

DAS Departamento de Automação e Sistemas
CTC Centro Tecnológico
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

Automação de Ensaios e Avaliação de Viabilidade de Zeragem a Seco do Sensor de Turbidez para Máquinas de Lavar Louça

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina

como requisito para a aprovação na disciplina:

DAS 5511: Projeto de Fim de Curso

Carlos Augusto Machado Monteiro

Florianópolis, Agosto 2014

Automação de Ensaio e Avaliação de Viabilidade de Zeragem a Seco do Sensor de Turbidez para Máquinas de Lavar Louça

Carlos Augusto Machado Monteiro

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso
e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Prof. Rodolfo César Costa Flesch

Assinatura do Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Rodolfo César Costa Flesch

Orientador no Curso

Luiz Henrique Reis de Castilho Stival

Orientador na Empresa

Prof. definir

Avaliador

definir

definir

Debatedores

Resumo

Sensores de turbidez permitem observar a quantidade de sujeira retirada das louças em uma máquina de lavar louça. Essa informação abre novas oportunidades para a criação de ciclos adaptáveis e a detecção da quantidade de louça. Este documento aborda a automação dos testes de análise do sensor de turbidez de máquina de lavar louça de um novo fornecedor. A automação possibilitará efetuar testes de forma mais rápida e simples, facilitando assim o trabalho dos envolvidos no processo. Com a implementação do sistema de medição automatizado, tornou-se possível que o operador tenha apenas o trabalho de colocar o sensor na situação desejada e dar um único comando no computador. O segundo objetivo deste documento é realizar a análise de viabilidade da zeragem a seco desse mesmo sensor, de forma a possibilitar uma melhor medição e conseqüentemente uma melhoria na qualidade do produto. A viabilidade da zeragem a seco foi aprovada, porém inicialmente apenas para uso como gatilho para a realização de uma zeragem com água.

Abstract

This report approaches the test automation for analyses of a new turbidity sensor for dish washers. This automation will help to make with the tests for the validation of the sensor to be quicker and simpler. Another goal of this work is to analyze the feasibility of a dry zeroing of this sensor, that will help on the quality of the measurement and as a consequence a increase of the product quality.

Sumário

Resumo	4
Abstract	5
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	9
1 Introdução	10
1.1 Estrutura	11
2 Whirlpool	13
3 Revisão da Literatura	15
3.1 Funcionamento da Máquina de Lavar Louça	15
3.2 Definição de Turbidez	16
3.3 Medição da Turbidez	17
3.3.1 Como Medir Turbidez	17
3.3.2 Atual Sensor Ótico de Turbidez	18
3.3.3 Sensor Ótico de Turbidez em Estudo	19
3.4 Zeragem do Sensor de Turbidez	20
3.4.1 Zeragem do Sensor Ótico de Turbidez em Estudo	21
4 Instrumentação do Sistema	23
4.1 Instrumentação da máquina de lavar louça	23

4.2	Placa de avaliação do sensor de turbidez	25
4.2.1	Módulo de Comunicação	27
4.3	Conexão do Sistema	28
4.4	Programas Desenvolvidos	29
4.4.1	Programa de Automação de Ensaios	29
4.4.2	Programas de Tratamento e Análise dos Dados	30
5	Ensaio Exploratórios e Análise de Viabilidade da Zeragem a Seco	32
5.1	Teste para Conhecimento Geral do Sistema	32
5.2	Influência da Placa na Medição	35
5.3	Influência da Temperatura e Ambiente na Medição	36
6	Conclusão	40
	Referências	43

Lista de Figuras

3.1	Ciclo da água na máquina de lavar[1].	15
3.2	Foto do sensor de turbidez na máquina de lavar louça.	16
3.3	Funcionamento do nefelômetro	18
3.4	Funcionamento do atual sensor ótico de turbidez	19
3.5	Funcionamento do sensor ótico de turbidez em estudo	20
3.6	Curva de corrente do LED pela tensão de saída.	22
4.1	Diagrama de blocos do acionamento.	24
4.2	Esquemático do drive.	24
4.3	Diagrama de blocos da placa de valiação.	25
4.4	Esquemático da medição embarcada de corrente.	26
4.5	Diagrama de blocos da instrumentação completa.	28
4.6	Interface do programa de medição.	29
4.7	Interface do programa de plotagem.	31
5.2	Peso de cada fator de interferencia.	33
5.1	Árvore de teste dos ensaios exploratórios.	34
5.3	Árvore de teste dos ensaios das interferências da placa.	35
5.4	Gráfico de variabilidade do teste de influência da placa.	36
5.5	Árvore de teste dos ensaios das interferências de temperatura e ambiente.	36
5.6	Gráfico de variabilidade do teste de influência da temperatura e ambiente.	37
5.7	Gráfico das retas de zeragem.	38
5.8	Gráfico das retas de zeragem com as temperaturas equalizadas.	39

Lista de Tabelas

4.1	Definição das mensagens do protocolo de comunicação criado.	28
5.1	Tabela das medida do ensaio de temperatura interna.	38

1 *Introdução*

A falta de tempo está cada vez mais presente nas conversas das pessoas. Isso se atribui muito ao fato de o homem moderno se dedicar a afazeres que não lhe dão prazer, como o trabalho e estudo para 51,2% e os trabalhos domésticos para 9,5%.[2] Para amenizar os impactos dos trabalhos domésticos, muitas pessoas procuram as comodidades dos eletrodomésticos, que vieram para melhorar e facilitar a vida de seus usuários. Porém, nos dias de hoje, os consumidores estão cada vez mais exigentes e o mercado cada vez mais concorrido, o que força as empresas fabricantes a se esforcem mais, superando limites e inovando em cada produto.

