



PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA PARA ENSAIOS JOMINY UTILIZANDO ARDUINO MEGA E TERMOPARES TIPO K

RAMON OLIVEIRA BORGES DOS SANTOS - ramonobs98@gmail.com

RENANN PEREIRA GAMA - renann.gama@hotmail.com

RESUMO

As exigências mundiais por melhores produtos e melhores sistemas de manufatura contribui para uma crescente competição entre empresas, sendo o processo de ensaio Jominy amplamente utilizado em diversos materiais ferrosos para padronizar e avaliar sua temperabilidade. A região do Vale do Paraíba é destacada por grandes empresas, muitas delas multinacionais, internacionais e nacionais, sendo empresas ligadas a diversos setores como automotivo, aeronáutico, aeroespacial, usinagem, metalúrgico, naval, automação enfim diversos setores de atuação industrial. Este trabalho visa contribuir com estudo sobre um sistema de aquisição de dados de temperatura, visando automatizar e instrumentar o ensaio Jominy utilizando uma eletrônica embarcada acessível. Mais especificamente foi utilizado um microcontrolador arduino Mega e sensores termopares do tipo K embutidos na máquina de ensaio Jominy. Foi possível observar nos resultados obtidos que o sistema é eficiente, simples e funcional, foi possível obter os dados de temperatura °C de maneira plausível, os dados obtidos foram lançados automaticamente no excel pelo software PLX DAQ, a função dessa ferramenta foi unir eletrônica embarcada ao um software de manipulação e salvamento dos dados, nesse caso foi utilizado o excel. A programação utilizada no arduino será disponibilizada gratuitamente, a todos da comunidade que se interessarem no projeto, para ter acesso a programação, logo esse projeto tem um conceito de open source. O artigo visa contribuir de maneira significativa com estudos desenvolvidos em sistemas de aquisição de dados, aprofundando conhecimentos para aquisição dados em diversos processos industriais para produção de peças e equipamentos mecânicos e como consequência trazer um processo mais sustentável, rápido, qualitativo, controlado e robusto ocasionando melhoras significativas na cadeia produtiva.

Palavras-chave: Ensaio Jominy. PLX DAQ. Tempera. Sistema Aquisição de Dados.

ABSTRACT

The increasing global demand for higher-quality products and more efficient manufacturing systems has intensified competition among industries. In this context, the Jominy test is widely used for evaluating and standardizing the hardenability of ferrous materials. The Vale do Paraíba region stands out as an important industrial hub, hosting national and multinational companies operating in sectors such as automotive, aerospace, metallurgy, machining, naval engineering, and industrial automation. This study aims to contribute to the development of a temperature data acquisition system designed to automate and instrument the Jominy test through the use of accessible embedded electronics. The proposed system employs an Arduino Mega microcontroller and K-type thermocouple sensors integrated into the Jominy testing machine. The results demonstrated that the system is efficient, simple, and functional, allowing reliable acquisition of temperature data in degrees Celsius. The collected data were automatically transferred to Microsoft Excel through the PLX-DAQ software, which enabled data logging, storage, and processing in real time. In addition, the Arduino programming code will be made freely available to the technical and academic community, following an open-source approach. The proposed system contributes to studies involving industrial data acquisition and process monitoring, providing a low-cost alternative for temperature measurement and control in manufacturing environments. Consequently, the developed solution has the potential to support more sustainable, efficient, robust, and controlled industrial processes, contributing to improvements in production chains and manufacturing quality.

Keywords: Jominy Test; PLX-DAQ; Heat Treatment; Data Acquisition System; Arduino Mega; K-Type Thermocouple.

1. INTRODUÇÃO

As utilizações dos metais sempre foram constantes na vida do homem, desde a pré-história. Os primeiros registros foram a utilização de bronze e cobre, na produção de utensílios de combate e ferramentas para caça, necessitando de utensílios resistentes em combate e produção de instrumentos rígidos para utilização cotidiana da época.

Após a idade do ferro por volta de 1200 a.c, muitos estudos foram desenvolvidos, até a descoberta do aço, após a aplicação de carbono no ferro, notaram-se que o material resultante dessa liga binária, apresentavam características mecânicas diferentes do ferro convencional. E podiam ser aplicados em diversos seguimentos daquela época. Onde futuramente foi descoberto com os avanços na área de tratamentos térmicos o ensaio de tempera, onde visa garantir uma maior dureza no material ferroso a ser submetido a esse tratamento térmico.

A produção do ferro e aço sempre foram tecnologias muito bem conhecidas do homem contemporâneo. Pelas necessidades da época a liga binária proveniente do ferro e carbono conhecido como aço se sobressaiu nesse cenário. Através de muitos estudos desenvolvidos sobre aço, as características mecânicas desse metal ficaram muito bem fixadas e estabelecidas nos conhecimentos da engenharia mundial.

O aço é encontrado em diversas áreas de aplicações, tais como: meios de transportes, estruturas, casas, prédios, ferramental agrícola, equipamentos tecnológicos, tubulações e máquinas em geral. Com várias aplicações, se torna impossível visualizar um mundo sem o aço, visto que somos tão dependentes desse material que tornou possível muitas das evoluções tecnológicas no decorrer dos anos. (CUNHA, 2017)

Em meio ao surgimento de tantas tecnologias e a um crescimento desenfreado das necessidades industriais e comerciais, soluções são constantemente desenvolvidas e aplicadas nos mais diversos ramos de negócios a fim de proporcionar um aumento nos índices de venda e produção. (RANDI & BALDO, 2019)

Nesse quesito de demanda, é necessário aplicar e melhorias no processo fabril. Como exemplo, temos a máquina de ensaio Jominy, que visa garantir um determinado padrão ao processo de tratamento térmico de tempera, garantindo assim uma dureza mais específica e controlada ao

material que foi submetido ao ensaio. Na engenharia, é necessário que cada vez mais os processos sejam controlados e padronizados, sendo possível atingir metas de requisitos mundiais, onde a empresa pode adquirir confiabilidade e excelência em seus processos industriais.

O aumento dos requisitos mundiais para produtos aprimorados, associado à crescente concorrência entre empresas no mercado global faz os mesmos processos de busca que garantem custos mais baixos aliados para alta produtividade e produtos de alta qualidade para setores industriais. (GAMA & RIBEIRO, 2015)

A empresa ao atingir determinados padrões mundiais de qualidade, poderá exportar seus produtos para outros países, garantindo um lucro maior, aumentando seu capital e ganhando mais influência no mercado onde atua. Para que isso ocorra, é necessário investimento em tecnologia, principalmente de aquisição de dados e automação, onde os responsáveis pelo processo industrial devem compreender a fundo o processo de fabricação a qual estão inseridos.

