



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO



MARIANA PIMENTA ADAIXO DE DEUS

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE TEMPERATURA DO TIPO
TERMOPAR VIA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2018

MARIANA PIMENTA ADAIXO DE DEUS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE
TEMPERATURA DO TIPO TERMOPAR VIA
APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos
de Barros Monteiro

Co-orientador: Prof. Dr. Agnaldo
José da Rocha Reis

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
JULHO/2018

D486d

Deus, Mariana Pimenta Adaixo de.

Desenvolvimento de um sensor de temperatura do tipo termopar via aprendizagem baseada em problemas [manuscrito] / Mariana Pimenta Adaixo de Deus. - 2018.

31f.:

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro.
Coorientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis.


Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Aprendizagem Baseada em Problemas. 2. Termopar. 3. Sistemas de Aquisição de Dados. 4. Calibração Estática. 5. Calibração Dinâmica. I. Monteiro, Paulo Marcos de Barros. II. Reis, Agnaldo José da Rocha. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

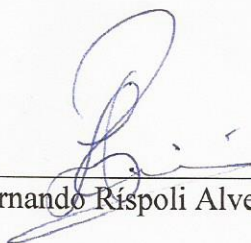
Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

CDU: 681.5

Monografia defendida e aprovada, em 03 de julho de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis – Professor Convidado

*“Tentar adquirir experiência apenas com
teoria, é como tentar matar a fome apenas
lendo o cardápio”.*
(Jordan Mustache)

RESUMO

O método de ensino de hoje consiste, na maioria das vezes, no modelo de aula em que o professor transmite o conteúdo de certa disciplina e o aluno, após tentar memorizar as informações, tem que responder as atividades propostas. Visto isso, algumas estratégias metodológicas de ensino diferenciadas vêm sendo desenvolvidas por professores com o objetivo de garantir uma aprendizagem mais efetiva. A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) surge como uma dessas estratégias inovadoras em que os estudantes trabalham com o objetivo de solucionar um problema real ou simulado a partir de um contexto. O presente trabalho trata de uma análise acerca da ABP, com aplicações na área de engenharia e, a fim de tornar mais interessante os conteúdos expostos em sala de aula, foi desenvolvido na Universidade Federal de Ouro Preto, no curso de Engenharia de Controle e Automação, um projeto prático na área de Instrumentação Eletrônica seguindo a metodologia ABP. Tal projeto, detalhado neste trabalho, contempla a construção e a calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar, que foi posteriormente interligado a uma plataforma de prototipagem eletrônica do tipo Arduino, configurada para adquirir e processar dados de temperatura medidos com o sensor desenvolvido. Espera-se que haja mais emprego da técnica de ensino abordada. E, a partir dela, possuir ao final deste trabalho, todo conhecimento necessário consolidado frente a um projeto de construção e calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Problemas, Termopar, Sistemas de Aquisição de Dados, Calibração Estática, Calibração Dinâmica.

ABSTRACT

The teaching method today consists, in most cases, in a classroom model that the teacher transmits the content of a certain discipline and the student, after trying to memorize the information, has to respond to the proposed activities. Because of it, some differentiated methodological teaching strategies have been developed by teachers, in order to assure effective learning. Problem-Based Learning (PBL) emerges as one of these innovative strategies in which students work to solve a real or simulated problem that has a context. The present work deals with an analysis about the PBL, discuss applications in the area of engineering and, in order to make more interesting the contents exhibited in the classroom, was developed at the Federal University of Ouro Preto, during the Undergraduate Course of Control Engineering and Automation, a practical project in the area of Electronic Instrumentation following the PBL methodology. This project, detailed in this work, includes the construction and calibration of a thermocouple type temperature sensor, which was later interconnected to an Arduino type electronic prototyping platform, configured to acquire and process temperature data measured with the developed sensor. It is expected that the teaching technique addressed will be more used. And, from it, to possess at the end of this work, all necessary knowledge consolidated for the project of construction and calibration the thermocouple type temperature sensor.

Keywords: Problem-Based Learning, Thermocouple, Data Acquisition Systems, Static Calibration, Dynamic Calibration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivo Geral	9
1.2	Objetivos específicos	9
1.3	Justificativa do Trabalho.....	9
1.4	Estrutura do Trabalho	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	Aprendizagem Baseada em Problemas	10
2.2	Contextualização da ABP.....	10
2.3	Vantagens da ABP	11
2.4	ABP no ensino de Engenharia.....	11
2.4.1	Inserção de metodologias ativas de ensino em uma disciplina do curso de Engenharia Ambiental.....	11
2.4.2	Implantação parcial da ABP na Universidade de São Paulo.....	12
2.4.3	Um exemplo de uso da ABP na disciplina de Instrumentação Eletrônica do IFBP.....	12
2.5	Termopar.....	13
2.6	Condicionamento de Sinais	13
2.7	CI LM324N	14
2.8	Sensor de temperatura LM35	15
2.9	Arduino.....	15
2.10	Sistema de Aquisição de Dados.....	16
2.11	Método Ziegler-Nichols.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Materiais Utilizados.....	18
3.2	Metodologia	18
3.2.1	Aprendizagem Baseada em Problemas na Construção do Termopar.....	18

3.2.2	Situação Problema	19
4	DESENVOLVIMENTO	19
4.1	Construção do Termopar	19
4.2	Projeto do Circuito de Condicionamento de Sinais.....	19
4.3	Calibração Estática	21
4.4	Sistema de Compensação das Variações da Temperatura da Junta de Referência baseado no CI LM35.....	24
4.5	Sistema de Aquisição de Dados via Arduino	24
4.6	Curva de Calibração Dinâmica considerando como estímulo de entrada um degrau de temperatura	25
4.7	Função de transferência do sistema	27
5	CONCLUSÕES	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) permite ao aluno adquirir e integrar novos conhecimentos a partir da resolução de problemas propostos pelos professores. Nesse método, centrado no protagonismo do aluno, os problemas são estimuladores para aprendizagem (BARROWS, 1986). Os problemas são abordados sob a forma de um projeto prático, de acordo com os conteúdos das disciplinas, buscando a interdisciplinaridade, o que faz com que o problema seja compreendido, fundamentado e analisado seguindo também por vezes uma filosofia de gerenciamento de projetos (ROCHA et al., 2013). Portanto, os alunos são bem ativos neste método, sendo eles construtores do próprio conhecimento, e o professor tem como principal função gerir os recursos necessários para a materialidade da criação das respostas às questões propostas aos discentes.

Com base em (MELO et al., 2017), para que a técnica ABP possa ser implantada, sugere-se que as seguintes etapas sejam observadas: 1) Formação de pequenos grupos de alunos que trabalharão juntos na solução de um problema sob a orientação de um professor (ou tutor); 2) Apresentação de uma situação problema; 3) Estudo e análise da situação; 4) Formação de hipóteses de trabalho; 5) Formação de questões de aprendizagem; 6) Compartilhamento e avaliação das habilidades adquiridas pelos alunos durante o processo.

