



ANTÔNIO PEREIRA DE SOUZA NETO
BIANCA APARECIDA ALVES ARAÚJO

**ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA MELHORIA DO PROCESSO
DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA NA PREPARAÇÃO DE
PLACAS DE ALUMÍNIO E SUAS LIGAS PARA LAMINAÇÃO**

LAVRAS – MG

2020

ANTÔNIO PEREIRA DE SOUZA NETO
BIANCA APARECIDA ALVES ARAÚJO

**ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DE
TEMPERATURA NA PREPARAÇÃO DE PLACAS DE ALUMÍNIO E SUAS LIGAS
PARA LAMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia de Controle
e Automação, para a obtenção do título de
Bacharel.

Profa. Dra. Sílvia Costa Ferreira
Orientadora

LAVRAS – MG
2020

**ANTÔNIO PEREIRA DE SOUZA NETO
BIANCA APARECIDA ALVES ARAÚJO**

**ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DE
TEMPERATURA NA PREPARAÇÃO DE PLACAS DE ALUMÍNIO E SUAS LIGAS
PARA LAMINAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia de Controle
e Automação, para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADA em 24 de agosto de 2020.

Profa. Dra. Sílvia Costa Ferreira UFLA
Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco UFLA
Caroline Santos Pereira Externa

Profa. Dra. Sílvia Costa Ferreira
Orientadora

**LAVRAS – MG
2020**

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares, aos amigos e a todos os que nos apoiaram durante nossa jornada, tornando-a mais leve.

AGRADECIMENTOS

À nossa orientadora Sílvia Costa Ferreira, que por vários momentos da graduação se fez presente tanto em sua função como professora quanto como amiga. Aos nossos pais, irmãos e amigos por todo apoio que nos ofereceram durante esses anos e sobretudo nesta reta final. Todos vocês foram essenciais. Agradecemos um ao outro por termos conseguido nos ajudar, acalmar e reerguer sempre que foi preciso.

*Não existe nada definitivo ou certezas inabaláveis: tudo é por enquanto.
(Um Cartão)*

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma alternativa para o sistema de medição de temperatura de placas de alumínio em fornos de aquecimento do tipo *pit*, para posterior laminação. No decorrer do projeto foi estudado todo o processo de laminação das placas e foram feitas duas propostas que consistiam na substituição dos termopares descartáveis utilizados para a medição de temperatura, por dois diferentes sensores infravermelho. A intenção é reduzir o elevado gasto com termopares que possuem baixa vida útil, além de proporcionar melhores condições de trabalho aos operadores, que não mais terão que se submeter a elevadas temperaturas para conseguir aferir a temperatura das placas. A partir de um estudo de viabilidade econômica foi possível identificar VPL, TIR e *payback* para ambas as propostas, comprovando a viabilidade econômica. A Proposta A apresentou VPL de R\$ 117.594,12, TIR de 57,70% e *payback* de 1,71 anos. Por outro lado, a Proposta B apresentou VPL de R\$ 101.694,98, TIR de 37,79% e *payback* de 2,54 anos. Entende-se que ambas atendem os requisitos de projeto, porém a Proposta A foi considerada mais viável por possuir resultados econômicos mais viáveis.

Palavras-chave: Automatização da medição de temperatura. Viabilidade Econômica. Fornos tipo *pit*. Laminação de alumínio.

ABSTRACT

The present paper aims to develop an alternative for the temperature measurement system of aluminum plates in pit-type heating ovens for later lamination. During the project, the entire lamination process of the plates was studied and two proposals were made, which consisted of replacing the disposable thermocouples used for temperature measurement by two different infrared sensors. The intention is to reduce the high cost of thermocouples that have a short service life, in addition to providing better working conditions for operators, who will no longer have to undergo high temperatures to be able to check the temperature of the plates. From an economic feasibility study, it was possible to identify NPV, IRR and payback for both proposals, proving economic viability. Proposal A presented NPV of R\$ 117,594.12, IRR of 57.70% and payback of 1.71 years. On the other hand, Proposal B presented NPV of R\$ 101,694.98, IRR of 37.79% and payback of 2.54 years. It is understood that both meet the project requirements, but Proposition A was considered more viable because it has more feasible economic results.

Keywords: Automation of temperature measurement. Economic viability. Pit furnace. Aluminum lamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processos de uma unidade de laminação	15
Figura 2.2 – Placas advindas da refusão	16
Figura 2.3 – Faceadeira em pleno funcionamento	16
Figura 2.4 – Placa em processo de inserção no forno Pusher	17
Figura 2.5 – Tipos de laminadores	18
Figura 2.6 – Placa já em processo de laminação no laminador desbastador	18
Figura 2.7 – Laminador Tandem de uma unidade de laminação	19
Figura 2.8 – Bobinas pós laminação a quente	19
Figura 2.9 – Forno <i>pit</i>	21
Figura 2.10 – Forno Puscher	21
Figura 2.11 – Termopar tipo J	25
Figura 2.12 – Pirômetro manual	26
Figura 2.13 – Ilustração da placa de alumínio com o ponto onde é colocado o termopar	26
Figura 3.1 – Sensor: Proposta A	29
Figura 3.2 – Acessório controlador: Proposta A	30
Figura 3.3 – Sensor e Acessório controlador: Proposta B	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 – Fluxo de Caixa da Proposta A.	42
Gráfico 6.2 – Fluxo de Caixa da Proposta B.	43
Gráfico 6.3 – Relação VPL x TMA para as Propostas A e B.	44
Gráfico 6.4 – Tempo de <i>payback</i> para as Propostas A e B.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Equipamentos orçados com sensor da proposta A	32
Tabela 4.2 – Equipamentos orçados com sensor da proposta B	32
Tabela 6.1 – Custo de energia elétrica dos equipamentos	38
Tabela 6.2 – Custos com energia elétrica total/ano (R\$)	38
Tabela 6.3 – Despesas com manutenção anual das Propostas A e B	40
Tabela 6.4 – Depreciação para as propostas	40
Tabela 6.5 – Resultados de VPL, TIR e <i>Payback</i> das Propostas A e B.	43
Tabela 1 – Análise econômica para a Proposta A.	49
Tabela 2 – Análise econômica para a Proposta B.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	13
2	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	14
2.1	Processo de Laminação	15
2.1.1	Laminação a Quente	15
2.1.1.1	Preparação de Placas	15
2.1.1.2	Faceamento	16
2.1.1.3	Pré-aquecimento	17
2.1.1.4	Laminadores	17
2.1.1.5	Laminador Desbastador	18
2.1.1.6	Laminador Tandem	19
2.1.2	Laminação a Frio	20
2.2	Fornos	20
2.2.1	Tipos de fornos	20
2.2.1.1	Fornos tipo <i>Pit</i>	20
2.2.1.2	Fornos tipo Pusher	21
2.3	Laminados de alumínio	22
2.3.1	Características	22
2.3.2	Aplicações	23
2.4	Medição e medidores de temperatura	24
2.4.1	Termômetros de dilatação	24
2.4.2	Termopares	24
2.4.3	Termo-resistências	25
2.4.4	Termistores	25
2.4.5	Pirômetros de radiação	25
2.5	Utilização de termopar para medição de temperatura de placas em fornos	26
3	ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS	28
3.1	Descrição de cada componente a ser utilizado	28
3.1.1	Sensor	28
3.1.2	Acessório controlador	29
3.2	Alternativas levantadas	29

3.2.1	Descrição do pirômetro da proposta A	29
3.2.2	Descrição do pirômetro da proposta B	30
4	LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS ALTERNATIVAS	32
5	LEVANTAMENTO DOS BENEFÍCIOS	34
5.1	Impacto em melhorias de processo pós validação do sensor	34
5.2	Benefícios monetizáveis	34
5.3	Benefícios não monetizáveis	34
6	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA	36
6.1	Taxa Mínima de Atratividade	36
6.2	Método do Valor Presente Líquido	36
6.3	Método da Taxa Interna de Retorno	37
6.4	Composição do Fluxo de Caixa do Projeto	37
6.4.1	Despesas Operacionais	38
6.4.2	Despesas de Manutenção	39
6.4.3	Depreciação	40
6.4.4	Valor Residual	40
6.4.5	Retorno	41
6.4.6	Taxa Mínima de Atratividade	41
6.5	Resultados da Análise de Viabilidade Econômica	42
7	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	APENDICE A – Tabelas de Análises Econômicas	49
	ANEXO A – Dados dos equipamentos para a Proposta A	50
	ANEXO B – Dados dos equipamentos para a Proposta B	51

1 INTRODUÇÃO

No âmbito mundial, o uso do alumínio inicialmente foi visto em estatuetas e placas comemorativas. Com o passar dos anos, os processos de beneficiamento deste material foram se desenvolvendo. Então, no século XIX, segundo Associação Brasileira do Alumínio ABAL (2020a), houve aumento de produção e diminuição dos preços dos produtos. Isso proporcionou seu uso em diversos outros itens, inclusive em painéis nos primeiros automóveis. O interesse nas aplicações do alumínio foi crescendo e as indústrias passaram a incluir em seus processos o trabalho em produção de ligas de alumínio. Com as ligas, cada aplicação teria propriedades mecânicas adequadas à cada necessidade.

No Brasil, ainda de acordo ABAL (2020b), o desenvolvimento da indústria de alumínio teve início em 1917, quando foi instalada a Companhia Paulista de Artefatos de Alumínio. A partir de então muitas outras organizações do ramo foram se estabelecendo e ocupando fortemente seus espaços no mercado, tendo em vista que o produto em estudo possui um campo vasto de aplicações na engenharia. Então, para aprimorar as formas de beneficiamento do metal em cada aplicação, promovendo melhores números nos indicadores, o uso da automação como forma de alcançar resultados mais satisfatórios foi empregado de maneira crescente.