Quando as empresas buscam observar seu sistema produtivo, a fim de enxergar possibilidades, percebem o potencial de oportunidades lucrativas existentes mediante a inserção de inovações tecnológicas. (CAMPOS; WETLER; FERNANDES, 2019)

O aumento das exigências mundiais por melhores produtos e a crescente competição entre empresas no mercado globalizado aumenta a busca por processos que garantam menores custos aliados a grande produtividade e produto de alta qualidade. (GAMA, 2018)

Melhorias constantes nesse campo de pesquisa para engenharia é extremamente relevante principalmente para engenharia de materiais e mecânica, garantindo assim a consolidação do conhecimento científico na comunidade de engenharia industrial, e consolidando o desenvolvimento industrial especialmente das indústrias brasileiras que estão em constantes atualizações para se adequar à nova era industrial a indústria 4.0.

1.1 ENSAIO DE TEMPERA JOMINY

No Brasil segundo Bradesco (2017), atualmente 96% da produção de aço encontra-se localizada na Região Sudeste, sendo 14,3% do parque produtor localizado no estado do Espírito Santo.

O aço está presente em tudo ao nosso redor, sendo que sua facilidade de se combinar elementos de liga com porcentagens de carbono faz com que sua aplicabilidade seja imensa. Para tanto esse material importantíssimo no cenário global é composto em sua maior parte de ferro e carbono, com presença também de elementos de liga. A porcentagem de carbono varia de 0,008% alcançado a temperatura ambiente, até cerca de 2,11% que pode ser atingida sob a temperatura de 1148°C. (CHIAVERINI, 1996)

A combinação de porcentagens de carbono e elementos de liga que permitem obter aços de baixo, médio e alto teor de carbono, e também aços de baixa e alta liga possibilitam a utilização do aço em diversas áreas. Além disso, a microestrutura final alcançada dessas combinações somada ao seu resfriamento, irão determinar características exclusivas de um determinado aço. Características essas que vão determinar suas propriedades, como o grau de dureza do material, e que permitem saber para qual situação esse aço pode ser mais bem aproveitado. (CUNHA, 2017)

Entre as microestruturas que são obtidas do aço está a martensita, sendo caracterizada como a que possui maior dureza dentre as demais. A martensita é obtida por meio de um resfriamento rápido, e não uniforme ao longo de toda seção do material, podendo ocorrer um aço que não seja totalmente martensítico ao longo dessa mesma seção, podendo comprometer a utilização do mesmo, dependendo do motivo para o qual ele foi designado. (CUNHA, 2017)

As temperaturas intermediárias, no entanto, existem as melhores condições e o tempo necessário para atingir uma quantidade específica transformação é baixa, geralmente alguns segundos para o carbono e aços de baixa liga. Em temperaturas mais baixas, as taxas de difusão diminuem e começa a formação de bainita ou martensita. (YAZDI; SAJJADI; ZEBARJAD; NEZHAD, 2008)

É importante para o profissional de engenharia, que está inserido no processo industrial, conhecer a microestrutura do material ao longo da seção, prevenindo falhas futuras que possam vir a ocorrer. Em casos de formação de estrutura martensítica, mede-se a temperabilidade do aço, sendo essa a capacidade de formar martensita de acordo com a profundidade do material. Segundo

Papworth e Williams (2000), um entendimento completo da fragilização é limitado pelas interações complexas dos elementos segregantes, precipitados de carboneto e microestrutura bainítica.

Outro fato importante que salienta a importância do profissional de engenharia, é conhecer a fundo o processo industrial o qual está inserido, pois seus conhecimentos e experiências refletem diretamente nos problemas encontrados. Segundo Thakur, Tak e Mote (2019), propriedades encontradas nos materiais como alta resistência à tração e à fadiga, boa tenacidade, alta dureza e formabilidade tornam sua usinabilidade inferior. Assim o profissional de engenharia, que conhece a fundo essas propriedades citadas, pode intervir em diversos problemas na indústria, solucionando ou evitando que ocorra.

O ensaio de tempera Jominy foi desenvolvido com intuito de poder realizar uma normalização nesse processo de tratamento térmico. Sendo assim utilizado como um teste padrão para caracterizar a temperabilidade dos aços. (YAZDI; SAJJADI; ZEBARJAD; NEZHAD, 2008)

Outro aspecto relevante proposto por Yazdi, Sajjadi, Zebarjad e Nezhad (2008), é que o teste Jominy é um dos procedimentos experimentais mais comumente usados para avaliar a temperabilidade do aço, podendo ser usado em programas de simulações numéricas.

Esse fato é verificado no trabalho de Vermeulen, Wolk, Weijer e Zwaag (1996) onde foi desenvolvido uma rede neural para previsões de valores de temperabilidade em alguma ligas.

Os perfis de dureza Jominy dos aços foram previstos a partir da composição química e da temperatura de austenitização usando uma rede neural artificial. A rede neural foi treinada usando cerca de 4.000 exemplos, abrangendo uma ampla variedade de composições de aço. O desempenho da rede neural é examinado em função da arquitetura da rede, do número de elementos de liga e do número de conjuntos de dados usados para o treinamento. Uma rede bem treinada prevê o perfil de dureza Jominy com um erro médio de cerca de 2 HRC. (VERMEULEN; WOLK; WEIJER; ZWAAG, 1996)

O ensaio Jominy é considerado no trabalho de Pietrzyk e Kuziak (2011), onde foram obtidos resultados através de simulações numéricas de elementos finitos, incluindo modelagem de transformações de fase. Demonstrando a capacidade do modelo numérico desenvolvido, são apresentados os resultados das simulações numéricas para dois aços bainíticos com composição química diferente. O modelo de transformação de fases para esses aços foi desenvolvido com base

nos testes dilatométricos.

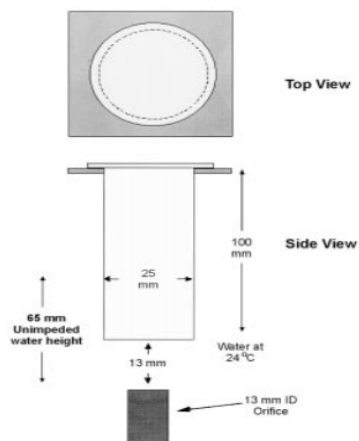
O teste Jominy ou end-quench é um método simples e amplamente utilizado método para caracterizar a temperabilidade dos aços. Essa temperabilidade é determinada inteiramente pela microestrutura de aço que por sua vez é determinado principalmente, para a faixa fixa de taxas de resfriamento na amostra de teste Jominy pelos elementos de liga. (VERMEULEN; WOLK; WEIJER; ZWAAG, 1996)

O ensaio Jominy foi criado por Walter Jominy e consiste no aquecimento do aço com dimensões pré-determinadas até a temperatura de austenitização, e em seguida é feito seu resfriamento por meio de um jato de água controlado que será lançado em uma das extremidades do material. Finalmente são medidos valores de dureza ao longo do comprimento do corpo de prova. Esses valores geram curvas de dureza que são específicas de cada aço e que são de grande avalia para obtenção de dados que conforme já mencionado ajudam na delimitação do campo de utilização de um determinado aço. (CUNHA, 2017)

Segundo Yazdi, Sajjadi, Zebarjad e Nezhad (2008), apresenta o funcionamento do método de ensaio Jominy com uma visão mais técnica. O teste envolve aquecimento da barra cilíndrica padrão (25 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento) até a temperatura de austenitização e depois transferindo-o para um dispositivo de têmpera para que as amostras sejam mantidas verticalmente 12,7 mm acima de uma abertura através da qual coluna de água é direcionada contra o fundo do espécime.