O método pode ser usado para desenvolver capacidades que serão requeridas dos estudantes quando estiverem formados e atuando profissionalmente. Pesquisas sobre perfis de engenheiros indicam algumas habilidades desejáveis de um profissional que podem ser desenvolvidas por meio do ABP, tal como, o trabalho em grupo, a comunicação oral e escrita, a resolução de problemas, a responsabilidade profissional e a social, a adaptabilidade e a disposição para aprendizagem contínua (ARAÚJO et al., 2016).

Há, com certeza, muitos métodos de ensino-aprendizagem que podem ser utilizados para promover tal feito. Todas as formas de aprendizagem ativa e/ou colaborativa, centradas no processo e/ou alunos, e os métodos de ensino construtivistas atendem a esse propósito. Entre esses métodos encontra-se a ABP, que será implementada neste trabalho no projeto, construção e calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar a ser utilizado na disciplina de Instrumentação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

1.1 Objetivo Geral

Fazer uma análise da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas e implantá-la no projeto, construção e calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto;
- Desenvolver um protótipo;
- Validar o projeto.

1.3 Justificativa do Trabalho

Os estudos realizados neste trabalho têm por justificativa o interesse em contribuir com a disseminação da técnica de ensino “Aprendizagem Baseada em Problemas”, visto que essa metodologia promove uma maior motivação dos estudantes e garante uma evolução no conhecimento dos mesmos. Além disso, espera-se adquirir ao final deste trabalho todo o conhecimento necessário consolidado frente a um projeto de construção e calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto por 5 capítulos. No Capítulo 1, estabelecem-se as condições a serem satisfeitas para a defesa do mesmo. No Capítulo 2, trata-se com detalhes todo o estudo necessário para realização deste trabalho. Já no Capítulo 3, encontram-se os materiais utilizados e a metodologia adotada para a construção do protótipo. No Capítulo 4, tem-se os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto. Por fim, as conclusões obtidas ao realizar este trabalho e as sugestões para trabalhos futuros se encontram no Capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo tem-se como objetivo fazer uma revisão dos principais conceitos, definições e temas abordados neste trabalho.

2.1 Aprendizagem Baseada em Problemas

A técnica ABP baseia-se em princípios educacionais e em resultados da pesquisa cognitiva que demonstram que a aprendizagem é um processo de construção do conhecimento. É diferente do método considerado tradicional, que acredita que o processo de aprendizagem seja a recepção passiva e a acumulação de informações. Para que as informações transformem-se em conhecimento, é necessário ativar conceitos e estruturas cognitivas a respeito do assunto a ser aprendido, permitindo que os estudantes elaborem e construam o conhecimento. Na literatura, encontram-se trabalhos que indicam que a aprendizagem é aperfeiçoada pela interação social, que é mais efetiva quando os estudantes são expostos a situações reais nas próprias vidas, o que se observa também na ABP. A ABP é considerada uma metodologia específica e não há receita pronta para ser utilizada em qualquer contexto ou situação de ensino. É um método que pode oferecer respostas satisfatórias a problemas considerados delicados na formação profissional (ARAÚJO et al., 2016).

2.2 Contextualização da ABP

Este método surge nos anos 60 no Canadá, criado por Howard Barrows, médico e professor na Universidade de Ciências Médicas de McMaster. As razões que estiveram na base da implementação desta metodologia estão relacionadas com o avanço dos conhecimentos médicos, que obrigou a uma reorganização dos conteúdos disciplinares, e a evolução dos modelos pedagógicos. Barrows admitiu que sua maior motivação para desenvolver a ABP foi o baixo aproveitamento verificado por ele, entre seus alunos, nas disciplinas do curso básico de graduação em Medicina do currículo tradicional. Atribuiu esta constatação, não a incompetência dos docentes do curso básico, mas, principalmente, a falha do método de ensino (ARAÚJO et al., 2016; OZÓRIO NETO et al., 2011).

2.3 Vantagens da ABP

A vantagem da ABP mais citada na literatura é a capacidade dela de tornar a aprendizagem mais dinâmica e envolvente, compartilhada tanto por estudantes quanto por docentes. Isso ajuda a diminuir a evasão de estudantes, principalmente no ciclo básico, e pode contribuir muito para instigar neles o apreço pelo estudo e, por consequência, a disposição para a aprendizagem autônoma por toda a vida. Além disso, a ABP parece conferir aos discentes mais motivação para o trabalho ao qual estão sendo preparados durante a formação.

Outra vantagem que surge a partir do trabalho em grupo é a atitude dos estudantes, que aprendem a respeitar opiniões diversas e a construir consensos. Há o desenvolvimento da responsabilidade com relação ao cumprimento de planos e prazos, desenvolvendo a capacidade de estudo e trabalho autorregulado.

Por meio da utilização da ABP, as instituições e os docentes podem identificar precocemente estudantes que não teriam perfil para a profissão em questão e, assim, direcioná-los para outra carreira (ARAÚJO et al., 2016).

2.4 ABP no ensino de Engenharia

2.4.1 Inserção de metodologias ativas de ensino em uma disciplina do curso de Engenharia Ambiental

A utilização de metodologias ativas na disciplina de Pedologia do Curso de Engenharia Ambiental do ICT-UNESP, que compreende em entender os fatores e processos envolvidos na formação e distribuição dos diferentes tipos de solos na paisagem; possibilitar o reconhecimento e a classificação geral dos principais tipos de solos, bem como seu manejo e uso, promoveu maior motivação dos estudantes, tornando-os mais comprometidos e participativos nas aulas e provocou uma postura ativa por parte de cada estudante frente à sua aprendizagem.

As metodologias aplicadas promoveram maior entendimento da matéria lecionada em aula e maior entusiasmo por parte dos estudantes. Um ponto interessante é que o aprendizado em equipe foi mais fácil e dinâmico que o individual, além do coleguismo evidente desenvolvido entre os alunos. Porém, o papel do professor foi fundamental: comentar os trabalhos das equipes, esclarecer dúvidas e sintetizar os conceitos essenciais que devem ser apreendidos (BARDINI et al., 2017).

2.4.2 Implantação parcial da ABP na Universidade de São Paulo

Disciplinas de Administração (mais especificamente de Teorias de Administração) oferecidas aos cursos de graduação em Engenharia de Produção, Engenharia Civil e Engenharia de Computação e na pós-graduação (mestrado e doutorado) em Engenharia de Produção, oferecidas pelo Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), empregaram a ABP como forma de motivar os alunos frente à problemas relativos a estes conteúdos. Com o uso do método ABP, as aulas deixaram de ser totalmente expositivas e centradas no professor. O projeto das aulas foi influenciado pelos fundamentos da ABP de desafiar os alunos por meio de problemas antes da apresentação da teoria; usar o método de solução de problemas para conduzir o diagnóstico, pesquisa e solução do problema; dar autonomia aos alunos para conduzir seu aprendizado; trabalhar em equipes; aumentar a interação entre alunos e professor e entre os alunos (ESCRIVÃO FILHO; RIBEIRO, 2009).