A automação de processos industriais é vista em grandes proporções, sobretudo em indústrias de grande porte. Silveira e Lima (2003) em um breve estudo acerca do histórico da automação industrial, considera que o início desta fase foi no século XVIII em meio a revolução industrial. Nos séculos seguintes, o meio industrial ganhou força e os processos rudimentares foram se tornando cada vez mais modernos. Entretanto, até os dias atuais se vê estudos para aprimorar cada vez mais algumas soluções.

Se tratando da automação no ramo industrial de laminados de alumínio é notável, tendo em vista os processos com materiais de grande porte (visível necessidade de grandes maquinários) bem como o controle de diversas variáveis, fazendo com que o processo se torne cada vez mais otimizado, seguro e efetivo. É possível realizar análises acerca de diversos assuntos em relação ao processo como um todo. Em relação à automação em unidades de laminação a quente no setor de preparação de placas, uma das variáveis de grande importância para um resultado ótimo é a temperatura. Medições de temperaturas podem ser realizadas por diversos instrumentos e o uso de cada tipo disponível no mercado é cabível em situações distintas, tendo cada qual os seus prós e contras. No presente trabalho, é analisado uma opção distinta para medição de temperatura.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo estudar uma nova alternativa de medição de temperatura de placas de alumínio e suas ligas durante o pré aquecimento em uma unidade de laminação a fim de obter melhorias no processo. Com isso, realizar também a análise da viabilidade econômica e os benefícios da alteração dos instrumentos de medição.

2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Em muitos processos industriais a aferição e controle da temperatura de materiais ou ambientes é frequente e fundamental. As medições podem ser realizadas de maneiras diversas e com o uso de diferentes equipamentos. Estes equipamentos são determinados de acordo com a necessidade do processo, o ambiente onde o mesmo ocorre, a faixa de temperatura na qual se deseja aplicar a medição, bem como outros inúmeros fatores.

O processo em estudo é a medição da temperatura de placas em sua fase de preparação e homogeneização para posterior laminação. Especificamente, trata-se da avaliação da temperatura das placas dentro dos fornos de pré-aquecimento assim que são retiradas. Portanto, em concordância com a finalidade, precisa-se de instrumentos que meçam altos valores de temperatura.

Atualmente a medição da temperatura deste processo é feita com o uso do termopar de contato, dispositivo extremamente versátil e amplamente utilizado no meio industrial. O termopar em questão é do tipo K. Por ser um instrumento de contato, é preciso que este seja inserido na placa para que seja possível iniciar as medidas.

Levando em consideração as altas temperaturas que os fornos alcançam, surgem problemas de grande relevância. São eles: a exposição dos operadores responsáveis por cumprir a atividade de introdução e retirada dos termopares na placa da liga de alumínio, além dos gastos elevados e recorrentes anualmente com a compra de uma quantidade grande de termopares.

O alumínio ou uma liga de alumínio, quando aquecido, não tem sua coloração alterada. Embora todos os operadores que lidem com este tipo de material sejam bem treinados, podem haver situações de falta de atenção que venham a causar graves acidentes. É super importante manter grande distanciamento das placas no processo de pré-aquecimento e homogeneização. Portanto, o instrumento adotado para a medida de temperatura atualmente, mesmo que eficiente, não é a melhor indicação do ponto de vista de segurança do operador.

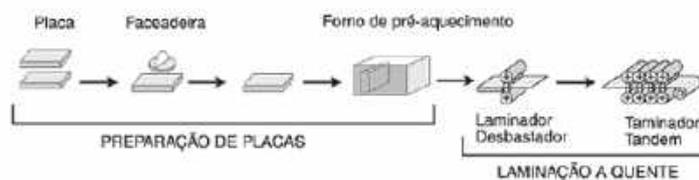
A partir dessas observações, visualiza-se a oportunidade de estudar novas maneiras de medidas de temperatura de placas em fornos. Entende-se que é indispensável um estudo sobre o processo para entender a importância da leitura correta nas medições de temperatura em específico no setor de preparação de placas.

2.1 Processo de Laminação

De acordo Ballot (2013), laminação do alumínio e de suas ligas é um processo de transformação mecânica baseado em deformar plasticamente o material para redução de sua seção transversal por meio de compressão. Essa compressão é realizada no momento da passagem da liga de alumínio entre dois cilindros, que podem ser de aço ou ferro fundido. Estes, possuem eixos paralelos e giram em torno do seu próprio eixo. A seção transversal citada faz referência a produtos como chapas e folhas de alumínio e suas ligas, ou seja, laminados planos. Os laminados planos podem ser produtos resultantes de somente laminação a quente ou da laminação a quente seguida da laminação a frio.

A Figura 2.1 mostra as principais etapas ocorridas na unidade de laminação.

Figura 2.1 – Processos de uma unidade de laminação



Fonte: ABAL (2020c)

Como é possível observar, a unidade abrange não apenas os laminadores, mas também um setor de preparação de placas. Este setor é composto por uma máquina responsável pelo faceamento e os fornos de pré-aquecimento.

2.1.1 Laminação a Quente

A laminação a quente, como o próprio nome diz, ocorre em temperatura relativamente alta, que é de aproximadamente 350° C. Portanto, permite reduções relativamente grandes na espessura do material em questão tendo em vista que a ductilidade do material a esta temperatura é máxima. Assim também se torna possível a recristalização, no caso, do alumínio de maneira dinâmica na deformação plástica.

2.1.1.1 Preparação de Placas

A matéria prima entregue à preparação de placas consiste em lingotes retangulares de aproximadamente 15 toneladas provenientes da refusão, onde o alumínio é fundido e vazado nos moldes para solidificação, conforme apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Placas advindas da refusão



Fonte: RevistaAluminio (2020)

Inicialmente, a placa é usinada superficialmente em um processo denominado faceamento, que será brevemente explicado a seguir.

2.1.1.2 Faceamento

O faceamento elimina segregações que ocorrem durante a refusão. Então, assim que as placas chegam nesta etapa, que é a primeira da preparação, são removidas camadas de óxido de alumínio e grãos colunares (primeira parte solidificada no molde). O maquinário responsável por essa fase é a faceadeira, apresentada na Figura 2.3. Trata-se de uma grande fresadora com facas instaladas na cabeça rotativa.

Figura 2.3 – Faceadeira em pleno funcionamento



Fonte: UlsanAluminum (2020)

No processo em análise para este trabalho, apenas as superfícies superior e inferior são usinadas na faceadeira, considerando que as laterais são retiradas em outros estágios. Entretanto, é uma decisão tomada individualmente de acordo o poder maquinário de cada indústria a partir do estudo do impacto na eficiência do processo.

2.1.1.3 Pré-aquecimento

Posterior ao faceamento, as placas seguem para um pré-aquecimento em fornos que permitirão chegar à temperatura ideal para a laminação. Os fornos utilizados podem ser do tipo empurrador, também conhecido como forno Pusher e mostrado na Figura 2.4. Outro tipo de forno é o poço de imersão, que no linguajar industrial é mais comumente chamado também de forno *Pit*.

Figura 2.4 – Placa em processo de inserção no forno Pusher



Fonte: UlsanAluminum (2020)

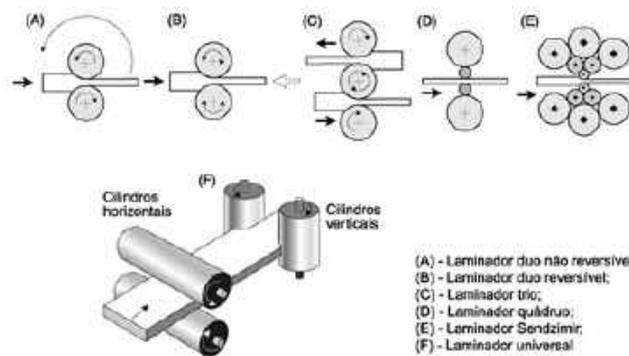
Os fornos permitem fazer com que as placas atinjam o nível semiplástico para serem laminadas. É imprescindível que este aquecimento seja realizado de maneira homogênea em toda a placa. Isso é essencial para evitar que ocorra rupturas internas, mudanças nas estruturas dos grãos e alterações da seção do produto final. Com isso, são eliminadas muitas complicações possíveis no restante do procedimento e tratamento do produto.

2.1.1.4 Laminadores

Assim como apresentado por ABAL (2020d), os laminadores mais conhecidos com uso na laminação a quente são reversíveis duos e quádruplos, como mostra a Figura 2.5 (a), (b) e (d), entretanto existem diversos tipos. Essas denominações são colocadas de acordo o número de cilindros. A cada vez que o material passa por entre os cilindros é dado o nome de passe. A

espessura do passe equivale ao espaço de abertura entre os cilindros de trabalho. Para cada liga de alumínio podem ser necessários números distintos de passes devido a diferença de dureza de cada uma.

Figura 2.5 – Tipos de laminadores



Fonte: ABAL (2020c)

Em suas versões mais modernas, a laminação conta com alta tecnologia e permite que o processo seja realizado em sequência. A princípio, faz-se o desbastamento em laminadores denominados reversíveis seguido de uma cadeia de laminadores de tiras a quente conhecido como Tandem.