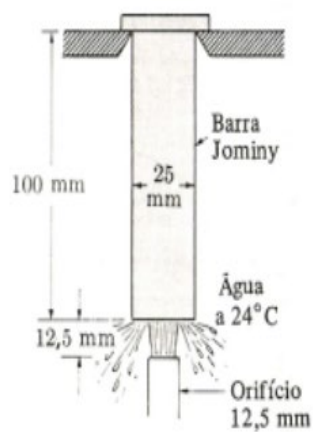
No trabalho clássico original de Jominy e Boegehold, foi descrito uma amostra cilíndrica de 100 mm de comprimento por 25 mm de diâmetro, disposta na figura 5 e 6, com os valores dimensionais da peça. Na figura 7 pode ser observado uma representação da máquina de ensaio Jominy. A amostra foi austenitizada, em seguida, removida do forno e colocada em um equipamento, onde foi exposta em uma extremidade a um fluxo vertical especificado de água. O resfriamento resultante é unidimensional e é invariante na composição do aço. Mas a temperabilidade resultante do aço, medida pela dureza, depende da composição e do tamanho do grão do aço. O design simples da amostra e a relativa facilidade do procedimento de teste tornaram este teste o método preferido para medir a temperabilidade do aço. (NEWKIRK; MACKENZIE, 2000)

Figura 5 | Amostra do Corpo de Prova Para Ensaio Jominy Clássico



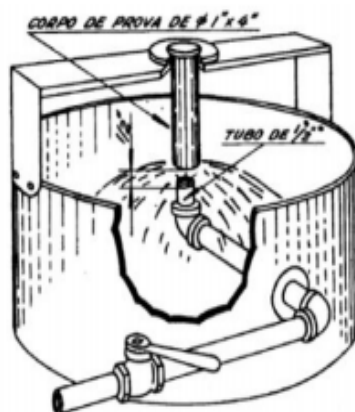
Fonte: NEWKIRK & MACKENZIE (2000)

Figura 6 | Amostra do Corpo de Prova Para Ensaio Jominy



Fonte: Souza & Silva (2009)

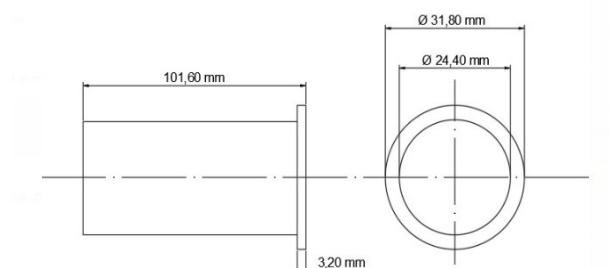
Figura 7 | Representação da Máquina de Ensaio Jominy



Fonte: CHIAVERINI (1996)

A popularidade e repetibilidade do teste resultaram na adoção do procedimento e dos métodos de teste ASTM, SAE, e outras agências. Para que ocorra a validação do ensaio, o corpo de prova precisa apresentar as dimensões estabelecidas pela norma ASTM A255 (2002). O desenho do corpo de prova está ilustrado na figura 8, juntamente com as dimensões padronizadas.

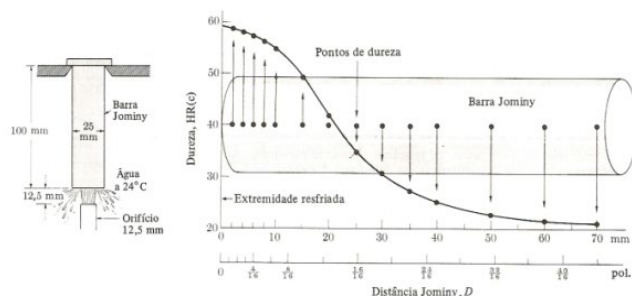
Figura 8 | Dimensões Padronizadas Para Corpo de Prova Jominy



Fonte: Autoria Própria

Após o resfriamento do corpo de prova, este é retificado e são feitas medidas de dureza ao longo de seu comprimento. A medida de dureza feita é Rockwell C (HRC). A dureza é sempre maior junto à base do corpo de prova, onde as taxas de resfriamento são mais elevadas, e por isso deve ser medida somente para a metade inicial da peça (50,8 mm) a partir da extremidade que recebeu o jato de água, segundo a norma. Para a primeira polegada, as leituras de dureza são tiradas em intervalos de 1,6 mm. Para os demais pontos de medição as leituras são tomadas a cada 3,2 mm até a distância de 38,2 mm e a cada 6,4 mm para o restante. Na figura 9 pode ser observado um modelo representativo de como deve ser o procedimento de medição de dureza em HRC.

Figura 9 | Medição de Dureza em HRC no Comprimento do Corpo de Prova para Ensaio Jominy

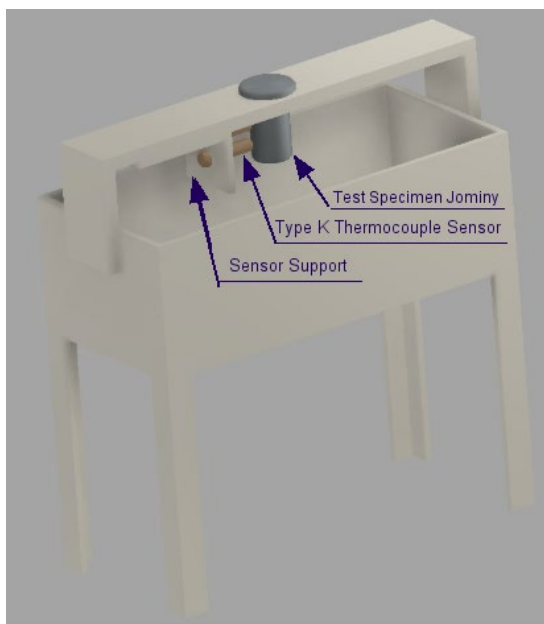


Fonte: Souza & Silva (2009)

Vale salientar que a temperatura do centro fica atrasada em relação à temperatura da superfície. Isso significa que a taxa de resfriamento varia em função da profundidade. Quanto maior a profundidade, mais lenta a taxa de resfriamento. Taxas de resfriamento diferentes podem levar a dureza diferente no centro e na borda. A borda pode se transformar em martensita e centralizar em perlita. (YEKINNI; AGUNSOYE; BELLO; AWE; TALABI, 2020)

Como disposto na figura 10 pode ser observado a modelagem em software CAD (Computer Aided Design), a máquina de ensaio Jominy, tornou-se necessário realizar o desenho em software especializado, para auxiliar no dimensionamento do suporte de fixação e acondicionamento dos sensores termopar tipo K utilizados no projeto.

Figura 10 | Máquina para Ensaio Jominy desenvolvida no CAD



Fonte: Autoria Própria

2. OBJETIVO

Realizar um dispositivo para aquisição de dados para uma máquina de ensaio Jominy de tempera. Utilizando equipamentos acessíveis aos integrantes e apresentando um projeto viável financeiramente.