2.4.3 Um exemplo de uso da ABP na disciplina de Instrumentação Eletrônica do IFPB

Para fomentar o interesse dos alunos da disciplina de Instrumentação Eletrônica, do curso de Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Paraíba (IFPB), campus João Pessoa, e como forma de utilização da metodologia de ensino, Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP, durante o início do semestre 2012.2 foram propostos projetos em equipe que envolvessem a utilização dos sensores e o condicionamento de sinal, além da integração multidisciplinar com outras disciplinas do currículo do curso.

Deste modo, o objetivo do trabalho foi apresentar a construção de um protótipo de uma mini geladeira baseado em uma célula Peltier, no qual a aquisição, o processamento e o controle do sistema são realizados pela plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. A proposta utilizada baseou-se na informação de que o engenheiro moderno não precisa do conhecimento memorizado, “decorado” e acumulado, mas sim, do conhecimento necessário para a resolução de problemas baseado na construção do conhecimento (ROCHA et al., 2013).

2.5 Termopar

O termopar é um sensor formado por dois fios de metais diferentes. Quando esses dois fios são unidos em ambas as extremidades e uma das extremidades é aquecida e a outra é deixada em uma temperatura diferente (e.g. temperatura ambiente), há uma corrente contínua que flui no circuito termoelétrico formado. Se este circuito é interrompido no centro, a tensão de circuito aberto (chamada de tensão Seebeck) é função da diferença de temperatura entre as extremidades e da composição dos dois metais. Desse modo, é possível construir-se um termômetro com esse sensor, pois existe uma relação direta entre a tensão termoelétrica produzida e a diferença de temperatura entre as extremidades. Esses sensores são utilizados em uma ampla gama de aplicações domésticas, comerciais e industriais. Existem vários tipos de termopares comerciais. Um deles, o termopar do tipo T, assunto deste trabalho, é formado por fios de cobre e constantan e pode ser utilizado na medição de temperatura na faixa de -270°C a 370°C . É resistente à corrosão em atmosferas úmidas e possui a melhor exatidão entre os termopares de base metálica (MOREIRA, 2002).

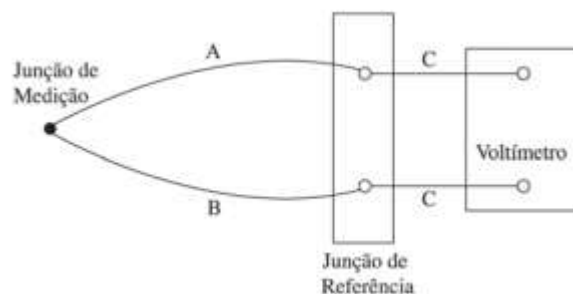


Figura 2.1 - Circuito para medir o potencial de Seebeck

Fonte: MOREIRA, 2002.

2.6 Condicionamento de Sinais

Dentre os circuitos de condicionamento de sinal tem-se (CAMARANO, 1993):

- Filtragem: circuitos elétricos usados para reduzir sinais indesejáveis;
- Amplificador: amplifica o nível do sinal analógico;

- Sample/Hold: é uma memória analógica, cuja função é captar e armazenar o sinal antes do começo de uma conversão e mantê-lo constante até o final da conversão;
- Conversor de tensão-corrente: usado para converter pequenas tensões em corrente entre 4 a 20 mA, normalmente para transmitir o sinal a grandes distâncias ou em ambientes em que interferências eletromagnéticas poderiam comprometer a transmissão em tensão;
- Conversor A/D: usado para converter sinais analógicos em digitais.

2.7 Circuito Integrado LM324N

O LM324 trata-se de um moderno e compacto Circuito Integrado (CI) utilizado para as mais diversas finalidades. Em geral, trata-se de um componente eletrônico que reúne outros diversos componentes capazes de executar tarefas avançadas. Um Circuito Integrado é capaz de executar diferentes funções a depender dos componentes que são integrados, entre elas, temporização, amplificação, oscilação, controle, enfim, diversas outras funções.

Na maioria dos casos, CIs, como o LM324, fazem parte de circuitos maiores, operando em total sincronia com as demais peças do sistema, recebendo sinais eletrônicos e ordenando determinadas ações. O Circuito Integrado LM324 é conhecido pelo seu alto ganho independente, por funcionar a partir de uma única fonte de alimentação por meio de uma ampla gama de tensões, sendo possível inclusive, a drenagem de corrente de baixa intensidade, independente da amplitude da tensão da fonte de alimentação. Internamente Circuitos Integrados são formados por capacitores, os quais são responsáveis por guardar cargas, transistores que atuam de forma a amplificar sinais e resistores que são utilizados para limitar a passagem de corrente, variando os componentes de acordo com cada modelo (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

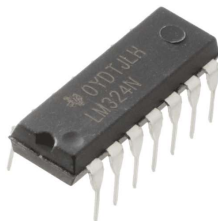


Figura 2.2 - Circuito Integrado LM324n

Fonte: TEXAS INSTRUMENTS, 2018.

2.8 Sensor de temperatura LM35

O sensor LM35 é um sensor com circuito integrado de precisão que apresenta uma saída de tensão linear proporcional à temperatura em que ele se encontrar no momento, tendo em sua saída um sinal de 10mV para cada Grau Centígrados de temperatura. Esse sensor não necessita de qualquer calibração externa para fornecer com exatidão valores temperatura dentro da faixa de temperatura entre -55°C e 150°C . Ele pode ser usado de duas formas, com alimentação simples ou simétrica, dependendo do que se desejar como sinal de saída, mas independentemente disso, a saída continuará sendo de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

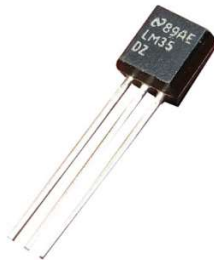


Figura 2.3 - Sensor de Temperatura LM35

Fonte: TEXAS INSTRUMENTS, 2018.

2.9 Arduino

O Arduino foi criado com o objetivo de ser um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo, dessa forma, acessível a estudantes e projetistas amadores. Além disso, foi adotado o conceito de hardware livre, o que significa que qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico. Assim, foi criada uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada à um computador e programada via IDE (Integrated Development Environment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando-se uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB (ARDUINO, 2018).



Figura 2.4 – Arduino UNO

Fonte: ARDUINO, 2018.

2.10 Sistema de Aquisição de Dados

Os sistemas de aquisição têm por finalidade obter dados digitais por meio de medições de grandezas físicas (analógicas), tais como temperatura, pressão, densidade, pH, umidade, posição etc.

Para a criação de um sistema de aquisição de dados são necessários: um fenômeno do mundo real, sensores, um condicionamento de sinal, um hardware para a aquisição de dados e controle dos sensores, um sistema computacional, interfaces de comunicação e um programa.

Grandezas lidas por sensores são convertidas em quantidades elétricas por condicionadores de sinais, que levam os sinais até hardwares dedicados e os transformam em valores digitais. Estes valores são processados por controladores e, segundo lógicas de controles, devolvem a resposta processada aos atuadores, como na figura 2.5 (GALANTE; GARCIA, 2014).