2.1.1.5 Laminador Desbastador

O laminador desbastador é reversível e também conhecido como *Breakdown*. A placa tem, a cada passe, sua espessura reduzida em 50%. Ou seja, em cada passe, a placa é prensada para redução de espessura e esse processo ocorre similar ao mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Placa já em processo de laminação no laminador desbastador



Fonte: UlsanAluminum (2020)

Para evitar superaquecimento dos cilindros de laminação são utilizados óleos solúveis em água que compõem a emulsão e recirculam por entre o laminador durante a atividade. Isso promove o resfriamento bem como facilita a passagem do material por entre os cilindros.

2.1.1.6 Laminador Tandem

O Tandem, como pode ser visto na Figura 2.7, é um trem de laminação em série onde a passagem ocorre uma única vez. À vista disso, as reduções na espessura são realizadas de forma sucessiva.

Figura 2.7 – Laminador Tandem de uma unidade de laminação



Fonte: Gouveia (2012)

Assim como no laminador desbastador, no momento do processo são diversas as variáveis controladas, dentre elas, por exemplo, a temperatura, espessura, velocidade e tração. Cada uma dessas variáveis possuem extrema importância no produto final da laminação.

O produto resultante desse processo é uma bobina da liga de alumínio laminada com espessura variando de 2mm a 3mm, conforme apresentado na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Bobinas pós laminação a quente



Fonte: PRIMETALSTECHNOLOGIES (2020)

2.1.2 Laminação a Frio

Diferentemente da laminação a quente, a laminação a frio ocorre com temperaturas abaixo da temperatura de recristalização do alumínio e tem como matéria-prima a bobina do processo anterior. O processo de deformação a frio permite encruar o alumínio. O fim do processo resulta no alumínio bem acabado superficialmente e precisamente controlado em suas dimensões.

2.2 Fornos

Utilizados para transferência de calor, os fornos costumam operar em elevadas temperaturas. Na grande maioria dos processos essas temperaturas devem ser controladas com a intenção de garantir maior homogeneidade dos produtos (ALCANTARA; TANNURI, 2012). No presente estudo, os fornos serão avaliados no contexto do aquecimento de chapas de alumínio para posterior laminação.

É necessário garantir um bom controle de temperatura nos fornos, uma vez que esta interfere diretamente na estrutura física dos tarugos que serão aquecidos. Para o caso aqui estudado, em que os tarugos são esquentados para realizarem a laminação, é necessário garantir uma homogeneidade entre as temperaturas da face e do núcleo das peças. Essa homogeneidade garante uma melhor conformação dos mesmos. Outra justificativa para o controle de temperatura é que uma elevada temperatura poderia resultar na fusão do tarugo, que também é indesejada.

2.2.1 Tipos de fornos

São diversos os tipos de fornos utilizados na indústria para o aquecimento de placas metálicas. Neste projeto serão abordados apenas dois modelos que são os fornos *pusher* e *pit*, pois são os utilizados nos processos aqui mencionados. Entretanto, o foco será dado sobretudo ao tipo *pit*, tendo em vista que é o ambiente onde inicialmente se pensou em realizar a alteração no processo.

2.2.1.1 Fornos tipo *Pit*

Os fornos tipo *pit* possibilitam uma maior flexibilidade na escolha do tipo de peça a ser aquecida, pois possui fácil carregamento e descarregamento dos produtos. Eles são projeta-

dos para fornecer um aquecimento direto e homogêneo, a partir de um sistema adequado, que consegue garantir uma curva de aquecimento definida (THOMAS, 2019).

O forno é dividido em zonas individuais de aquecimento, que também podem ser controladas de maneira individual, garantindo assim uma otimização no gerenciamento de fluxo e por fim, maior homogeneização das peças (THOMAS, 2019). A Figura 2.9 mostra um forno *pit*, no momento em que um tarugo é retirado do mesmo.

Figura 2.9 – Forno *pit*



Fonte: VirtualExpo (2020)

2.2.1.2 Fornos tipo Pusher

O forno tipo pusher é caracterizado por possuir cilindros hidráulicos, com deslocamento longitudinal, ideais para a utilização de tarugos (JÚNIOR, 2007). O tarugo de alumínio é colocado no início do forno, como na Figura 2.10, sempre que existir espaço para isto, e este percorre todo o forno enquanto é aquecido.

Figura 2.10 – Forno Puscher



Fonte: OttoJunker (2020)

Após ser feita a alimentação do forno, os cilindros entram em atuação, fazendo o pressionamento entre os tarugos e proporcionando o deslocamento dos mesmos até a outra extremidade do forno, que é onde será retirado. Essa retirada é feita pelo *pell bar*, que se trata de uma lança que adentra o forno até entrar em contato com o tarugo e empurra-o para fora do forno. A partir deste ponto os tarugos seguem para as laminadoras.

Dentro do forno existem zonas de aquecimento, que são modificadas de acordo com a curva de aquecimento de cada tarugo. Como explanado por Júnior (2007) o controle dessa distribuição é crucial para que não haja um aquecimento excessivo das peças. Queimadores radiantes são utilizados para fazer o aquecimento das peças, que permanecem entre as zonas de acordo com a produção dos laminadores, sempre mantendo-se o controle dos queimadores para que não se exceda a temperatura entre as zonas.

2.3 Laminados de alumínio

Presente em diferentes áreas de atuação, por possuir características que facilitem a sua utilização, o alumínio é o metal não-ferroso mais consumido no mundo (ABAL, 2017). Dentre as características que o compõem, as que o torna mais versátil são o seu baixo peso específico, sua resistência a corrosão e alta condutividade elétrica e térmica (NISHIKAWA; CUNHA; PEREIRA, 2011). Pode ser aplicado tanto no setor industrial, em construções civis e meios de transporte, quanto em elementos cotidianos (eletrodomésticos, embalagens, latas de bebidas, etc).

Apesar de ter sido descoberto em 1809, o alumínio só foi isolado em 1825, por Hans Christian Oersted, e apenas em 1886 foi encontrado um processo que fizesse a sua redução de maneira econômica, o processo eletrolítico por meio de corrente elétrica. Este, foi descoberto ao mesmo tempo por Paul Louis Toussaint Heroult, francês, e Charles Martin Hall estadunidense (ABAL, 2017).

O alumínio não possui fácil extração, pois não é encontrado de forma pura, mas sim em forma de óxidos. O minério mais utilizado para obtenção do alumínio é a bauxita, que possui teor entre 35 e 45 de óxido de alumínio (BALLOT, 2013).

2.3.1 Características

Como já mencionado anteriormente, o alumínio possui diversas características que o tornam atrativo para ser utilizado, e serão listadas a seguir algumas dessas características:

- a) Leveza – Por ser um material bem mais leve que os demais metais, proporciona menor consumo de combustível para a indústria de transportes, como também maior praticidade para embalagens de alimentos, por exemplo;
- b) Condutibilidade – Possui excelente condutibilidade, tanto térmica quanto elétrica. Pode ser utilizado em ampla escala para trocadores e dissipadores de calor;
- c) Resistência a corrosão - O alumínio adquire uma camada de óxido a ser exposto a atmosfera, o que previne que o mesmo sofra oxidação, garantindo maior proteção a corrosão (ABAL, 2017). Bastante útil para produção de materiais de construção, por minimizar o desgaste dos mesmos com o tempo, bem como auxiliar na conserva de alimentos, quando utilizado para produzir embalagens;
- d) Resistência e dureza – Em sua forma mais pura possui resistência a tração de 90 MPa (BALLOT, 2013), o que não lhe garante uma grande utilidade. Entretanto, com adição de outros elementos, as ligas de alumínio adquirem maior resistência, ampliando suas possibilidades. Essa característica auxilia na construção, por exemplo, de meios de transporte como aviões e trens;
- e) Reciclabilidade – Essa característica é bastante útil, pois auxilia numa grande economia de energia, que seriam utilizados para sua produção. Outra direta consequência dessa característica é a redução de resíduos, causados pela reciclagem.

2.3.2 Aplicações

O alumínio pode ser utilizado com diversas finalidades e a seguir serão listadas algumas das mais conhecidas formas de utilizar o alumínio, baseadas em seu formato:

- a) Perfis extrudados – Estes perfis são os mais utilizados pela indústria civil, pois a partir deles são feitos itens como portas, janelas, bem como também para produção de diversos objetos de uso cotidiano, como componentes de bicicletas e automóveis;
- b) Chapas e laminados – São os mais utilizados para a fabricação das latas de alumínio, mas também são amplamente implementadas em outros setores além do das embalagens;
- c) Folhas – podem ser feitas em diversas espessuras, para diversas funcionalidades, mas são principalmente utilizadas em embalagens;

- d) Fios e cabos – Como já mencionado, o alumínio possui excelente condutibilidade elétrica, o que o torna um bom aliado na construção de fios;
- e) Fundidos e forjados – Por ser um material de mais fácil moldagem, está presente em diversas partes que compõem equipamentos e veículos.

2.4 Medição e medidores de temperatura

Medições de temperaturas são realizadas em processos industriais diversos. Em muitos destes, além de uma variável mensurada, também pode ser controlada. No processo em estudo, a temperatura é um parâmetro fundamental. A laminação só ocorre de forma bem sucedida se a placa for pré-aquecida de maneira correta. Para tanto, ter a temperatura da mesma dentro de certos intervalos é essencial, tendo em vista que controlar essa variável faz com que se torne possível assegurar as propriedades materiais exigidas. Então, dentro da unidade de laminação, a temperatura é mensurada e controlada tanto durante a etapa de pré-aquecimento nos fornos quanto na etapa de passes nos laminadores.

Quanto à forma de realizar a medição, há uma variedade de maneiras de se medir a temperatura dos materiais, com sensores com diferentes faixas de atuação, sensibilidade e robustez. A seguir serão listadas as mais utilizadas industrialmente.