3. METODOLOGIA

3.1 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

As revoluções industriais, como são chamadas, não acontecem frequentemente. Desde o início da humanidade, havia quatro revoluções industriais, sendo a mais recente a quarta identificada como tal. Os outros três foram identificados apenas quando eles já haviam ocorrido, enquanto o quarto está cheio desenvolvimento. É fundamental para todos que trabalham tanto em como em qualquer ramo de atividade, conhecendo esse processo e para se preparar para o futuro que já começou. (CUNHA, et al. 2020)

A sociedade vive um período de conhecimento e progresso tecnológico de uma maneira assustadora, e isso momento pode ser explicado pelo aumento da institucionalidade capacidades na educação através das universidades e internet, oferecida à sociedade de uma maneira nunca antes vista pela população brasileira. (CARNEIRO; MARTINS; LEAL JUNIOR; BRITO; BARBOSA; ARAÚJO, 2019)

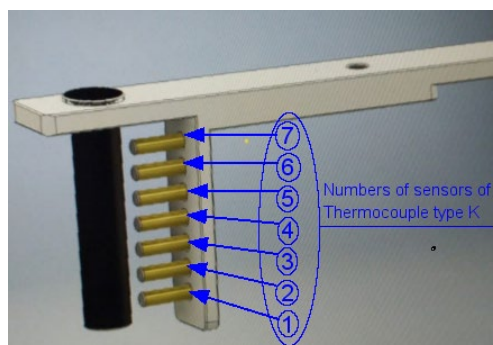
Essa inovação no ambiente industrial pode impactar diversos aspectos, incentivando o ambiente de relacionamento entre funcionários e empresas, pois é sempre usado e usado facilmente quando necessário, ou o tempo é um fator relevante na processo industrial e indústria 4.0. Desde esse parâmetro, um ótimo exemplo é o uso de RFID em peças, ferramentas e máquinas usadas de uma maneira mais fácil de localizar ou produto ou lote permitido, em alguns casos em lotes grandes rastreados via GPS. (CUNHA, et al. 2020)

A popularização de microcontroladores de baixo custo tem permitido cada vez mais o desenvolvimento de internet soluções baseadas em coisas - IoT, a viabilidade financeira permite aplicar a Internet das coisas em soluções que o mercado já possui explicações comerciais, mas com maior custo financeiro. (CARNEIRO; MARTINS; LEAL JUNIOR; BRITO; BARBOSA; ARAÚJO, 2019)

Foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados de temperatura para máquina de ensaio Jominy, utilizou-se o arduino mega para que através da programação desenvolvida no arduino ide, fosse possível adquirir os dados de temperatura no resfriamento. Utilizaram sete sensores de temperatura sendo eles termopar do tipo K. Através da programação desenvolvida no arduino Ide, foi possível realizar conexão entre o software denominado PLX DAQ e arduino, garantindo assim a possibilidade de obter os dados de temperatura exibidos em uma planilha no Excel, podendo ser salvos e manipulados

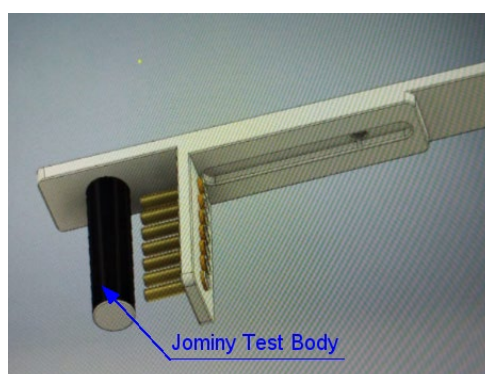
futuramente, na figura 11, 12 e 13 pode ser observado uma modelagem realizada no software Inventor (Autodesk), essa modelagem serve como visualização dos parâmetros de fixação dos sensores no suporte da máquina de ensaio Jominy, e como os sensores realizaram a medição naquele ponto onde a extremidade da haste do sensor encosta no ponto de medição do corpo de prova.

Figura 11 | Colocação dos Sensores de Temperatura no Suporte da Máquina de Ensaio Jominy



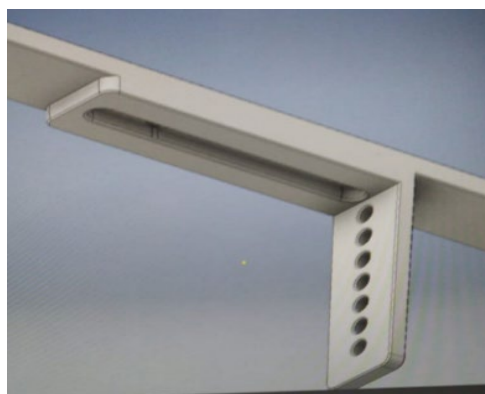
Fonte: Autoria Própria

Figura 12 | Aproximação dos Sensores no Corpo de Prova Jominy



Fonte: Autoria Própria

Figura 13 | Suporte Desenvolvido em CAD 3D



Fonte: Autoria Própria

3.2 ARDUINO

O Arduino faz parte do conceito de hardware e software livre e está aberto para uso e contribuição de toda sociedade. O conceito arduino surgiu na Itália, em 2005, com o objetivo de criar um dispositivo para ser utilizado em projetos construídos de uma forma mais barata que outros sistemas disponíveis no mercado. O arduino foi projetado com a finalidade de ser de fácil entendimento, programação e aplicação (SANTOS, 2015).

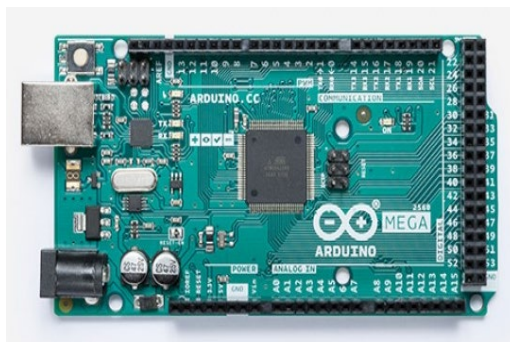
Pode-se designar o arduino simplesmente como uma peça de Hardware ou um Software de desenvolvimento, porém vai muito além. Devido ao sucesso alcançado ao longo do tempo, existe uma enorme comunidade de pesquisadores e cientistas que usam essa tecnologia em seus projetos, por serem acessíveis financeiramente, com fácil aquisição de materiais e sensores, aplicada em diversos projetos. Em algumas situações podem ser desenvolvidas placas controladoras de forma independente sem a necessidade de adquirir uma no mercado nacional e internacional. (BIMESTRE; JAEGER; SANTOS; DAVILA, 2020)

Os componentes utilizados com arduino permitem a construção de sistemas que percebem a realidade e responde com ações físicas desejadas. Ele é baseado em uma placa microcontrolada, com acessos de entrada e saída, e trabalha com bibliotecas desenvolvidas com funções para simplificar sua programação (SANTOS, 2015).