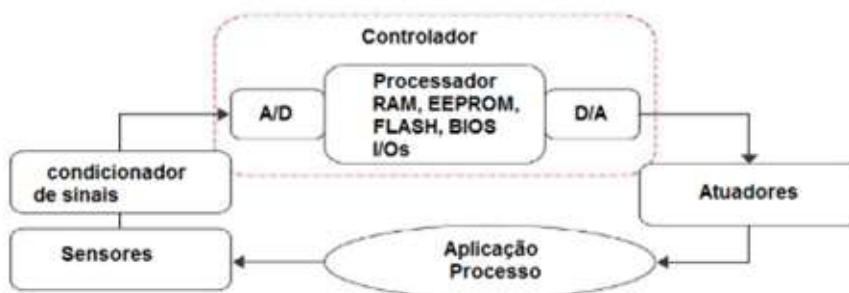


Figura 2.5 - Sistema de Aquisição de Dados

Fonte: GALANTE; GARCIA, 2014.

2.11 Método Ziegler-Nichols

John Ziegler e Nathanael Nichols sugeriram regras para sintonizar os controladores PID, baseando-se em respostas experimentais. No método da curva de reação, as regras propostas para determinar os valores de K_p (ganho proporcional), τ_d (tempo derivativo) e τ_i (tempo integral) são baseadas na resposta transiente do sistema. Neste método, obtêm-se experimentalmente a resposta do sistema em malha aberta (sem controlador) quando se aplica na entrada um degrau. Se a curva da resposta for uma curva em S, então o método é aplicável (ZIEGLER; NICHOLS, 1942).

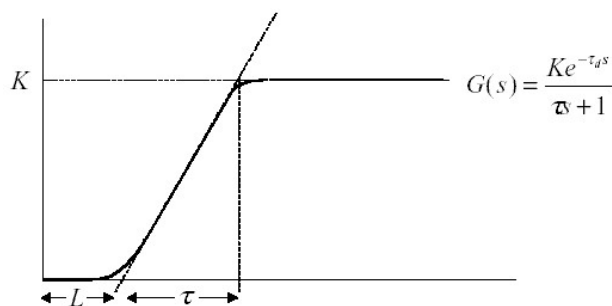


Figura 2.6 - Curva em S

Fonte: ZIEGLER; NICHOLS, 1942.

Esta curva, mostrada na figura 2.6, pode ser caracterizada por duas constantes, o atraso L (tempo morto ou tempo de atraso) e a constante de tempo τ . O atraso e a constante de tempo são determinados traçando-se uma tangente ao ponto de inflexão da curva e determinando a intersecção da reta tangente com o eixo do tempo. Ziegler e Nichols sugeriram um conjunto de valores para K_p , τ_d e τ_i de acordo com as fórmulas da figura 2.7 (ZIEGLER; NICHOLS, 1942).

Tipo de controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

Figura 2.7 - Ziegler-Nichols em malha aberta. Parâmetros dos controladores

Fonte: ZIEGLER; NICHOLS, 1942.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Controle e Automação e Mecânica (LABCAM) da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

3.1 Materiais Utilizados

- 1 Fios de cobre e constantan;
- 2 Estanho;
- 3 Ferro de solda;
- 4 Recipientes com água (nas formas sólida e líquida);
- 5 Protoboard (matriz de contatos);
- 6 Circuito integrado LM324n;
- 7 Resistores de 100Ω , $10K\Omega$, $20K\Omega$ e $100K\Omega$;
- 8 Fonte de 12 V;
- 9 Termômetro Digital (padrão);
- 10 Voltímetro;
- 11 Fios de conexão;
- 12 Sensor de Temperatura LM35;
- 13 Arduino.

3.2 Metodologia

3.2.1 Aprendizagem Baseada em Problemas na Construção do Termopar

Para que a técnica ABP pudesse ser empregada no projeto de construção e calibração do sensor de temperatura do tipo termopar na disciplina de Instrumentação do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFOP, as seguintes etapas foram contempladas:

- Escolha de um professor/tutor;
- Definição da Situação problema (descrita em Metodologia);
- Projeto, construção e calibração do termopar (descritos em Desenvolvimento);
- Descrição das habilidades adquiridas (descritos em Conclusões).

3.2.2 Situação Problema

Do ponto de vista da ABP, os objetivos definem a situação problema, e escolher como resolvê-la, a metodologia. Ou seja, construir um sensor do tipo termopar utilizando os metais cobre e constantan e desenvolver um circuito de condicionamento de sinais para ele. Desenvolver um sistema de aquisição de dados via arduino, elaborar um sistema de compensação das variações da temperatura da junta de referência baseado no CI LM35, obter a curva de calibração dinâmica considerando como estímulo de entrada um degrau de temperatura e identificar a função de transferência do sistema.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Construção do Termopar

Para se construir o termopar, formaram-se duas juntas torcendo-se um fio ao redor do outro e soldando-se o conjunto com estanho. Depois, experimentalmente, descobriu-se qual dos termoelementos era o positivo e qual deles era o negativo. Essa construção está esquematizada na Figura 4.1, em que o termoelemento positivo é o Cobre (azul) e o termoelemento negativo é o Constantan (vermelho).

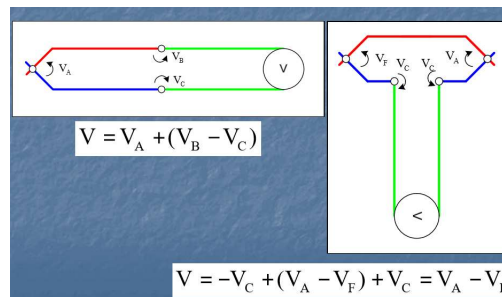


Figura 4.1 - Configuração do Termopar

Fonte: MOREIRA, 2002.

4.2 Projeto do Circuito de Condicionamento de Sinais

O condicionamento do sinal de saída do termopar é essencial para que a medição possa ser feita, posteriormente, por placas de aquisição de dados. O Arduino, por exemplo, só consegue ler entradas analógicas com tensões de 0 a 5V; valores em milivolts não seriam “captados” pelo instrumento. Para o projeto do circuito, os recursos escolhidos

para a calibração do termopar foram gelo e água em ebulição. A uma temperatura perto de 100°C, a diferença de potencial entre as juntas quente e fria do termopar correspondia a 3,7mV. Considerando o sinal suportado pelo Arduino, determinou-se que esta tensão de 3,7mV deveria ser amplificada a 5V. Assim, para calcular o ganho do amplificador, fez-se (Equação 4.1):

$$\begin{aligned} 3,7 \times 10^{-3} \times \text{Ganho} &= 5 \\ \text{Ganho} &= 1,3 \times 10^3 \end{aligned} \quad (4.1)$$

O circuito integrado de amplificação escolhido foi o LM324n, que não requer alimentação com fonte simétrica e possui configuração representada na figura 4.2.

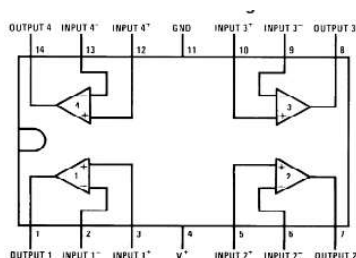


Figura 4.2 – Representação dos amplificadores do CI-LM324n

Fonte: TEXAS INSTRUMENTS, 2018.