2.4.1 Termômetros de dilatação

São termômetros com indicação visual, que funcionam a partir da expansão/contração do volume de determinado componente. Esse componente pode ser um líquido, gás ou uma lâmina bimetálica, alterando o seu sistema de medição, mas mantendo a premissa de funcionamento. A partir de um visor com escala, é possível indicar a temperatura causada pela variação dos componentes (FRANÇA, 2007).

2.4.2 Termopares

Os termopares funcionam a partir do efeito *seeback*, que consiste na geração de uma tensão termoelétrica resultada da diferença de temperatura entre dois condutores de diferentes naturezas (FRANÇA, 2007).

Existem diferentes tipos de termopares, com diferentes faixas de atuação, de acordo com os materiais utilizados em sua fabricação. Suas principais características são seu baixo tempo

de resposta, relativa estabilidade da tensão e ser facilmente adaptável. Na Figura 2.11 é possível ver um termopar industrial.

Figura 2.11 – Termopar tipo J



Fonte: Omega (2020)

2.4.3 Termo-resistências

A partir de uma variação na resistência elétrica de determinado condutor, em função da temperatura, é possível determinar a temperatura dos objetos (FRANÇA, 2007). A configuração dos resistores, bem como o material de que são feitos, determina características como precisão e sensibilidade das termo-resistências. Tem como principais características a linearidade, grande faixa de medição e precisão, bem como robustez, porém possui elevado custo.

2.4.4 Termistores

Tem seu funcionamento com base na variação da resistência elétrica de um semi-condutor em função da temperatura. Difere das termo-resistências por não possuir uma complexa configuração de resistores, sendo apenas um elemento metálico em sua composição (FRANÇA, 2007). São sensores com alta sensibilidade, baixo custo, porém atuam em baixas faixas de temperatura.

2.4.5 Pirômetros de radiação

Funcionam a partir da variação da radiação emitida pelos materiais, em função da temperatura. Os sistemas desses termômetros usam da Lei de Stefan-Boltzmann para determinar a temperatura, que diz que a radiância de um corpo está relacionada a sua temperatura absoluta (FRANÇA, 2007). Possuem como principais características a possibilidade de medir elevadas temperaturas e em ambientes de difícil acesso.

A partir de um sistema ótico, que capta a radiação térmica, é possível enviar essa energia a um material piroelétrico, que gera uma tensão ao detectarem radiação de temperatura, convertendo essa tensão em uma temperatura proporcional. Podem operar no espectro de frequência infravermelho e também na frequência da luz visível, variando de acordo com sua fabricação (FRANÇA, 2007). A Figura 2.12 mostra um pirômetro manual, que atua no espectro infravermelho.

Figura 2.12 – Pirômetro manual



Fonte: WIKABrasil (2020)

2.5 Utilização de termopar para medição de temperatura de placas em fornos

Para realização de medição de temperaturas de placas de alumínio ou ligas de alumínio se faz uso de termopares do tipo K no caso em estudo. Para tanto, semelhante à figura 2.13 o termopar é inserido na placa no ponto preto em sua parte inferior.

Figura 2.13 – Ilustração da placa de alumínio com o ponto onde é colocado o termopar



Fonte: Do autor (2020).

Após o pré-aquecimento, a placa é içada por uma ponte pinça para ser retirada do forno *pit*. Neste momento, um tanto quanto perigoso, é feita a retirada do termopar de contato por um operador.

Inicialmente o operador deve estar devidamente equipado para realização da atividade, de maneira que sua proteção esteja em primeiro lugar. Todos os equipamentos de proteção individual para trabalho em altas temperaturas devem ser utilizados. Além disso, por ser uma atividade de içamento de carga, é necessário que o operador da ponte também esteja focado em seu trabalho sobretudo no momento da retirada do termopar, pois a proximidade entre o colaborador e a placa quente será bem grande. É interessante reforçar que não é só ao calor emitido pela placa que o operador fica exposto, mas sim ao vapor quente que vem do forno, tendo em vista que a porta do mesmo fica aberta enquanto a atividade ocorre.

Então, além de todas essas questões de segurança, tem-se o gasto excessivo com a compra de termopares. Isso acontece por serem descartáveis. No caso de indústria com produção de grande porte, seriam necessários vários termopares e isso é, de maneira clara, financeiramente ruim.

A partir de todas essas questões pontuadas, surgiu o interesse na alteração do método de medição de temperatura. Então inicia-se o estudo a fim de encontrar uma técnica e instrumento de medição que se encaixe no contexto, trazendo melhorias de processo, financeiras e de segurança.

3 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

A fixação de um pirômetro que atue no espectro da frequência infravermelho, dentro do forno, para que as medidas de temperatura possam ser feitas durante o processo de aquecimento, seria uma alternativa para otimizar o atual sistema existente.

A proposta para a solução do problema mencionado anteriormente, é acoplar um sensor, de alta precisão e sensibilidade, economicamente viável, ao forno presente na fábrica, afim de conseguir a medição de temperatura necessária para que se passe para as próximas etapas dos processos de laminação. Com isso, pretende-se diminuir o gasto excessivo com termopares no decorrer do ano, bem como proporcionar melhores condições de trabalho aos operadores, uma vez que não mais seria necessário que os mesmos adentrassem o forno para realizar tais medições.

Portanto, pode-se entender que a alternativa proposta neste trabalho é a automatização da medição de temperatura em fornos tipo *pit*. Essa automatização compreenderia a medição dos valores de temperatura das placas durante o aquecimento ou ciclos de homogeneização nos fornos. Os dados seriam tanto enviados quanto capturados de forma automática por meio de sensores. Ainda assim, em painéis de controle e salas de monitoramento seria possível que operadores visualizassem os dados.

Serão apresentadas duas propostas, A e B, prevendo o uso de pirômetros em substituição à medição com termopares. Inicialmente, uma visão geral dos componentes envolvidos nas duas propostas é apresentada. Em seguida, os pirômetros serão descritos de forma individual visando destacar suas diferenças.

3.1 Descrição de cada componente a ser utilizado

A seguir serão listados os componentes propostos para compor o projeto de mensuração da temperatura nos fornos.

3.1.1 Sensor

Com o objetivo de mensurar a temperatura das placas dentro dos fornos, propõe-se a utilização de pirômetro que atue no espectro infravermelho.

Como mencionado anteriormente, os pirômetros são bastante robustos, conseguindo atuar em ambientes com elevadas temperaturas. Pirômetros que utilizam do espectro infraver-

melho para fazer a mensuração da temperatura são economicamente mais viáveis, pois ainda apresentam grande faixa de medição e também precisão.

3.1.2 Acessório controlador

O acessório controlador é um componente complementar ao sensor, que tem a função de captar os dados obtidos pelo sensor e transmitir para as demais unidades do sistema. Possui chaves de programação simples e também um pequeno visor para auxiliar durante essa sua programação.

Também possui armazenamento interno que possibilita armazenar uma programação prévia, afim de fazer com que atue de acordo com as definições do usuário. Possui robustez suficiente para aturar as elevadas temperaturas as quais os sensores são submetidos, mas o ideal é que seja acoplado em local de fácil acesso para possíveis configurações ou reparos, em geral junto ao painel de controle dos demais equipamentos que compõem o sistema.

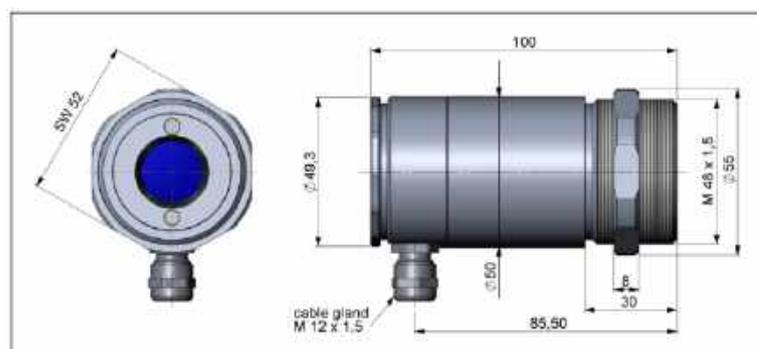
3.2 Alternativas levantadas

Visando realizar a automação dos sistema de medição de temperatura das placas nos fornos *pit*, duas alternativas foram levantadas neste trabalho, utilizando pirômetros com especificações diferentes que serão descritas a seguir.

3.2.1 Descrição do pirômetro da proposta A

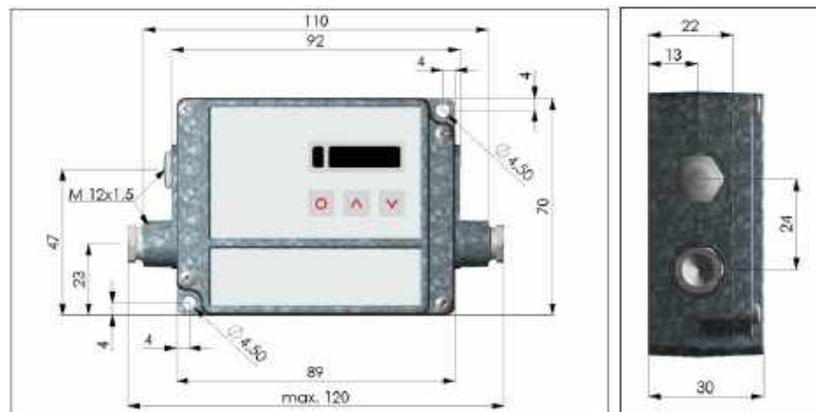
Na proposta A, o sensor utilizado possui faixa de medição entre 150 e 1000 °C, precisão de $\pm 0,3\% + 2^\circ\text{C}$ e resolução de temperatura de $0,2^\circ\text{C}$. Na Figura 3.1 e 3.2 é mostrado o aspecto físico do componente sensor e o acessório controlador desta proposta com suas dimensões.