A placa Arduino Mega 2560 é mais uma placa da plataforma Arduino que possui recursos bem interessantes para prototipagem e projetos mais elaborados. Baseada no microcontrolador ATmega2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Possui 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial.

Sendo uma ótima opção para projetos que necessitem de muitos pinos de entradas e saídas além de memória para programas com maior capacidade, segundo Albuquerque, Pinto e Chagas (2019), o Arduino Mega 2560 possui 54 pinos de entrada e saída e 16 pinos de entrada analógica, pode conectar vários dispositivos simultaneamente, na figura 14 pode ser observado o Arduino utilizado e na tabela 1 pode ser observado suas especificidades.

Figura 14 | Arduino Mega 2560



Fonte: MULTILÓGICA-SHOP (2020)

Tabela 1 | Especificidades do Arduino Mega 2560

Características Gerais Arduino Mega 2560	
Microcontrolador	Atmega2560
Voltagem de Alimentação	5 V
Voltagem de Entrada (recomendada)	7 - 12 V
Voltagem de Entrada (Limites)	6 - 20 V
Pinos digitais I/O	54
Pinos de Entrada Analógica	16
Corrente contínua por Pino I/O	40 mA
Corrente contínua por Pino 3.3 V	50 mA
Memória Flash	256 KB of which 4 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade Clock	16 MHZ

Fonte: Autoria Própria

3.3 SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR DO TIPO K

Os termopares podem ser classificados em convencionais e nobres, termopares convencionais possuem esta denominação por serem os que usualmente são utilizados em aplicações de uso industrial onde as mesmas admitem um limite maior de erro, além de utilizar condutores elétricos relativamente acessíveis. Os tipos de termopares que se enquadram nestas características são: T, J, E, K e N. Os termopares são elementos relativamente precisos para utilização industrial.

Os termopares tipo K são formados por um fio de cromel como elemento positivo, e alumel, como elemento negativo. Estes termopares podem estar presentes em situações cuja temperatura pode chegar até cerca de 1250°C e possuem elevada resistência à oxidação fazendo com que esses termopares sejam preferidos em aplicações com temperaturas superiores a 540°C deve-se ressaltar

que estes podem ser utilizados também ocasionalmente em temperaturas inferiores a 0°C na figura 15 pode ser observado o sensor utilizado e na tabela 2 pode ser observado suas especificidades.

Figura 15 | Termopar do Tipo K



Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 | Especificidades do Termopar Tipo K

Características Gerais Termopar Tipo K
Serve para todos os controladores de temperatura com entrada para termopar tipo k
Temperatura de operação: -100° a 1250°C
Material da sonda: Aço Inoxidável
Sonda Diâmetro: 5mm
Fio da rosca: 3/8 " NPT
Comprimento da sonda: 100mm
Comprimento do cabo: 3 m
Cabo Externo Blindagem: Trança de Aço Inoxidável
Cabo de Isolamento Interno: Fibra de vidro
Conector: Tipo forquilha

Fonte: Autoria Própria

3.4 MÓDULO MAX 6675

O nível de tensão gerada pelo termopar tipo K é extremamente baixo, na ordem de 41uV/°C, assim utilizou-se o MAX6675 como um sistema para amplificar e filtrar os níveis de tensão de maneira que possa ser interpretada pelo Arduino Mega 2560, na figura 16 pode ser observado o módulo utilizado.

Figura 16 | Módulo MAX6675

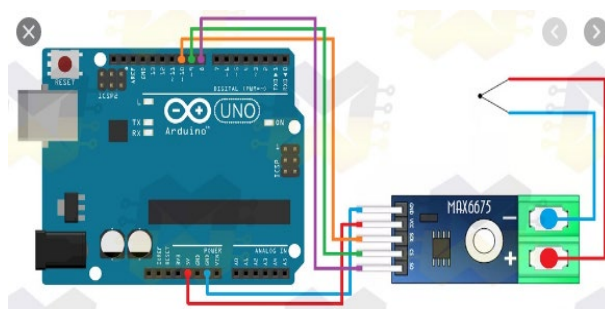


Fonte: MASTERWALKER ELECTRONIC SHOP (2020)

3.5 ESQUEMA ELÉTRICO

O esquema elétrico é fator extremamente importante em qualquer projeto de elétrica e eletrônica, o intuito do esquema elétrico é poder orientar o usuário a fazer as conexões corretas dos módulos e sensores no arduino, garantindo assim um bom funcionamento de todos os projetos, garantindo que não ocorra nenhuma não conformidade e intercorrências que possam vir acontecer, por uma ligação elétrica errônea. Na figura 17 está representado o esquema elétrico que foi utilizado no projeto.

Figura 17 | Esquema Elétrico



Fonte: MASTERWALKER ELECTRONIC SHOP (2020)

3.6 PROGRAMAÇÃO NO ARDUINO

A programação desenvolvida na arduino ide, foi eficiente para o projeto, apresentando um excelente desempenho, todos os comentários estão dispostos na programação, cada linha de código possui seu comentário, e como será seu funcionamento, a programação será disponibilizada gratuitamente, para utilização em diversos outros projetos. Para ter acesso a programação deve-se entrar em contato por e-mail com autor responsável.

3.7 PLX – DAQ

O PLX-DAQ é uma ferramenta complementar de aquisição de dados de microcontrolador para Microsoft Excel como pode ser observado na figura 18. Os microcontroladores conectados a qualquer sensor e à porta serial de um PC agora pode enviar dados diretamente para o Excel. Algumas outras características desse aplicativo.

- Plotar ou representar graficamente os dados que chegam em tempo real usando o Microsoft Excel;
- Grave até 26 colunas de dados;
- Marque os dados em tempo real (hh: mm: ss);
- Ler / gravar qualquer célula em uma planilha;
- Monitoramento das variáveis de controle;

Figura 18 | Painei do PLX-DAQ



Fonte: Autoria Própria

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram relevantes pois nos testes em que os sensores foram submetidos os resultados apresentados foram plausíveis, os testes foram realizados em ambiente controlado como pode ser observado na figura 19, a escala de medição foi graus centígrados, logo nas figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25 podem ser observados os resultados adquiridos por cada sensor conectado ao Arduino.