Utilizando o circuito amplificador não inversor ilustrado na Figura 4.3, a equação do ganho desse amplificador é dada pela Equação 4.2:

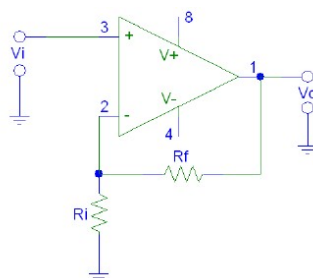


Figura 4.3 - Circuito não inversor

Fonte: NAHVI; EDMINISTER, 2014.

$$\text{Ganho } (A_v) = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (4.2)$$

Desse modo, $1 + \frac{R_f}{R_i} = 1,3 \times 10^3$. Logo, $R_f = 1,3 \times 10^3 R_i$.

Escolheu-se o resistor R_i como 100Ω e fez-se uma associação em série de três resistores de $10K\Omega$, $20K\Omega$ e $100K\Omega$, para obter o ganho teórico esperado. O circuito foi montado na protoboard e alimentado por uma fonte de 12V.

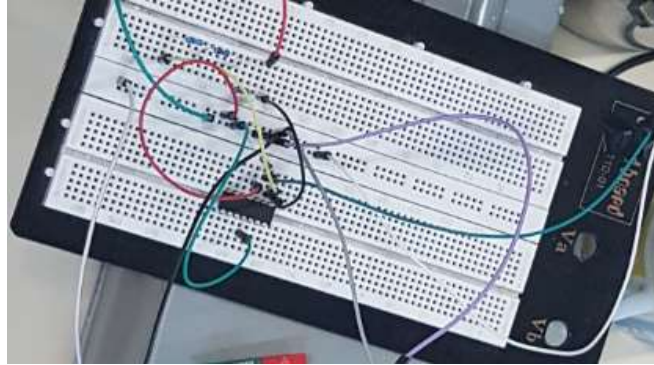


Figura 4.4 - Circuito de condicionamento de sinais

4.3 Calibração Estática

Data da calibração: 02/08/2017

Data da documentação: 04/08/2017

1. Sistema de medição calibrado: Termopar tipo T (Cobre/Constantan)
Faixa de medição: $20,5^{\circ}\text{C}$ a $91,5^{\circ}\text{C}$.
2. Padrão utilizado: Sensor digital de temperatura disponibilizado pelo professor da disciplina.
3. Procedimento interno de calibração: Mediu-se a temperatura da água no sentido crescente e decrescente. Colocou-se a junta de referência (JR) do termopar imersa em um recipiente com blocos de gelo, e a junta de medição (JM) em um recipiente com água na forma líquida. O sensor de temperatura digital foi colocado no recipiente da água e o sistema foi gradativamente aquecido. Anotou-se o máximo de conjuntos temperatura-tensão possíveis de leitura no momento da calibração. Quando a temperatura da água atingiu 93°C , o aquecimento foi interrompido e os valores de temperatura-tensão em decaimento foram anotados até se atingir $28,6^{\circ}\text{C}$.
4. Condições ambientais durante a calibração: Temperatura ambiente igual a $20,5^{\circ}\text{C}$.
5. Resultados Obtidos.

O procedimento para calibração estática está ilustrado na Figura 4.5, e os resultados estão sintetizados nas figuras 4.6, 4.7 e 4.8. A sensibilidade estática (K) da montagem pôde ser obtida através da função “linha de tendência” do programa Excel, quando juntou-se os gráficos relativos ao aumento (figura 4.6) e à diminuição (figura 4.7) da temperatura, resultando na equação $y=0,0528x+0,0095$, representada pela inclinação da curva (figura 4.8). Logo, $K=0,0528$ [V/°C]. A diferença entre as curvas de calibração estática crescente e estática decrescente pode ser atribuída à imperícia ou desatenção da pessoa que está medindo, má calibração do instrumento utilizado e perturbações como variação de temperatura ambiente.