Figura 3.1 – Sensor: Proposta A



Fonte: (OPTRIS, 2018)

Figura 3.2 – Acessório controlador: Proposta A

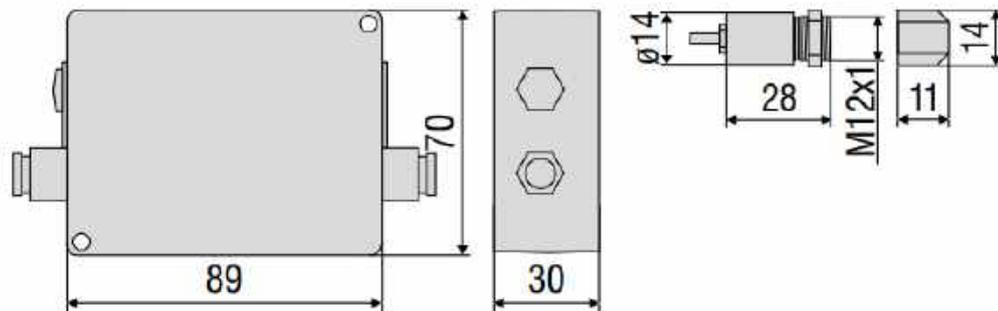


Fonte: (OPTRIS, 2018)

3.2.2 Descrição do pirômetro da proposta B

Na proposta B utiliza-se um sensor com faixa de medição entre 250 e 1800 °C, a precisão é de $\pm 0.3\% + 2^\circ\text{C}$ e resolução de temperatura de $0,1^\circ\text{C}$. É possível a partir das dimensões e do desenho exposto na Figura 3.3 verificar o aspecto do controlador ao lado esquerdo da imagem e do sensor ao lado direito.

Figura 3.3 – Sensor e Acessório controlador: Proposta B



Fonte: (SMARTEC, 2020)

O sistema, bem como o ambiente que seria desenvolvido para implementação das propostas, é o mesmo. O que difere entre as duas propostas são as especificações dos sensores. Um sensor com mais sensibilidade e também maior precisão, como esse proposto, é capaz de dar respostas mais concretas sobre a variável de temperatura medida. Além das já citadas faixa de medição e resolução, existe grande diferença entre o custo dos componentes.

Ambos os sensores conseguem suportar as temperaturas a que seriam submetidos, possuem faixa de medição que abrange as temperaturas as quais as placas são submetidas e seus respectivos controladores possuem autonomia para fornecer os dados necessários.

A segunda proposta tem como objetivo mostrar que dois sensores, apesar de serem do mesmo tipo, conseguem trazer resultados de diferentes proporções. Esses resultados podem interferir na maneira com que os dados são interpretados, podendo ser avaliado por sua confiabilidade e sensibilidade.

Mais informações sobre os dados técnicos de ambos os sensores podem ser vistos no Anexo A e B, que contem os catálogos dos equipamentos.

4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS ALTERNATIVAS

Foi feito levantamento dos equipamentos necessários para implementação do projeto, seus custos e potenciais fornecedores. Visando um melhor custo benefício, as Tabelas 4.1 e 4.2 listam os componentes para as propostas, utilizando dois sensores do mesmo modelo, porém com especificações diferentes, como raio de atuação e consumo de energia elétrica, por exemplo.

Tabela 4.1 – Equipamentos orçados com sensor da proposta A

Equipamentos	Quantidade	Preço/unidade (R\$)	Valor final (R\$)
Sensor A	1	6.500,00	6.500,00
Controlador A	1	1.300,00	1.300,00
Subtotal dos equipamentos			7.800,00
Horas de Engenharia	20	61,00	1.220,00
Componentes para Instalação	1	17.000,00	17.000,00
Instalação e Despesas adicionais	1	2.000,00	2.000,00
Total de investimento			28.020,00

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 4.2 – Equipamentos orçados com sensor da proposta B

Equipamentos	Quantidade	Preço/unidade (R\$)	Valor final (R\$)
Sensor B	1	15.520,00	15.520,00
Controlador B	1	4.774,30	4.774,30
Subtotal dos equipamentos			20.294,30
Horas de Engenharia	20	61,00	1.220,00
Componentes para Instalação	1	17.000,00	17.000,00
Instalação e Despesas adicionais	1	2.000,00	2.000,00
Total de investimento			40.514,30

Fonte: Do autor (2020).

Os componentes para instalação do sensor englobam os seguintes itens: elaboração de uma rede elétrica rígida - capaz de suportar as elevadas temperaturas do forno, suporte para o sensor, tubulação para medição da placa e vidro de quartzo. Estes itens foram estimados em

conjunto e possuem os mesmo valores para as duas propostas como pode ser observado nas Tabelas 4.1 e 4.2 .

Foi considerado tanto o tempo necessário para elaboração do projeto quanto o de implementação do sistema de medição de temperatura no forno. Para determinar o valor de horas trabalhadas foi utilizada uma tabela de preços desenvolvida pela Associação Brasileira de Consultores de Engenharia, publicada em 2015.

De forma geral, as Tabelas 4.1 e 4.2 contêm os preços dos sensores e controladores de ambas as propostas, aqui diferenciadas como A e B; as horas de engenharia que serão utilizadas para planejamento e instalação dos equipamentos; os componentes anteriormente citados, utilizados para montagem do sistema de fixação do sensor dentro do forno; e um valor adicional para eventuais despesas decorrentes da instalação dos componentes.

5 LEVANTAMENTO DOS BENEFÍCIOS

Primeiramente faz-se necessário lembrar que os indicadores-chave do projeto em estudo são custo e segurança. A implantação da ideia é conveniente e justificada por diversos pontos. A proposta traz consigo benefícios econômicos e em prol da saúde dos operadores bem como a possibilidade de melhor controle e assertividade para eficiência do processo.

5.1 Impacto em melhorias de processo pós validação do sensor

Quando se trata de melhoria de processo, é esperado que haja confiabilidade considerável após validação do instrumento. Sendo que sua instalação seria realizada pós-calibração e análise de dados adquiridos e comparados com medidas tomadas por meio do instrumento anteriormente utilizado (termopar). Sendo assim, seria assegurada uma alta precisão, acurácia e repetitividade.

5.2 Benefícios monetizáveis

No âmbito financeiro, a redução do custo é um ponto interessante em se observar. O investimento na aquisição de termopares tipo K utilizados com a mesma finalidade é alto, fazendo com que, anualmente, sejam gastos pela empresa cerca de R\$100.000,00 com a sua aquisição. Estima-se um custo de aproximadamente R\$16.600,00 em cada um dos fornos *pit*.

A troca de termopares para medição em diferentes placas faz com que sejam demandadas várias horas de engenharia e isso incrementa o valor gasto com o tipo de medição atual. Com a validação do sensor, este gasto seria diminuído em grande escala, pois sua manutenção seria realizada com muito menos frequência e a vida útil do sensor é extremamente maior comparada a do termopar de contato em uso, que é descartável.

5.3 Benefícios não monetizáveis

Na atualidade, é visto uma abundante preocupação em relação às políticas de saúde e segurança do trabalho e, por isso, descontinuar a necessidade de exposição do operador às altas temperaturas para execução do serviço é primordial. Prevenir a ocorrência de acidentes de trabalho é tão importante que muitas empresas possuem setores direcionados a coordenar tais assuntos. O risco na realização da atividade em questão é altíssimo. Por isso, o uso do sensor infravermelho de temperatura para efetuar a medição diminuiria consideravelmente qualquer

probabilidade de ameaça a integridade física do operador. Isso pode ser afirmado visto que o mesmo não precisaria aferir a temperatura da placa com a porta do forno aberta, recebendo o vapor quente diretamente, como acontece quando se faz o uso do termopar.

6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

É necessário definir um parâmetro para avaliar a viabilidade ou não de se investir nos projetos. São diversos os métodos que podem ser utilizados, e também são diversas as variáveis que influenciam no desempenho dos mesmos, como custo e disponibilidade de recursos, a rentabilidade do projeto investido e as taxas de juros que devem ser pagas no mercado (RODRIGUES, 2008).

Para o presente projeto serão utilizados dois métodos que conseguem sintetizar de maneira simples e direta a viabilidade ou não de se fazer o investimento aqui proposto, que consiste no Método do Valor Presente Líquido e o Método da Taxa Interna de Retorno, que serão explicados a seguir, bem como a utilização do conceito de *payback*, que resumidamente se refere ao tempo necessário para que o investimento seja suprido pelos retornos do projeto.

6.1 Taxa Mínima de Atratividade

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) auxilia os investidores a preverem o quão rentável o projeto ou produto de interesse pode ser. É a partir desta que consegue-se identificar o mínimo de retorno viável, ou em outras palavras, o quanto o investidor está apto a pagar por determinado retorno (NOGUEIRA, 2013). Utilizando-se das mais importantes taxas de juros do mercado, como a TMF (Taxa Básica Financeira) ou a SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), por exemplo, é possível estimar a TMA.

6.2 Método do Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos mais utilizados métodos para análises de viabilidade econômica de investimentos, por conseguir trazer ao atual valor do investimento, um valor futuro. Calcula-se o VPL a partir da suposição de que o caixa disponível, valor a ser investido, é deslocado para uma data 0 (zero), a uma taxa específica de juros, usualmente a TMA (NOGUEIRA, 2013).