Figura 19 | Testes de Leitura de Temperatura



Fonte: Autoria Própria

Figura 20 | Resultado do Sensor 6

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Data	Hora	Temp6	Temp5	Temp4	Temp3	Temp2	Temp1					
2	07/03/2020	3:44:23 PM	77.75	0	0	0	0	0					
3	07/03/2020	3:44:29 PM	78.5	0	0	0	0	0					
4	07/03/2020	3:44:34 PM	78.75	0	0	0	0	0					
5	07/03/2020	3:44:39 PM	79.25	0	0	0	0	0					
6	07/03/2020	3:44:44 PM	80	0	0	0	0	0					
7	07/03/2020	3:44:49 PM	80	0	0	0	0	0					
8	07/03/2020	3:44:55 PM	81	0	0	0	0	0					
9	07/03/2020	3:45:00 PM	81.5	0	0	0	0	0					
10	07/03/2020	3:45:05 PM	82	0	0	0	0	0					
11	07/03/2020	3:45:10 PM	82.25	0	0	0	0	0					
12	07/03/2020	3:45:15 PM	82.75	0	0	0	0	0					
13	07/03/2020	3:45:21 PM	83.5	0	0	0	0	0					
14	07/03/2020	3:45:26 PM	83.25	0	0	0	0	0					
15	07/03/2020	3:45:31 PM	84	0	0	0	0	0					
16	07/03/2020	3:45:37 PM	84.25	0	0	0	0	0					
17	07/03/2020	3:45:42 PM	84.5	0	0	0	0	0					
18	07/03/2020	3:45:47 PM	85.25	0	0	0	0	0					
19													

Fonte: Autoria Própria

Figura 21 | Resultado do Sensor 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Data	Hora	Temp6	Temp5	Temp4	Temp3	Temp2	Temp1					
2	07/03/2020	3:48:56 PM	0	79.5	0	0	0	0					
3	07/03/2020	3:49:01 PM	0	79.5	0	0	0	0					
4	07/03/2020	3:49:06 PM	0	79.75	0	0	0	0					
5	07/03/2020	3:49:11 PM	0	79.75	0	0	0	0					
6	07/03/2020	3:49:17 PM	0	80.5	0	0	0	0					
7	07/03/2020	3:49:22 PM	0	81.75	0	0	0	0					
8	07/03/2020	3:49:27 PM	0	82.25	0	0	0	0					
9	07/03/2020	3:49:32 PM	0	82.75	0	0	0	0					
10	07/03/2020	3:49:38 PM	0	83.25	0	0	0	0					
11	07/03/2020	3:49:43 PM	0	84	0	0	0	0					
12	07/03/2020	3:49:48 PM	0	84.75	0	0	0	0					
13	07/03/2020	3:49:53 PM	0	84.75	0	0	0	0					
14	07/03/2020	3:49:59 PM	0	84.5	0	0	0	0					
15	07/03/2020	3:50:04 PM	0	85	0	0	0	0					
16	07/03/2020	3:50:09 PM	0	85.75	0	0	0	0					
17	07/03/2020	3:50:14 PM	0	85.25	0	0	0	0					
18	07/03/2020	3:50:20 PM	0	86.5	0	0	0	0					
19	07/03/2020	3:50:25 PM	0	86.75	0	0	0	0					
20													

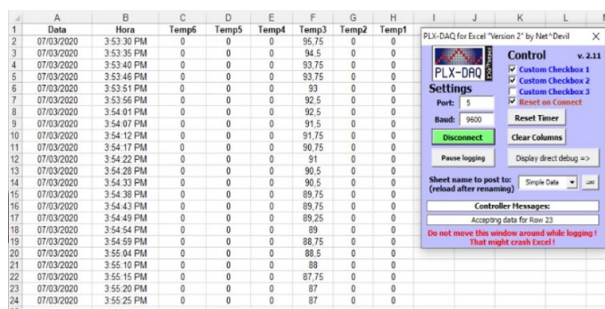
Fonte: Autoria Própria

Figura 22 | Resultado do Sensor 4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Data	Hora	Temp6	Temp5	Temp4	Temp3	Temp2	Temp1					
2	07/03/2020	3:51:15 PM	0	0	90.5	0	0	0					
3	07/03/2020	3:51:21 PM	0	0	90.5	0	0	0					
4	07/03/2020	3:51:26 PM	0	0	91.25	0	0	0					
5	07/03/2020	3:51:31 PM	0	0	91.5	0	0	0					
6	07/03/2020	3:51:36 PM	0	0	91.75	0	0	0					
7	07/03/2020	3:51:43 PM	0	0	92	0	0	0					
8	07/03/2020	3:51:47 PM	0	0	92	0	0	0					
9	07/03/2020	3:51:52 PM	0	0	92.75	0	0	0					
10	07/03/2020	3:51:57 PM	0	0	93.25	0	0	0					
11	07/03/2020	3:52:03 PM	0	0	93.25	0	0	0					
12	07/03/2020	3:52:08 PM	0	0	93.75	0	0	0					
13	07/03/2020	3:52:13 PM	0	0	94.25	0	0	0					
14	07/03/2020	3:52:19 PM	0	0	94.25	0	0	0					
15	07/03/2020	3:52:24 PM	0	0	94.75	0	0	0					
16	07/03/2020	3:52:29 PM	0	0	94.75	0	0	0					
17	07/03/2020	3:52:34 PM	0	0	95	0	0	0					
18	07/03/2020	3:52:39 PM	0	0	95.5	0	0	0					
19	07/03/2020	3:52:45 PM	0	0	95.75	0	0	0					
20	07/03/2020	3:52:50 PM	0	0	95.75	0	0	0					
21	07/03/2020	3:52:55 PM	0	0	96.5	0	0	0					