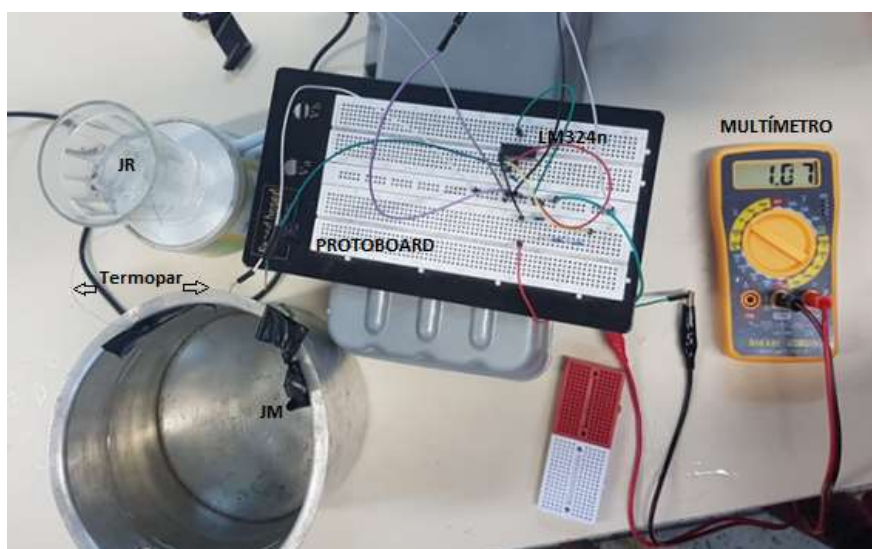


Figura 4.5 - Calibração Estática

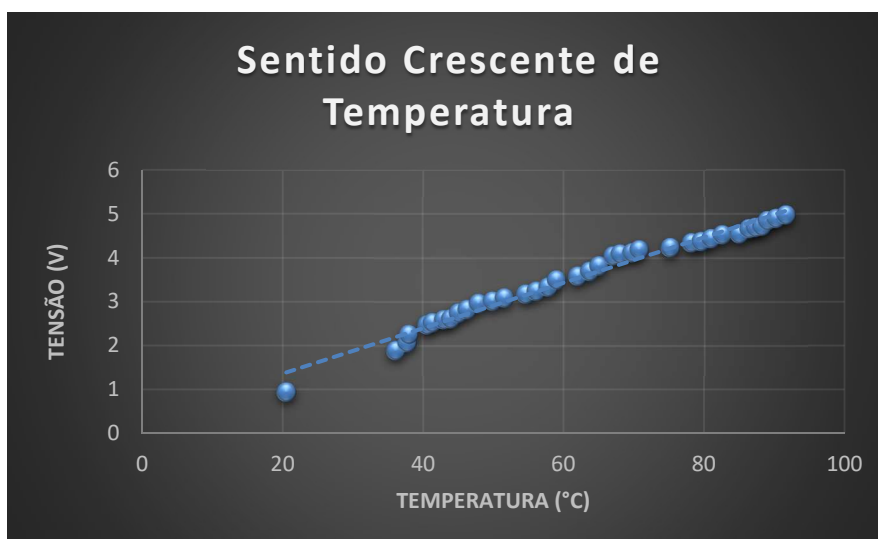


Figura 4.6 - Resultado relativo ao aumento da temperatura

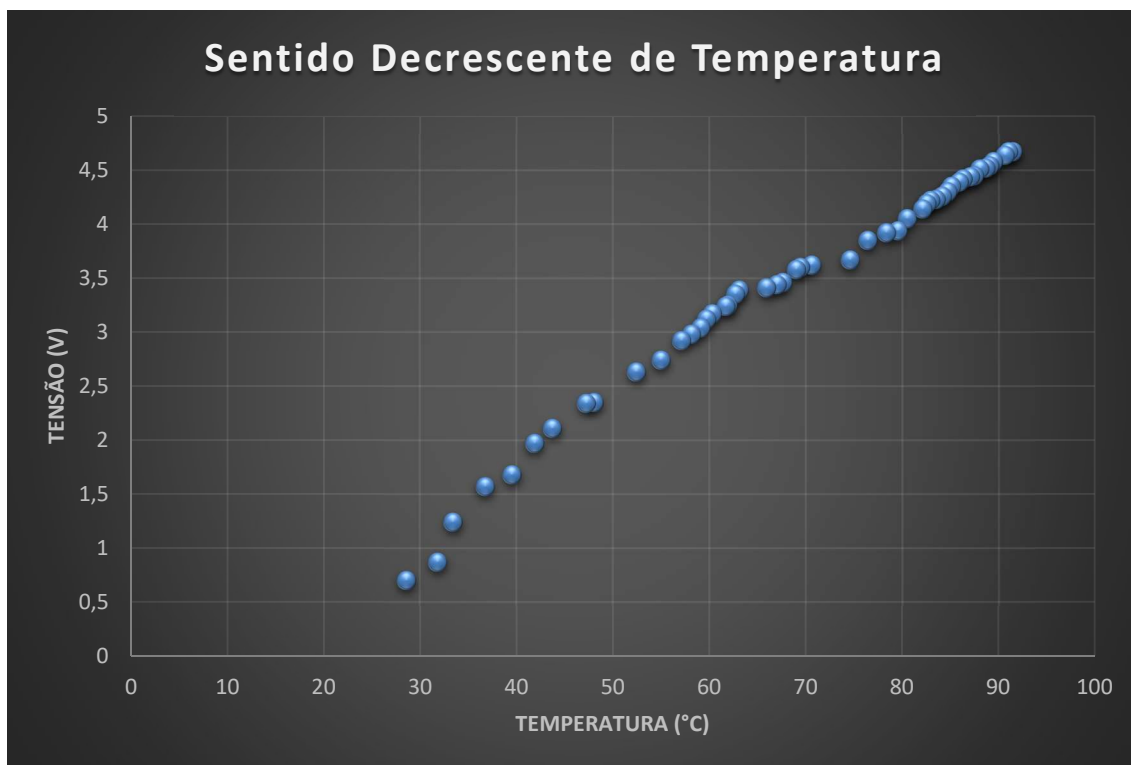


Figura 4.7 - Resultado relativo à diminuição da temperatura

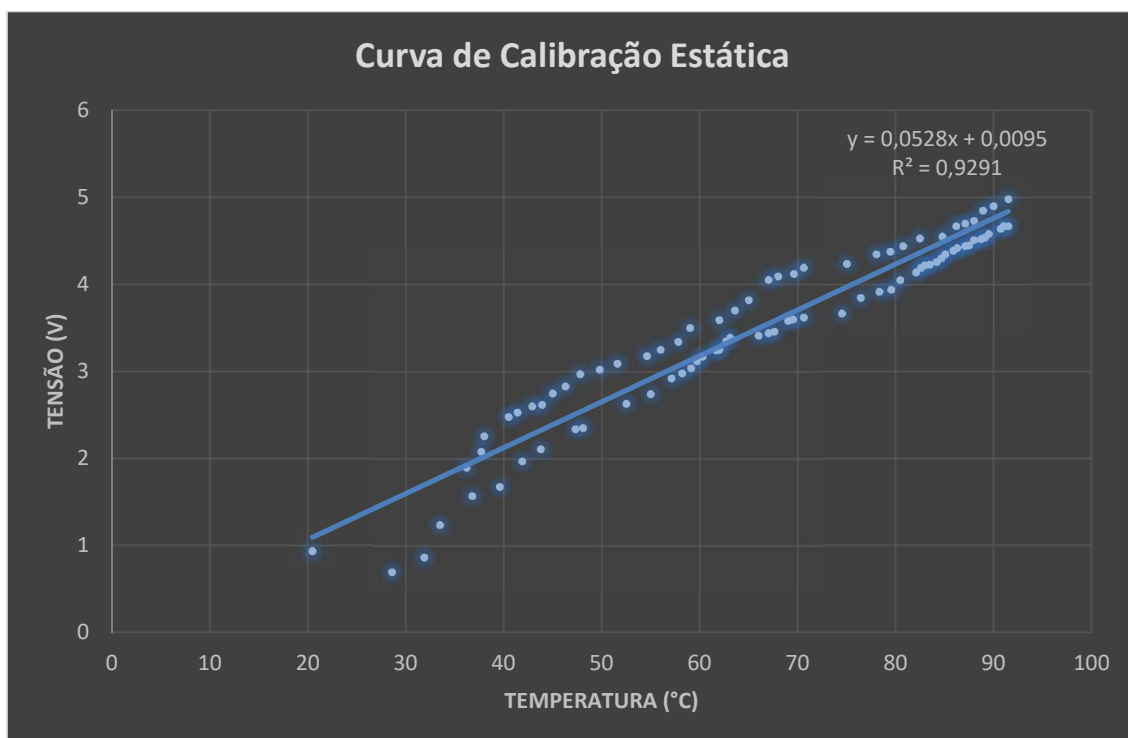


Figura 4.8 - Curva de Calibração Estática

4.4 Sistema de Compensação das Variações da Temperatura da Junta de Referência baseado no CI LM35

Para o sistema de compensação, colocou-se o sensor de temperatura LM35 perto da junta fria do termopar, afim de garantir a mesma temperatura para os dois. Assim, ocorrendo variações de temperatura na mesma, com o LM35 perto, essa variação sempre será detectada. Na primeira parte do trabalho, para calibração estática, a compensação de junta fria foi feita adicionando gelo, mas na prática isso não acontece, tendo assim a necessidade de sempre ter um sensor de temperatura próximo à junta de referência.