O cálculo da VPL é descrito pela Equação 6.1:

$$VPL = \sum_n^{t=0} \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} \quad (6.1)$$

Onde:

FC_t é o fluxo de caixa total;

TMA é a taxa de desconto (taxa mínima de atratividade);

t é o período (em anos).

A partir do valor de VPL obtido, pode-se determinar a viabilidade ou não do investimento: VPL negativo indica que houveram mais despesas que lucro, inviabilizando o projeto; VPL positivo indica que as receitas obtidas supriram as despesas, viabilizando o projeto; VPL igual a zero indica que as receitas e despesas são iguais, tornando a decisão de investimento neutra.

6.3 Método da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma ferramenta também utilizada na engenharia econômica, muitas vezes em conjunto a aplicação do VLP. De forma geral, a TIR auxilia no encontro de uma TMA que proporcione um VLP igual a zero, aplicado ao fluxo de caixa. Apresenta, portanto, a rentabilidade do projeto (NOGUEIRA, 2013).

Dessa forma, se a TIR for superior a TMA indica que o projeto é viável e pode ser aprovado. Por outro lado, se a TIR for inferior a TMA indica que o projeto é inviável e deve ser rejeitado. Por fim, se a TIR for igual a TMA indica neutralidade quanto a decisão de prosseguir ou não com o projeto.

O cálculo da da TIR é feito a partir da equação 6.2:

$$VPL = 0 = FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (6.2)$$

onde:

VPL é o valor presente, sempre igual a zero;

*FC*₀ é o capital investido, sempre negativo;

*FC*_{*t*} é a entrada de capital no período *t*;

n é a quantidade de período a ser avaliado;

TIR é a taxa interna de retorno, que deve ser encontrada.

6.4 Composição do Fluxo de Caixa do Projeto

Para realizar as análises necessárias para atestar a viabilidade do projeto será utilizado como fluxo de caixa todas as entradas e saídas financeiras do mesmo. O retorno financeiro subtraído dos custos e investimento será o valor líquido, enquanto o fluxo de caixa acumulado

será obtido a partir da soma do caixa obtido com o fluxo de caixa do ano anterior. Os cálculos em questão podem ser vistos no Apêndice A.

6.4.1 Despesas Operacionais

As despesas operacionais se referem aos gastos feitos para manter o projeto em andamento (NOGUEIRA, 2013). Para este projeto tem-se como gasto a energia elétrica consumida tanto para alimentação do sensor de temperatura quanto para o controlador do mesmo. Para a realização do cálculo são consideradas as potências dos equipamentos, o tempo que permanecem em uso e o valor cobrado por quilowatt-hora (kWh) pela companhia de energia.

Os fornos não são desligados durante o ano, pois o processo de reaquecimento do mesmo exige elevado consumo de energia elétrica. Portanto, é possível determinar que os aparelhos permanecerão ligados intermitentemente, totalizando 8.760 horas por ano. O preço do quilowatt-hora, fornecido pela companhia de energia elétrica EDP - Pindamonhangaba, é de R\$ 0,41756.

Para definir o consumo de energia dos aparelhos foi utilizada a Tabela 6.1, com o consumo em kW de cada componente. Vale ressaltar que os sensores e controladores compartilham das mesmas especificações, por esse motivo foram apresentados juntos.

Tabela 6.1 – Custo de energia elétrica dos equipamentos

Equipamento	Potência do equipamento (kW)	Custo total/ano (R\$)
Sensor e Controlador A	0,0038	13,90
Sensor e Controlador B	0,0048	17,56

Fonte: Do autor (2020).

Por fim, a Tabela 6.2 mostra os custos operacionais totais de cada proposta, que são referentes aos custos com energia elétrica de ambos.

Tabela 6.2 – Custos com energia elétrica total/ano (R\$)

Projeto	Despesa operacional total/ano (R\$)
Proposta A	27,80
Proposta B	35,11

Fonte: Do autor (2020).

É interessante pontuar que o preço cobrado por quilowatt-hora de energia elétrica varia anualmente, porém essa variação é influenciada por diversos fatores externos e é incerto um padrão para tal. Portanto, para o presente projeto, será considerado esse valor como constante durante os períodos avaliados.

6.4.2 Despesas de Manutenção

Considerando-se o tempo de vida útil dos equipamentos do projeto é possível definir uma determinada quantia para realizar manutenção e também manter um eventual suporte dos mesmos. Para ambas as propostas tem-se 10 anos de vida útil de ambos os componentes, sensor de temperatura e controlador.

Os custos com manutenção podem ser definidos de acordo com a quantidade que as empresas pretendem disponibilizar para tentativa de manter os equipamentos em boas qualidades. Para essa proposta, estipulou-se um valor de até 3% sobre os componentes utilizados, como pode ser visto na Equação 6.3.

$$M = 0,03 * V \quad (6.3)$$

Onde:

M é a despesa total com manutenção, R\$;

V é a soma do valor de todos os equipamentos, R\$.

Para a proposta A temos:

$$M = 0,03 * (V_{sensorA} + V_{controladorA})$$

$$M = R\$ 234,00 \text{ a.a.}$$

Para a proposta B:

$$M = 0,03 * (V_{sensorB} + V_{controladorB})$$

$$M = R\$ 608,83 \text{ a.a.}$$

A Tabela 6.3 sintetiza os dados aqui mencionados, referentes aos gastos com manutenção anual de cada proposta.

Tabela 6.3 – Despesas com manutenção anual das Propostas A e B

Projeto	Custo da proposta	Custo de manutenção total/ano (R\$)
Proposta A	28.020,00	234,00
Proposta B	40.514,30	608,83

Fonte: Do autor (2020).

6.4.3 Depreciação

A depreciação pode ser entendida como a perda de valor dos bens materiais com o decorrer do tempo, seja por seu constante uso ou o próprio desgaste natural. Essa depreciação pode ser contabilizada financeiramente, a partir de uma redução em seu valor patrimonial com relação a sua vida útil (NOGUEIRA, 2013).

Para o presente projeto serão utilizados os valores de depreciação e tempo de vida útil para máquinas e equipamentos de medição, bem como aparelhos eletrônicos, disponibilizado pela Receita Federal (RECEITAFEDERAL, 2020). São 10 anos de vida útil e 10% de depreciação anual dos itens. Os cálculos podem ser vistos na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Depreciação para as propostas

Projeto	Custo dos equipamentos (R\$)	Depreciação anual (R\$)
Proposta A	7.800,00	780,00
Proposta B	20.294,30	2.029,43

Fonte: Do autor (2020).

Ambos os cálculos foram feitos com base nas informações contidas nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente considerando-se apenas os custos dos sensores e de seus controladores. Não foi considerada depreciação de horas de engenharia, bem como os componentes utilizados para instalação dos equipamentos, por não terem perda de valor com decorrer do tempo.

6.4.4 Valor Residual

O valor residual de um produto é dado por quanto o mesmo vale ao final de sua vida útil, baseado nos valores de depreciação do mesmo (NOGUEIRA, 2013). O cálculo do resíduo pode ser feito a partir da Equação 6.4:

$$Rd = V - (Dp * t) \quad (6.4)$$

Onde:

Rd é o valor residual, em R\$;

V é o valor gasto com os equipamentos, em R\$;

Dp é o valor de depreciação, em R\$;

t é o tempo, em anos.

Considerando os 10 anos de vida útil dos equipamentos, chega-se ao seguinte valor residual:

$$Rd = \text{R\$ } 0,00$$

Com valor residual a zero, tem-se que os equipamentos utilizados não terão mais valor de mercado ao fim da análise feita, ou seja, não podem ser somados como bem monetizável para o caixa da empresa ao fim dos 10 anos analisados.

6.4.5 Retorno

O valor de retorno consiste na quantia arrecadada pelo ativo no decorrer dos anos. Para esse projeto o retorno se dá pela economia ao deixar de comprar os termopares, uma vez que serão substituídos por um único sensor, como foi explanado no Capítulo 5. O valor de retorno foi obtido a partir de uma análise interna feita pela empresa onde se propõe melhoria nos processos de medição. A mesma possui um total de 6 fornos tipo *pit* e economizaria um total de aproximadamente R\$ 100.000,00 anuais caso não mais necessitasse realizar a compra de termopares para os seis fornos. Como o estudo propõe a implementação do projeto em apenas um dos fornos, tem-se um retorno anual de aproximadamente R\$ 16.600,00 por ano.

6.4.6 Taxa Mínima de Atratividade

Para TMA do presente projeto foi considerada a taxa SELIC, disponível no Banco Central do Brasil, em 29 de junho de 2020, dada por:

$$TMA = 2,15\%$$

6.5 Resultados da Análise de Viabilidade Econômica

A partir dos dados listados nas seções anteriores foi possível realizar um balanço dos investimentos para as duas propostas, que pode ser resumido a partir dos Gráficos 6.1 e 6.2. A partir dos cálculos realizados foi possível a montagem de uma tabela que sintetiza os principais resultados obtidos, que pode ser vista no Apêndice A. O período considerado para as análises foi de 10 anos.

Gráfico 6.1 – Fluxo de Caixa da Proposta A.



Fonte: Do autor (2020).

Gráfico 6.2 – Fluxo de Caixa da Proposta B.



Fonte: Do autor (2020).

Também foram encontrados, a partir das Equações 6.1 e 6.2, o VPL e a TIR das duas propostas, bem como o *payback* de ambas. A Tabela 6.5 resume os resultados obtidos.