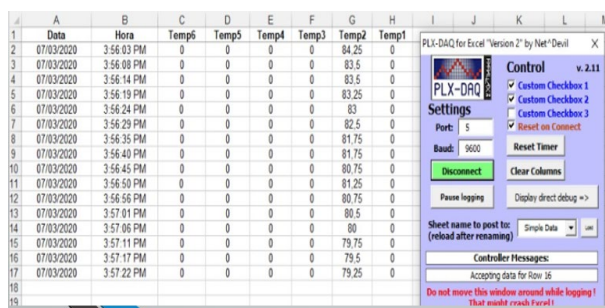
Fonte: Autoria Própria

Figura 23 | Resultado do Sensor 3



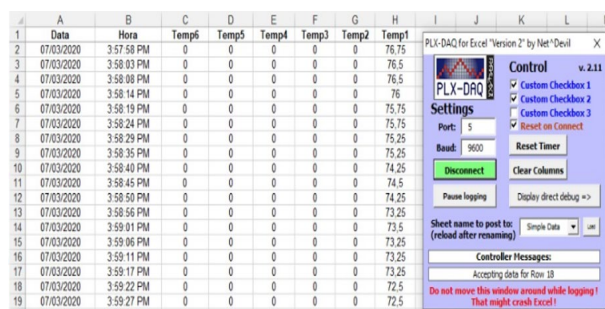
Fonte: Autoria Própria

Figura 24 | Resultado do Sensor 2



Fonte: Autoria Própria

Figura 25 | Resultado do Sensor 1



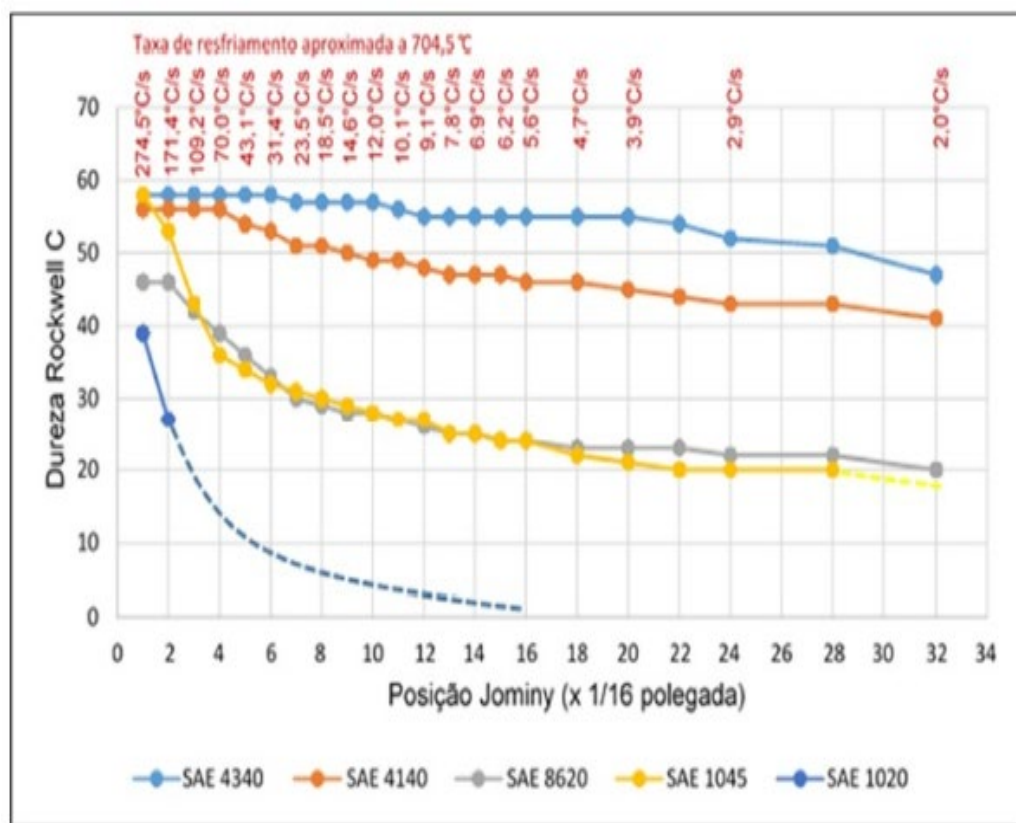
Fonte: Autoria Própria

Com isso é possível observar que nos testes em que foram submetidos apresentaram resultados plausíveis, mostrando assim a eficácia desse dispositivo para aquisição de dados de temperatura, e garantindo assim um projeto interdisciplinar, podendo ser utilizado em diversos segmentos da engenharia.

A importância de trabalhos dessa natureza demonstra os resultados do conhecimento interdisciplinar em soluções de engenharia sob demanda atual na apresentação de alternativas viáveis que podem ser melhoradas pesquisas futuras e na criação de produtos. (CARMO; CABETTE; GOMES, 2020)

Na figura 26 é apresentado um gráfico para diversos materiais que relacionam a dureza em HCR com a posição do ponto no corpo de prova Jominy, isso é importante pois seria realizado nesse projeto com base na metodologia apresentada por Scheidemantel (2014), em seu trabalho foi analisado diversos pontos de dureza para algumas classes de aços, esse ensaio é baseado na norma ASTM A255 (2002).

Figura 26 | Curvas Jominy obtidas a partir Corpos de Prova de aços tratados de acordo com a Norma ASTM A255



Fonte: Scheidemantel (2014)

5. CONCLUSÃO

A introdução realizada no começo do trabalho ressalta a importância do ensaio Jominy para avaliação de dureza após um tratamento de tempera padronizado, a literatura disposta nesse trabalho trouxe, uma sólida relação entre a teoria e prática, assim foi possível conhecer a fundo sobre o que se tratava o ensaio de tempera. O ensaio de tempera Jominy é amplamente utilizado atualmente em diversos setores da indústria, entre os que mais se destacam são a metalurgia e metalomecânica. Tratando-se de um processo simples e que garante um excelente resultado de dureza no material, no final desse processo é possível obter uma estrutura martensítica homogênea e bem desenvolvida no material, no aço que foi submetido para avaliar sua temperabilidade.

O sistema de aquisição de dados é uma parte extremamente relevante nesse processo, pois o sistema de aquisição de dados será o responsável por coletar dados e acondicioná-los para receberem um tratamento e assim adquirir a curva de dureza do corpo de prova. O software de comunicação entre arduino e computador utilizou-se o PLX-DAQ. Os pesquisadores decidiram utilizar esse software pois sua interface apresenta uma simplicidade relevante, não apresentando muitas dificuldades durante o procedimento no qual foi submetido. O arduino mega 2560, apresentou uma excelente capacidade de processamento de informações, conseguindo processar ao mesmo tempo os sete sensores que foi implementado na aquisição de dados. Os sensores que foram utilizados o termopar do tipo K juntamente com módulo MAX6675, os sensores foram corretamente dimensionados pois sua faixa de temperatura de funcionamento, é compatível com a temperatura do ambiente de trabalho a ser submetido, o módulo para Arduino MAX 6675, teve a função de amplificar e condicionar os sinais elétricos emitidos pelo sensor termopar.

Os resultados obtidos foram relevantes e precisos, esse projeto de aquisição de valores de temperatura pode ser utilizado em ambientes e condições diferentes ao que foi submetido, podendo ser utilizados com os mesmos equipamentos ou realizando algumas adequações no projeto, o projeto segue a linha de projeto open source com isso o projeto será disponibilizado a toda comunidade científica, podendo ser utilizado em diversos projetos, ficando à disposição do usuário para realizar alterações necessárias. Como a aquisição de dados está bem ajustada para o ambiente que foi utilizado mesmo utilizando método empírico, foi possível adquirir dados de maneira precisa. Por

mais que os procedimentos de medições, foram realizados em um ambiente de testes controlados, mostrou-se capaz de ser aplicado em um ambiente real de ensaio.

REFERÊNCIA

ALBUQUERQUE, B. H. C.; PINTO, F. R.; CHAGAS, L. O. Home Automation Using Arduino Platform on an Embedded Server. **International Journal of Advanced Engineering Research And Science**, v. 6, n. 11, p. 158-162, 2019. AI Publications. <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.611.23>. Disponível em: https://ijaers.com/uploads/issue_files/23IJAERS-10201961-Home.pdf. Acesso em: 11 maio 2020.

ASTM A255, Jominy Test, Standard Method for End-Quench Test for Hardenability of Steel, ASTM A255, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, PA.

BIMESTRE, T. A.; JAEGER, C. D.; SANTOS, R. O. B.; D'ÁVILA, L. S. DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLE DISCRETO PID DE TEMPERATURA PARA UMA CARGA RESISTIVA UTILIZANDO MÓDULO DIMMER E MICROCONTROLADOR ARDUINO. **Revista Sodebras**, v. 15, n. 170, p. 46-51, fev. 2020. Revista SODEBRAS. Doi: <http://dx.doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.170.46>. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N170.pdf>. Acesso em: 11 maio 2020.

BRADESCO. Siderurgia. Informações Setoriais. **Economia em Dia**. Osasco, SP: Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos/BRADESCO. Acesso em: 04 jun. 2017.