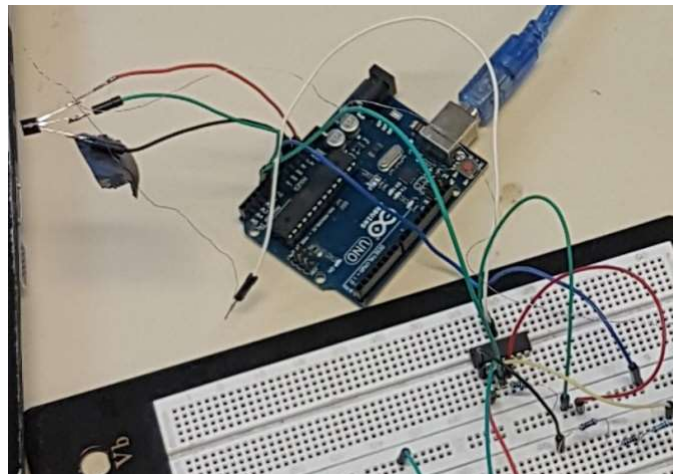


Figura 4.9 - Montagem física que mostra a junta fria e o CI LM35

4.5 Sistema de Aquisição de Dados via Arduino


Para o sistema de aquisição de dados, utilizou-se o sensor de temperatura LM35 ligado na entrada analógica A0 do Arduino. A JM foi ligada na entrada analógica A1 do Arduino. O valor do sinal em A0 varia de 0 a 1023, onde 0 corresponde a 0 volts e 1023 corresponde a 5 volts. Se de acordo com o fabricante do LM35, 1°C é igual a 10mV, daí:

$$\text{Tensão em A0} = (\text{Valor lido em A0}) * (5/1023)$$

$$\text{Temperatura_no_LM35} = \text{Tensão em A0}/10\text{mV}$$

$$\text{Temperatura_no_LM35} = (\text{Valor lido em A0}) * 0,48828125$$

Por fim, para se obter a temperatura corrigida, somam-se as temperaturas vindas do termopar e do sensor LM35. O código implementado no Arduino aparece na Figura 4.10.



```

SAD_termopar | Arduino 1.8.4
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

SAD_termopar $

int pinoSensor = 0; // LM35 na entrada analógica A0
int pinoTermo = 1; // Termopar na entrada analógica A1
float temperatura = 0; // valor lido no LM35 (tensão -> temperatura)
float tensao_termo = 0; // tensão lida no termopar
float temp_termopar = 0; // temperatura lida no termopar
float t=0; // temperatura termopar com a curva de calibração estatica
float temperatura_real = 0; // temperatura correta medida.

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Velocidade de Baund
}
void loop() {
  //LM35
  temperatura = analogRead(pinoSensor);
  temperatura = temperatura * 0.48828125;
  Serial.print("Temperatura lm35: ");
  Serial.println(temperatura);

  //termopar
  tensao_termo = analogRead(pinoTermo);
  temp_termopar = tensao_termo * 0.00488;
  t = ((22.508 * temp_termopar) + 0.485);
  temperatura_real = temperatura + t;
  Serial.print("Temperatura termopar: ");
  Serial.println(temperatura_real);
  delay(1000); // delay de 1s entre as amostras
}

```

Figura 4.10 - Código Arduino

4.6 Curva de Calibração Dinâmica considerando como estímulo de entrada um degrau de temperatura

Para a calibração dinâmica, o termopar foi submetido a um degrau de temperatura que correspondeu a uma variação brusca da temperatura ao mudar o local de medição do sensor. Para isso, colocou-se a junta de medição do termopar em um recipiente com água em processo de aquecimento e, assim que a temperatura atingiu 70°C, mudou-se a

JM para outro recipiente com água que estava a 100°C , dando um degrau positivo de 30°C . Nota-se na Figura 4.11 a presença do Arduino, uma vez que esse componente é imprescindível para a realização da Calibração Dinâmica.

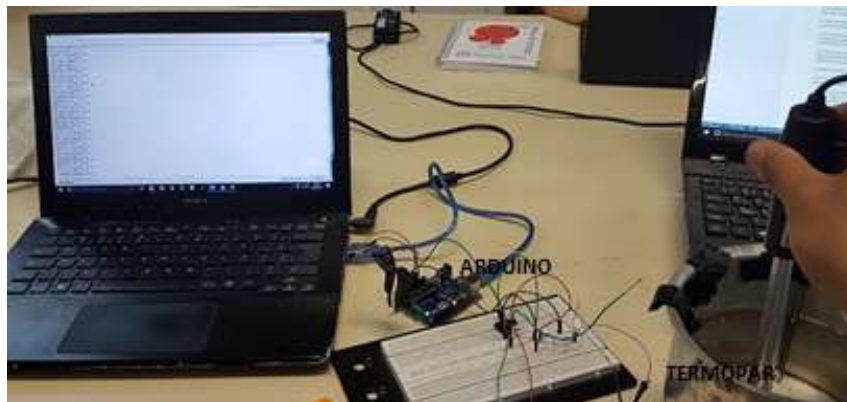


Figura 4.11 - Protótipo completo e pronto para a calibração dinâmica

Coletou-se os valores de temperatura da junta de medição durante o processo e os resultados obtidos antes e depois do degrau de temperatura estão ilustrados na figura 4.12 e 4.13, respectivamente.

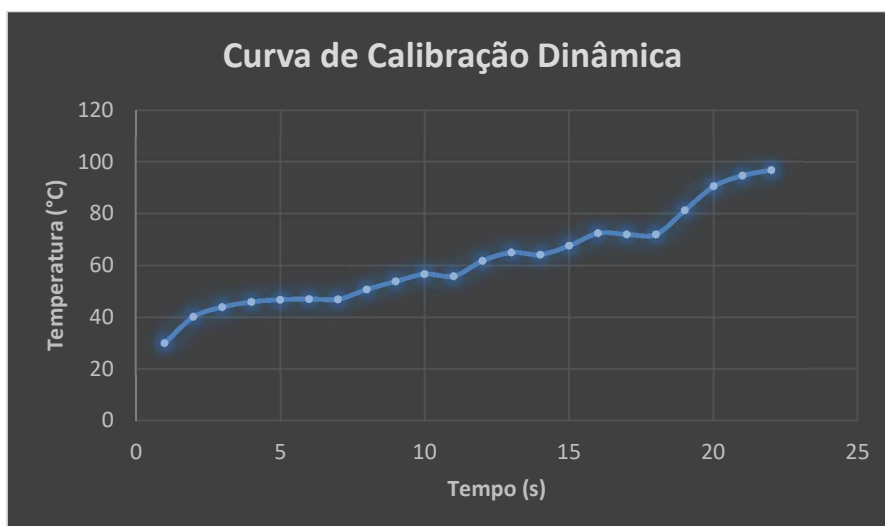


Figura 4.12 - Gráfico de Calibração Dinâmica



Figura 4.13 - Reação do termopar ao degrau

4.7 Função de transferência do sistema

Usualmente, um termopar tende a se comportar como um sistema dinâmico de primeira ordem e sua função de transferência pode ser descrita pela Equação 4.3 (ZIEGLER; NICHOLS, 1942).

$$G(S) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (4.3)$$

Em que K é o ganho relacionado ao valor do degrau, τ é a constante de tempo do sistema e θ (ou L no gráfico da figura 4.14) é o tempo morto que corresponde ao intervalo de tempo em que o termopar leva para reagir à entrada aplicada.

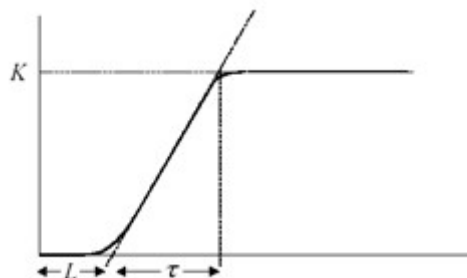


Figura 4.14 - Método Ziegler-Nichols

Fonte: ZIEGLER; NICHOLS, 1942.