Tabela 6.5 – Resultados de VPL, TIR e *Payback* das Propostas A e B.

	Proposta A	Proposta B
VPL	R\$ 117.594,12	R\$ 101.694,98
TIR	57,70%	37,79%
<i>Payback</i>	1,71 anos	2,54 anos

Fonte: Do autor (2020).

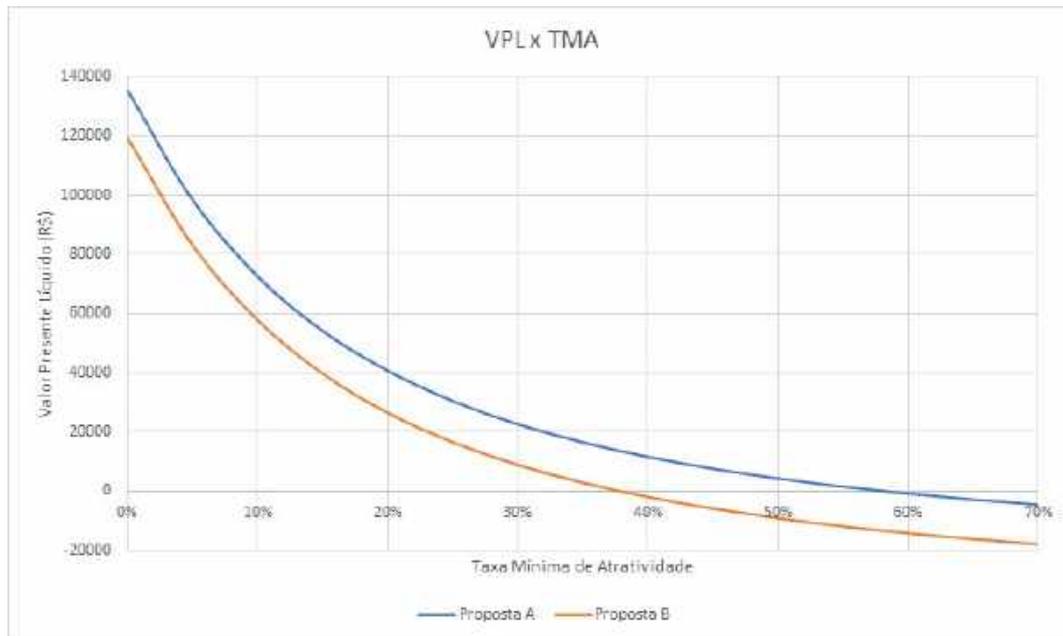
Como proposto no decorrer do documento, espera-se que as análises apontem que as propostas possuam VPL superior a zero e uma TIR superior à TMA, o que indicaria que as mesmas são economicamente viáveis.

Os dados apresentados na Tabela 6.5 mostram que seguindo essas premissas, ambas as propostas são passíveis de aprovação, com VPL elevados e TIR expressivamente superiores a TMA em questão. Também é possível notar que os *paybacks* de ambas as propostas é muito curtos, inferiores ao tempo de vida útil dos equipamentos. Em todos os requisitos, a Proposta

A apresenta resultados superiores em relação a Proposta B, com TIR bastante superior e com quase um ano a menos de *payback*.

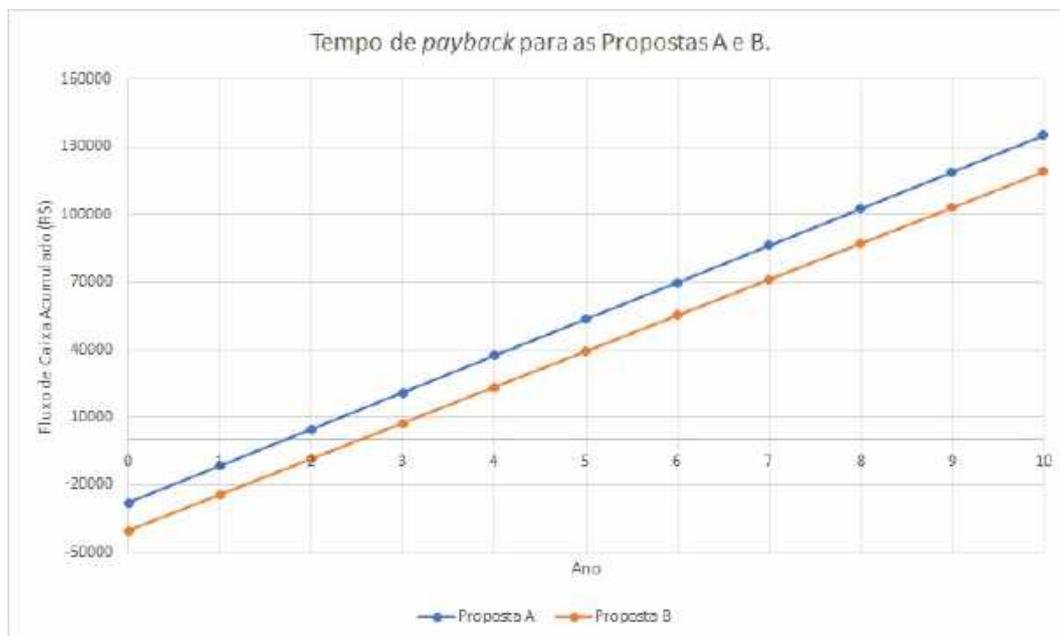
Também foi construído um gráfico que mostra a sensibilidade das propostas à variação da TMA, que pode ser visto no Gráfico 6.3. Comparando as duas propostas, é possível perceber que a Proposta B é mais sensível à variação da TMA, chegando em seu limite de alteração antes que a proposta deixe de ser interessante muito antes da Proposta A.

Gráfico 6.3 – Relação VPL x TMA para as Propostas A e B.



Fonte: Do autor (2020).

Por fim, o Gráfico 6.4 foi gerado a fim de comparar o tempo gasto até que os valores investidos fossem compensados pelos retornos gerados pela implementação das propostas. É o gráfico que relaciona o tempo com o fluxo de caixa acumulado, e quando se atinge o valor de R\$ 0,00, o investimento é tido como pago - esse tempo é o já comentado *payback*. Quanto maior esse tempo, maior é o risco de tal investimento.

Gráfico 6.4 – Tempo de *payback* para as Propostas A e B.

Fonte: Do autor (2020).

Os investidores devem avaliar, além dos resultados obtidos com as análises, as especificações que diferem os dois sensores propostos. Porém, como mencionado anteriormente no Capítulo 3, ambos cumprem os requisitos necessários e são igualmente eficazes para obtenção dos dados desejados, tornando a Proposta A economicamente mais viável.

7 CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi desenvolver alternativas economicamente viáveis para a redução de gastos excessivos com termopares e também melhoria das condições de trabalhos de operadores durante os processos de aquecimento de placas de alumínio, a partir do aprimoramento do processo de medição de temperatura destas placas.

Foram feitas análises com base nos resultados obtidos com os estudos e foi possível constatar que ambas as propostas atendem às expectativas. A Proposta A apresentou melhores resultados financeiros, por exigir um investimento inicial inferior e conseguir retornar lucro ao investidor em um expressivo menor período de tempo. Também possui menos sensibilidade a alteração da TMA, o que a torna mais segura. Num âmbito não monetizável, ambas as propostas oferecem excelente retorno ao conseguirem impedir que operadores se submetam as elevadas temperaturas dos fornos ao terem que medir as placas. A diferença de resposta dada pelos dois sensores é de grande relevância no processo como um todo, pois quanto mais precisa essa medição, maior a garantia de que se obterão produtos de melhor qualidade. Apesar de o sensor da Proposta B apresentar melhores respostas no processo, o sensor da Proposta A já consegue grande melhoria quanto aos resultados que se obtém atualmente com o uso dos termopares. Portanto, caso os investidores estejam dispostos a implementar uma das propostas, a Proposta A deve ser escolhida.

Por fim, conclui-se que a automatização do sistema de medição de temperatura nos fornos tipo *pit* trará benefícios em todos os âmbitos estudados, mostrando que o objetivo proposto pelo projeto foi alcançado.

REFERÊNCIAS

- ABAL. **Alumínio Brasileiro - Soluções para uma vida sustentável**. São Paulo, 2017.
- ABAL. **Alumínio: História da Indústria - História da Indústria no Brasil**. 2020. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/historia-da-industria-do-aluminio/historia-da-industria-no-brasil/>>.
- ABAL. **Alumínio: História da Indústria - História da Indústria no Mundo**. 2020. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/historia-da-industria-do-aluminio/historia-da-industria-no-mundo/>>.
- ABAL. **Alumínio: Processos de Produção - Laminação**. 2020. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/#accordion1>>.
- ABAL. **Alumínio: Processos de Produção - Laminação**. 2020. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/>>.
- ALCANTARA, A. A.; TANNURI, E. A. Estratégias de controle para forno de tratamento térmico. **VI Conferência Brasileira sobre Temas de Tratamento Térmico**, I, n. 1, p. 1–13, 2012.
- BALLOT, A. C. V. Lean six sigma como estratégia para o aumento de eficiência em laminação de alumínio. **Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá**, I, n. 1, p. 1–94, 2013.
- FRANÇA, F. A. Instrumentação e medidas: Grandezas mecânicas. **UNICAMP**, I, n. 1, p. 1–249, 2007.
- GOUVEIA, G. M. M. M. Análise energético-ambiental de fachadas com foco na reciclagem : estudo de caso com painéis de alumínio composto “acm” em Brasília. **Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília**, I, n. 1, p. 1–169, 2012.
- JÚNIOR, J. C. d. L. Simulação numérica de um forno de reaquecimento. **UFP - Universidade Federal de Pernambuco**, I, n. 1, p. 1–83, maio 2007.
- NISHIKAWA, A. S.; CUNHA, F. S. d.; PEREIRA, R. d. S. D. Laminação de folhas de alumínio. **Escola Politécnica da USP**, I, n. 1, p. 1–30, out. 2011.
- NOGUEIRA, E. **Introdução à Engenharia Econômica**. 1. ed. São Carlos: UAB-UFSCar, 2013.
- OMEGA. **Sonda termopar para alta temperatura**. 2020. Disponível em: <https://br.omega.com/pptst/TJ36-XCIB_CHB.html>.
- OPTRIS. **Infrared thermometer - optris CTlaser**. Berlin, 2018.
- OTTOJUNKER. **Pusher furnaces for preheating and homogenizing slabs prior to hot rolling**. 2020. Disponível em: <<https://www.otto-junker.com/en/products-technologies/furnaces-plants-for-aluminium-and-aluminium-based-alloys/rolling-mill/pusher-furnaces-for-preheating-and-homogenizing-slabs-prior-to-hot-rolling/>>.

