por meio da metodologia utilizada, que consistiu em pesquisas em artigos e visitas técnicas, ambas fontes de informações cruciais para o completo entendimento do modo de produção e de como ele é realizado no dia a dia. Os resultados alcançados foram o aprendizado prático, o entendimento teórico e a resolução de dúvidas que os próprios engenheiros sanaram em relação ao mundo da metalurgia. Teve-se a oportunidade de observar a fundição funcionando em tempo real, com direito a explicação com slides, seguida da observação do processo em horário de trabalho. Além disso, pôde-se acompanhar em tempo real a análise completa de uma roda sendo inspecionada por um ultrassom automático, com outro engenheiro explicando as técnicas utilizadas e sanando dúvidas. Compreendeu-se que a roda é atemporal e seu processo é extremamente tecnológico e rigoroso. Contudo, é de extrema

necessidade apontar-se para o fato de que a indústria ferroviária precisa ser mostrada de fato ao mundo. Falta explicação para quem não a conhece, pois, ela é a prática exata dos ensinamentos que temos em sala de aula. Sendo assim, a indústria precisa ser vista para que desperte o interesse, assim como ocorreu no processo de escrita deste artigo. Concluiu-se que este artigo teve como resultados experiências teóricas, práticas, visitas técnicas, perguntas e respostas diretamente com engenheiros qualificados e, por fim, mas não menos importante, a constatação de que o ultrassom é simplesmente tecnológico ao extremo, garantindo qualidade total e segurança no meio ferroviário.

7. REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, Ricardo. Ensaio Por Ultrassom: Ed./Jun. **Abendi,** 2018. Disponível em: https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostila_us_2018.pdf. Acesso em: 08 abr. 2025.

ASKELAND, Donald R; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e Engenharia dos Materias**. 4. ed. São Paulo: Cengace Learning, 2019.

CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 6ª Edição São Paulo, SP: ABM, 1988.DE FARIA, Geraldo Lúcio *et al*. ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DO TRATAMENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTAÇÃO SÓLIDA DE AÇO BAIXO CARBONO REALIZADO COM CARVÃO VEGETAL E COQUE DE BAIXA QUALIDADE- METALURGICA. **ResearchGate,** 2017.Disponível em:https://www.researchgate.net/profile/Geraldo-Faria- 3/publication/320726039_pdf. Acesso em: 04 maio 2025.

DIAS, Leonardo *et al*. Efeitos da Temperatura de Revenimento na Dureza e Resistência do Aço AISI 5160. **ResearchGate,** 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Dias-8/publication/329262808_EFEITOS_DA_TEMPERATURA_DE_REVENIMENTO_NA_D UREZA_E_RESISTENCIA_DO_ACO_AISI_5160/links/5f731cdf299bf1b53efcc7e7/EFEIT OS-DA-TEMPERATURA-DE-REVENIMENTO-NA-DUREZA-E-RESISTENCIA-DO-ACO-AISI-5160.pdf. Acesso em: 04 maio 2025.

GEHRKE, Irajá *et al*. ESTUDO DO EFEITO DA NORMALIZAÇÃO NO FRESAMENTO DE SUPERFÍCIES CORTADAS A PLASMA EM AÇO ABNT 1045. **INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU,** 2019. Disponível

em:https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1253/Iraj%C3%A1%20Gehrke_T CCFAB_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 maio 2025.

GUIMARÃES, Osvaldo Sena. Engenharia no Século XXI: 1ª Edição. **Editora Poisson**, 2021. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/93094419/978-65-5866-147-4.cap- libre.pdf?1666803664=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAnalise_anual_das_componentes_direta_dif.pdf &Expi res=1744032024&Signature. Acesso em: 07 abr. 2025.

LACERDA BARBOSA LADEIA, João Paulo. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FKM, FVMQ E PU NA FABRICAÇÃO DE PROTETORES DE RESPINGOS COMO ALTERNATIVA AOS COMERCIALMENTE DISPONÍVEIS NO MERCADO. **CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS,** 2019. Disponível em:https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2019/12/TCCII_Vers%C3%A3o-Final_JO%C3%83O-PAULO- LB-LADEIA.pdf. Acesso em: 04 maio 2025.

MANHÃES, William Sfalsin *et al*. Aracterização metalográfica e mecânica do aço ABNT/SAE 1020 submetido ao tratamento termoquímico de cementação e ao tratamento térmico de têmpera. **SciElo Brasil,** 2022. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rmat/a/wNMnFXd3DtqNSgLcNc7HVcf/?format=html&lang=pt. Acesso em: 04 maio 2025.

MARTINS ESTEVES, Luciana. Levantamento da Curva-R de um Aço de Alta Ductilidade de Geometria SE(B) com Base no Método Compliance.. **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro,** 2017. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc- rio.br/33187/33187.PDF. Acesso em: 04 maio 2025.

MARQUES, Vanessa Dummer. Apostila – Processos De Fabricação Mecânica. **Ministério Da Educação Universidade Federal De Pelotas Centro De Engenharias**, 2022. Disponível em:https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/93351616/APOSTILA_Processos_de_fabricacao_ mecanica-libre.pdf?1667188616=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAPOSTILA_Processos_de_fabricacao_mecanic.

Acesso em: 04 abr. 2025.

MELO, Ever Grisol De *et al*. Modelagem e simulação via modelo do campo de fase aplicado a problemas de solidificação para metal puro (NI) e ligas binárias (Fe-C) com foco no espaçamento dendrítico secundário de ligas. **Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações,** 2022. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFF- 2_60102595c6cc14568895d8423f26289f. Acesso em: 04 maio 2025.

SANTOS, André Ferreira *et al*. ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE METAIS. **UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA,** 2022.

Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/745f9e00-6e6f- 46aa-864b-54e91b29cbd5/content. Acesso em: 04 maio 2025.

VIEIRA, Marcos Roberto Martins. Análise De Trincas Em Juntas Soldadas De Hastes De Perfuração De Poços Artesianos. **Instituto Federal De Santa Catarina**, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2902/Marcos_Roberto_Martins_V ieira%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 abr. 2025.

SILVEIRA, Franco Da *et al*. Tratamento Térmico de Têmpera em Aço ABNT 8640: análise das Propriedades Mecânicas. **ResearchGate,** 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Franco-Silveira/publication/326265034_Tratamento_Termico_de_Tempera_em_Aco_ABNT_8640_
analise_das_Propriedades_Mecanicas/links/5b4309f7458515f71cb53e65/Tratamento-Termico-de-Tempera-em-Aco-ABNT-8640-analise-das-Propriedades-Mecanicas.pdf. Acesso em: 04 maio 2025.