CAMPOS, A. F.; WETLER, J. P.; FERNANDES, S. C. **A ECONOMIA VERDE NA INDÚSTRIA DO AÇO: UMA APLICAÇÃO (IM) POSSÍVEL?**. **Revista Sodebras**, p.4-10, jun. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.4>. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/Eng/Revista/edicoes.php>. Acesso em: 05 abr. 2020.

CARMO, T. A.; CABETTE, R. E. S.; GOMES, R. G. Prototype of robotic mechanical prosthesis of upper limb at low cost. **International Journal of Advanced Engineering Research And Science**, v. 7, n. 4, p. 22-26, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.74.2>. Disponível em: <https://ijaers.com/detail/prototype-of-robotic-mechanical-prosthesis-of-upper-limb-at-low-cost/>. Acesso em: 11 maio 2020.

CARNEIRO, L. A.; MARTINS, L. C.; LEAL JUNIOR, W. B.; BRITO, G. L. R.; BARBOSA, G. V.; ARAÚJO, H. X. Public Security and the Internet of Things: at the service of community policing.: at the Service of Community Policing. **International Journal of Advanced Engineering Research And Science**, v. 6, n. 6, p. 780-784, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6.6.91>.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7a Ed. São Paulo: ABM, 1996.

CUNHA, Carlos Eduardo da. **Projeto, Construção e Validação de Aparato Jominy, Segundo Norma ASTM A255-02. 2017. 70f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

CUNHA, K. C. S. *et al.* The Reliability of Metrologia 4.0 Data in the Industrial Technological Scenario: How This can Impact the Forms of Dimensional Control in the Industry. **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, Índia, v. 7, n. 4, p. 34-38, mai.2020. Doi: <https://dx.doi.org/10.31873/IJEAS.7.04.05>. Disponível em: <https://www.ijeas.org/the-reliability-of-metrologia-40-data-in-the-industrial-technological-scenario-how-this-can-impact-the-forms-of-dimensional-control-in-the-industry>. Acesso em: 11 mai. 2020.

GAMA, R. P.; RIBEIRO, M. V. **Effects of Cutting Fluid Application in the Performance of the Nimomic 80A Turning**. **Key Engineering Materials**, v. 656-657, p.243-250, jul. 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.656-657.243>. Disponível em: <https://www.scientific.net/KEM.656-657.243>. Acesso em: 05 abr. 2020.

GAMA, R.P. **Torneamento Da Super Liga Inconel 718 Com O Uso De Diferentes Condições De Lubrificação**. 2018. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá, Universidade

Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

MASTERWALKER ELECTRONIC SHOP. **Como usar com Arduino – Módulo MAX6675 Termopar Tipo K – 0º a 800ºC**. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-max6675-termopar-tipo-k-0o-a-800oc/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

MULTILÓGICA-SHOP. **Arduino Mega2560 R3**. Disponível em: <https://multilogica-shop.com/arduino-mega2560-r3>. Acesso em: 12 mai. 2020.

NEWKIRK, J.W.; MACKENZIE, D.S. The Jominy End Quench for Light-Weight Alloy Development. **Journal Of Materials Engineering And Performance**, v. 9, n. 4, p. 408-415, 1 ago. 2000. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1361/105994900770345809>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1361%2F105994900770345809>. Acesso em: 11 maio 2020.

PAPWORTH, A. J.; WILLIAMS, D. B. Segregation to prior austenite grain boundaries in low-alloy steels. **Scripta Materialia**, v. 42, n. 11, p. 1107-1112, maio 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1359-6462\(00\)00335-3](http://dx.doi.org/10.1016/s1359-6462(00)00335-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646200003353>. Acesso em: 10 maio 2020.

PIETRZYK, M.; KUZIAK, R. Computer aided interpretation of results of the Jominy test. **Archives Of Civil And Mechanical Engineering**, v. 11, n. 3, p. 707-722, jan. 2011. Springer Science and Business Media LLC. [http://dx.doi.org/10.1016/s1644-9665\(12\)60111-3](http://dx.doi.org/10.1016/s1644-9665(12)60111-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1644966512601113>. Acesso em: 10 maio 2020

RANDI, G. H.; BALDO, R. G. **ANÁLISE DAS TÉCNICAS E TECNOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR**. **Revista Sodebras**, v. 14, n. 165, p.50-56, set. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.165.50>. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/Eng/Revista/edicoes.php>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

ROCHA, W. F.; MESTRIA, M. SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO BASEADO EM SENSORES DE PRESENÇA E BLUETOOTH. **Revista Sodebras**, v. 14, n. 163, p.32-38, 10 jul. 2019. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N163.pdf>>. Doi: <http://dx.doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.163.32>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SAEJ406c. Methods of Determining Hardenability of Steels, SAEJ406c, Annual SAE Handbook, SAE, Warrendale, PA.

SANTOS, Bruno Feu de Brito. Alimentador automático para animais utilizando Arduino. 2015. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/139072>>. Acesso em: 28 mar.2020.

Scheidemantel, R. H. Utilização de métodos teóricos para a avaliação da temperabilidade Jominy de aços com diferentes composições químicas. (Trabalho de Conclusão de Curso). Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

SOUZA, D. A. D; SILVA, M. D. C. ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA FORMADA APÓS ENSAIO DE TEMPERABILIDADE “JOMINY”. **ANUÁRIO DA PRODUÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DISCENTE**, Valinhos - Sp, v. 6, n. 12, p. 735-752, mar./2009. Disponível em: <<http://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/1055/1/artigo%2047.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

THAKUR, A.; TAK, M.; MOTE, R. G. Electrochemical micromachining behavior on 17-4 PH stainless steel using different electrolytes. **Procedia Manufacturing**, v. 34, p. 355-361, 2019. Elsevier BV. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.177>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919309059>. Acesso em: 10 mai. 2020.

VERMEULEN, W. G.; WOLK, P. J. V. D; WEIJER, A. P; ZWAAG, S. V. D. Prediction of jominy hardness profiles of steels using artificial neural networks. **Journal of Materials Engineering And Performance**, v. 5, n. 1, p. 57-63, fev. 1996. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02647270>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02647270>. Acesso em: 11 maio 2020.

WORLDSTEEL ASSOCIATION. **Global crude steel output increases by 4.6% in 2018**. Disponível em: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2019/Global-crude-steel-output-increases-by-4.6--in-2018.html>. Acesso em: 10 mai. 2020.

YAZDI, A. Z.; SAJJADI, S.A; ZEBARJAD, S.M.; NEZHAD, S.M. Moosavi. Prediction of hardness at different points of Jominy specimen using quench factor analysis method. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 199, n. 1-3, p. 124-129, abr. 2008. Elsevier BV. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013607007339>. Acesso em: 10 mai. 2020.

YEKINNI, A. A.; AGUNSOYE, J. O.; BELLO, S. A.; AWE, I. O.; TALABI, S. I. Fabrication of End Quenched Machine: hardenability evaluation.: Hardenability Evaluation. **Journal of Minerals And Materials Characterization And Engineering**, v. 02, n. 02, p. 107-113, 10 maio 2020. Scientific Research Publishing, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/jmmce.2014.22014>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=43800>. Acesso em: 10 mai. 2020.