PRIMETALSTECHNOLOGIES. **Laminador a quente de Alumínio - Produção de alta qualidade, rendimento máximo de material e flexibilidade superior.** 2020. Disponível em: <<https://www.primetals.com/pt/portofolio/laminacao-de-nao-ferrosos/laminador-a-quente-de-aluminio>>.

RECEITAFEDERAL. **Depreciação do ativo imobilizado.** 2020. Disponível em: <<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/anexoOutros.action?idArquivoBinario=36085>>.

REVISTAALUMINIO. **Brasil é o país que mais recicla lata de alumínio. Entenda como funciona o ciclo.** 2020. Disponível em: <<https://revistaaluminio.com.br/brasil-e-o-pais-que-mais-recicla-lata-de-aluminio-entenda-como-funciona-o-ciclo/>>.

RODRIGUES, K. F. d. C. Análise de viabilidade econômica. **Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos**, I, n. 1, p. 1–17, 2008.

SILVEIRA, L.; LIMA, W. Q. Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial. **UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte : PPgEE – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica**, I, n. 1, p. 1–3, maio 2003.

SMARTEC. **More Precision - thermoMETER.** Santo André, 2020.

THOMAS, B. S. Principles of pyrometry. **Thermal Processing - Technologies and Processes for the Advancement of Materials**, I, n. 4, p. 31–33, abr. 2019.

ULSANALUMINUM. **Manufacturing Process - Hot Mill.** 2020. Disponível em: <https://ulsanaluminum.com/eng/products/products02_02.jsp>.

VIRTUALEXPO, G. **Reheating furnace.** 2020. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/prod/otto-junker-gmbh/product-107935-1777916.html>>.

WIKABRASIL. **Pirômetro Infravermelho.** 2020. Disponível em: <https://www.wika.com.br/ctr1000_pt_br.WIKA>.

APÊNDICE A – Tabelas de Análises Econômicas

Tabela 1 – Análise econômica para a Proposta A.

Ano	Investimento (R\$)	Retorno (R\$)	Custo (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$)	Valor Presente Líquido (R\$)
0	-28.020,00			-28.020,00	-28.020,00	-28.020,00
1		16.600,00	-261,80	16.338,20	-11.681,80	15.994,32
2		16.600,00	-261,80	16.338,20	4.656,40	15.657,68
3		16.600,00	-261,80	16.338,20	20.994,60	15.328,13
4		16.600,00	-261,80	16.338,20	37.332,80	15.005,51
5		16.600,00	-261,80	16.338,20	53.671,00	14.689,68
6		16.600,00	-261,80	16.338,20	70.009,20	14.380,50
7		16.600,00	-261,80	16.338,20	86.347,40	14.077,83
8		16.600,00	-261,80	16.338,20	102.685,60	13.781,52
9		16.600,00	-261,80	16.338,20	119.023,80	13.491,46
10		16.600,00	-261,80	16.338,20	135.362,00	13.207,50

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 2 – Análise econômica para a Proposta B.

Ano	Investimento (R\$)	Retorno (R\$)	Custo (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$)	Valor Presente Líquido (R\$)
0	-40.514,30			-40.514,30	-40.514,30	-40.514,30
1		16.600,00	-643,83	15.956,17	-24.558,13	15.620,33
2		16.600,00	-643,83	15.956,17	-8.601,96	15.291,56
3		16.600,00	-643,83	15.956,17	7.354,21	14.969,72
4		16.600,00	-643,83	15.956,17	23.310,38	14.654,64
5		16.600,00	-643,83	15.956,17	39.266,55	14.346,20
6		16.600,00	-643,83	15.956,17	55.222,72	14.044,25
7		16.600,00	-643,83	15.956,17	71.178,89	13.748,65
8		16.600,00	-643,83	15.956,17	87.135,06	13.459,28
9		16.600,00	-643,83	15.956,17	103.091,23	13.175,99
10		16.600,00	-643,83	15.956,17	119.047,40	12.898,67

Fonte: Do autor (2020).

ANEXO A – Dados dos equipamentos para a Proposta A

Ressalta-se que o modelo estudado na proposta foi o 3MH1.

24

optris

2.8 Measurement specifications [3M models]

	3ML ¹⁾	3MH ¹⁾	3MH1 ²⁾	3MH2 ²⁾
Temperature range (scalable)	50...400 °C	100...600 °C	150...1000 °C	200...1500 °C
Spectral range	2.3 μm			
Optical resolution	60:1	100:1	300:1	
System accuracy ³⁾ (at ambient temperature 23±5 °C)	±(0.3 % T _{meas} +2 °C)			
Repeatability (at ambient temperature 23±5 °C)	±(0.1 % T _{meas} +1 °C)			
Temperature resolution (NETD)	0.1 K			
Response time ⁴⁾ (90 % signal)	1 ms			
Emissivity/ Gain	0.100...1.100 (adjustable via programming keys or software)			
Transmissivity	0.100...1.000 (adjustable via programming keys or software)			
Signal processing	Average, peak hold, valley hold (adjustable via programming keys or software)			

¹⁾ T_{object} > T_{viewed}+25 °C, ²⁾ Specification valid at T_{object} ≥ start of measurement range + 50°C, ³⁾ ε = 1/ Response time 1s, ⁴⁾ with dynamic adaptation at low signal levels, ⁵⁾ Accuracy for thermocouple output: ±2.5 °C or ±1 %, whichever is greater

ANEXO B – Dados dos equipamentos para a Proposta B

Ressalta-se que o modelo estudado na proposta foi o CTM-3S-F75H3-C3.



31

Model	CTM-3SF22-C3	CTM-3SF33-C3	CTM-3SF75H1-C3	CTM-3SF75H2-C3	CTM-3SF75H3-C3
Optical resolution ¹	22:1	33:1	75:1	75:1	75:1
Temperature range ^{2,3}	-50 to 400°C	100 to 600°C	-150 to 1000°C	200 to 1500°C	250 to 1800°C
Spectral range	2...3µm				
System accuracy ^{1,4}	±(0.3% of reading + 2°C)				
Repeatability ⁴	±(0.1% of reading + 1°C)				
Temperature resolution (digital)	0.1°C				
Response time ⁵	1 ms (90%)				
Emissivity/gain ⁶	0.100 to 1.100				
Transmissivity ⁷	0.100 to 1.100				
Signal processing ⁸	peak hold, valley hold, average, extended hold function with threshold and hysteresis				
Certificate of calibration	optional				
Outputs/analog	channel 1	0/4 to 20mA, 0 to 5/10V, thermocouple J, K			
Outputs/analog	optional	relays: 2 x 90VDC/42 VAC _{UL} , 0.4A; electrically isolated			
Alarm output		open collector (24V / 50A)			
Outputs/digital	optional	USB, RS232, RS485, CAN, Profibus DP, Ethernet			
Output impedances	current output	mA max. 5000 (with 8 to 36VDC)			
	voltage output	min. 100kΩ load impedance, thermocouple 20Ω			
Inputs		programmable functional inputs for external emissivity adjustment, ambient temperature compensation, trigger (reset of hold functions)			
Cable length		3m			
Power supply		8 to 36VDC, max. 100mA			
Protection class		IP65 (NEMA-4)			
Ambient temperature		sensor: -40°C to 85°C controller: 0°C to 85°C			
Storage temperature		sensor: -40°C to 125°C controller: -40°C to 85°C			
Relative humidity		10 to 95%, non-condensing			
Vibration	sensor	IEC 68-2-6: 3 G, 11 to 200Hz, any axis			
Shock	sensor	IEC 68-2-27: 50 G, 11ms, any axis			
Weight		sensor: 40g; controller: 420g			

¹ 60% energy

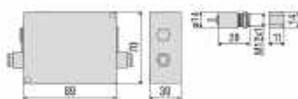
² adjustable via programming keys or software

³ legal temperature > sensor temperature + 25°C

⁴ ambient temperature: 25±5°C

⁵ t₉₀—1, exponential time to

⁶ with dynamic adaptation at low signal levels



Product identification

CTM-	3	SF22-	C3
		Cable length [3m]	
		Focus [SF22 / SF33 / SF75 / CF22 / CF33 / CF75]	
		Spectral range [2...3µm]	
thermoMETER CTM			

Accessories page 40 - 43

- Protective window
- Mounting bracket / mounting bolt
- Air purge collar
- Right angle mirror
- Rail mount adapter for controller
- Massive housing
- Protective tube
- Laser sighting aid
- Digital-interface kits
- Certificate of calibration