Aplicando o método de obtenção dos parâmetros dado por Ziegler-Nichols na curva de calibração dinâmica encontrada, ilustrado na figura 4.15, tem-se aproximadamente que $\theta=0,1s$, $\tau=0,3s$ e $K=30$.

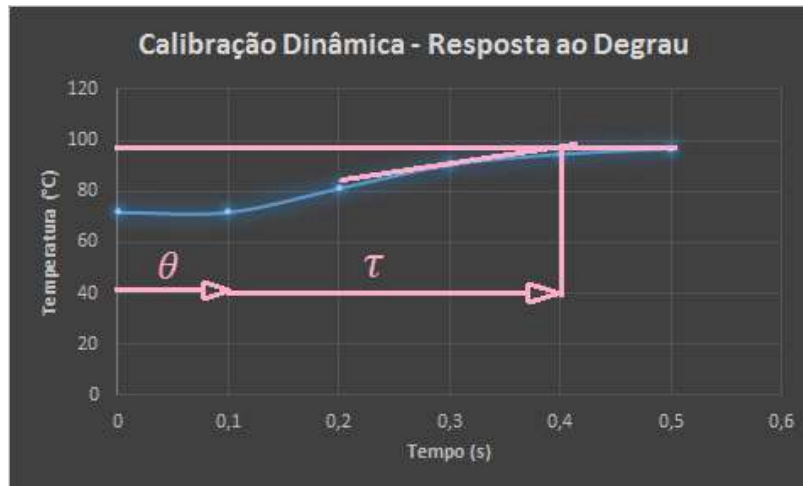


Figura 4.15 - Aplicação do Método Ziegler-Nichols

Portanto, a função de transferência $G(s)$ encontrada pode ser descrita pela Equação 4.4.

$$G(S) = \frac{30^{-0,1s}}{0,3s+1} \quad (4.4)$$

5 CONCLUSÕES

Apresentou-se neste trabalho uma análise da metodologia ABP e um exemplo de sua implantação na disciplina de Instrumentação do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFOP, para o projeto, construção e calibração de um sensor de temperatura do tipo termopar. A metodologia abordada promoveu uma maior absorção de conhecimentos, uma vez que a aprendizagem foi além daquela abordagem tradicional. Com a análise feita da ABP no ensino de engenharia, conclui-se que a técnica adequa-se muito bem no mesmo, pois proporciona o desenvolvimento de habilidades que o engenheiro deve possuir, tais como: capacidade de autoaprendizagem contínua, integração de conhecimentos, capacidade de solucionar problemas, entre outras.

Com relação à parte prática do trabalho, várias habilidades e conhecimentos foram adquiridos. O termopar construído foi implementado com sucesso embora algumas simplificações tenham sido feitas. A comprovação do efeito Seebeck também foi muito interessante. Por outro lado, ao se comparar os dados de calibração obtidos com os dados tabelados de um termopar tipo T comercial, embora os valores estivessem bem próximos, observaram-se alguns desvios entre eles. Tais desvios podem ser explicados pelo fato de ter sido utilizado material comum para a construção do termopar, além de materiais de diâmetros diferentes daqueles usados pelos principais fabricantes, isso sem contar no padrão de temperatura utilizado por eles. As calibrações estática e dinâmica foram realizadas com sucesso. A partir da curva de reação de Ziegler-Nichols obtida com a aplicação de um degrau positivo de temperatura na entrada do sistema, os parâmetros τ , θ e K foram estimados, para posteriormente obter a função de transferência do sistema.

Em termos gerais, pôde-se concluir que o trabalho teve um resultado positivo, conseguindo atingir seus objetivos, comprovando a eficácia do método ABP e agregando um grande conhecimento sobre os temas abordados. Por fim, como trabalhos futuros, se sugere que o protótipo seja expandido e que se desenvolva um soft sensor para monitoramento e controle da temperatura.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, W. J.; LOPES, R. P.; FILHO, D. O.; BARROS, P. M. M.; OLIVEIRA, R. A. Aprendizagem por Problemas no Ensino de Engenharia. **Revista Docência Ens. Sup.**, v. 6, n. 1, p. 57-90, 2016.

ARDUINO. **What is Arduino?** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

BARDINI, V. S. S.; SPALDING, M. Aplicação de metodologias ativas de ensino-aprendizagem: experiência na área de engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 36, n. 1, p. 49-58, 2017.

BARROWS, H. S. A Taxonomy of Problem-Based Learning methods. **Medical Education**, v.20, p. 481-486, 1986.

CAMARANO, D. M. **Procedimentos Aplicáveis à Garantia da Qualidade Metrológica dos Resultados na Termometria Automatizada com Termopar e Sensores Resistivos**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ESCRIVÃO FILHO, E.; RIBEIRO, L. R. C. Aprendendo com PBL – Aprendizagem Baseada em Problemas: relato de uma experiência em cursos de engenharia da EESC-USP. **Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia**, v.6, n. 1, p. 23-30, 2009.

GALANTE, A. C.; GARCIA, R. P. Sistema de Aquisição de Dados de Sensores de Baixo Custo Baseado no Arduíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO – CONBAP, 2014, São Paulo.

GOMES, R. M.; BRITO, E.; VARELA, A. Intervenção na formação no ensino superior: a aprendizagem baseada em problemas (PBL). **Revista Interações**, v. 12, n.42, p. 44-57, 2016.

LOPES, G. N. Aprendizagem Baseada em Problema com Aplicações em Ciências Agrárias – Uma proposta para o CCA/UFRR. **Revista Agro@ambiente**, v. 1, p. 43-49, 2007.

MELO, N. B.; NETO, J. A. F.; CATÃO, M. H. C.; BENTO, P. M. B. Metodologia da Problematização e Aprendizagem Baseada em Problemas na Odontologia: análise bibliométrica dos trabalhos apresentados nas Reuniões da SBPqO. **Revista da ABENO**, v.17, n.2, p. 60-67, 2017.

MOREIRA, Lucia. Medição de Temperatura Usando-se Termopar. **Revista Cerâmica Industrial**, v.7, n.5, p. 51-53, 2002.

NAHVI, M.; EDMINISTER, J. A. **Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

OZÓRIO NETO, J.; CUNHA, C. S.; CUNHA, C. S.; RODRIGUES, A. N.; TAVARES, M. Aprendizagem baseada em problemas: o mito e a realidade. **Cadernos UniFOA**, n. 16, p. 79-84, 2011.

RIBEIRO, L. R. C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em Engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 27, p. 23-32, 2008.

ROCHA, J. P. M.; MENDES, M. S.; MEDEIROS, T. I. O.; JÚNIOR, A. G. C. Um exemplo do uso da ABP na disciplina de Instrumentação Eletrônica do IFPB – MINI GELADEIRA PELTIER Controlada por Arduino. In: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2013, Porto Alegre. Anais. Gramado, 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM324N**. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/53573/FAIRCHILD/LM324N.html>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35**. Disponível em: <<http://www.ti.com/product/LM35>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

ZIEGLER, J. G.; Nichols, N. B. Optimum Settings for Automatic Controllers. **Trans. ASME**, v. 64, p. 759-768, 1942.