Visando a melhoria da qualidade dos seus produtos, a Whirlpool, uma das empresas mais inovadoras e líder de mercado no seu ramo, se preocupa em desenvolver tecnologias que agregam valor e qualidade aos seus produtos. Outra ação também feita pela empresa é a procura de fornecedores que possam abastecer a empresa com componentes de qualidade para os seus produtos.

A análise e seleção de um novo fornecedor de sensor de turbidez para as máquinas de lavar louça fazem parte da melhoria contínua empregada, procurando sempre a melhora da qualidade, confiabilidade, criação de novas funções para os produtos e diminuição dos custos. Contudo, essa escolha deve ser feita com muita cautela, de forma a se obter exatamente o componente que se pretende. Para isso, são feitos ensaios de vários tipos. No caso específico dos sensores de turbidez, são analisadas suas características de medição, características de resposta dinâmica e princípio de funcionamento.

Visando o auxílio na análise do produto oferecido pelo fornecedor, durante este projeto foi desenvolvida a automação dos ensaios para se traçar as características do sensor de turbidez e foi realizada a análise de viabilidade de se efetuar uma zeragem a seco do mesmo sensor. Para a automação dos ensaios foram desenvolvidos programas de controle e leitura de dados para o computador, placa de acionamentos,

módulo de comunicação USB para o sistema de medição e rotinas de teste. Já para a análise de viabilidade foram feitos testes exploratórios seguindo o método Seis Sigma e testes isolados procurando analisar alguns comportamentos isolados. Os testes foram feitos de forma iterativa, ou seja, o resultado do teste anterior guiava o sentido do teste seguinte. Dessa forma, o comportamento apresentado pelo sistema permitiu que fossem compreendidas as diferentes influências sofridas por ele de fatores externos, como a temperatura, a variação da tensão de alimentação e a presença da água.

1.1: Estrutura

Este trabalho foi estruturado de forma a levar o leitor a conhecer gradualmente a empresa, o embasamento teórico, seguindo com um entendimento do sensor e da necessidade da zeragem do mesmo. Continuando com o fluxo de informação, é apresentada a automação do sistema de testes, os testes exploratórios e suas análises. Por fim, são apresentadas as conclusões e as perspectivas de trabalhos futuros.

No capítulo 2, apresenta-se a empresa com um pedaço de sua história, seu posicionamento econômico e sua atuação global. Também se descreve brevemente sua estrutura no Brasil e o departamento onde foi desenvolvido o projeto.

O capítulo 3 consiste em uma breve revisão da literatura, que abrange o funcionamento da máquina de lavar louça, define turbidez, descreve os modos de medição de turbidez, apresenta as alternativas atualmente empregada e pretendida pela empresa para medição dessa grandeza e finaliza com uma explicação da necessidade da zeragem desse tipo de sensor.

No capítulo 4 é descrito como a automação da bancada foi feita. Nesse capítulo comenta-se sobre instrumentação da máquina de lavar louça de forma a se abranger a medição de temperatura e atuação das partes da máquina. Em seguida, fala-se sobre a placa de avaliação do sensor e suas partes, seguindo com o desenvolvimento do módulo e protocolo de comunicação e a conexão do sistema como um todo. Para finalizar, foram descritos os programas desenvolvidos buscando a automação do sistema e tratamento de dados.

O capítulo 5 apresenta os ensaios desenvolvidos e a análise dos dados obtidos, visando o conhecimento do sistema e a viabilidade da zeragem a seco do modelo pretendido de sensor. Os ensaios mostrados são focados principalmente na interferência da variação de temperaturas, variação da tensão de alimentação da placa e ambiente

de medição para a zeragem do sensor.

O último capítulo finaliza o documento com as conclusões e considerações finais acerca da possibilidade de se implementar uma zeragem a seco no sensor de turbidez da máquina de lavar louça. O mesmo capítulo apresenta a sugestão de pesquisas a serem realizadas em trabalhos futuros.

2 *Whirlpool*

A Whirlpool Corporation teve o início de sua história em 1908, quando Lou Upton investiu todas as suas economias em uma empresa familiar para manufatura de eletrodomésticos. No entanto, essa empresa teve uma vida turbulenta que não durou muito tempo, vindo a falir logo em seguida. Em retorno ao seu investimento, foi oferecido que Lou escolhesse alguma coisa da empresa e ele escolheu a patente de uma máquina de lavar roupa a mão. Lou tinha uma visão de que essa máquina poderia vir a ser acionada por um motor de forma a funcionar sem a força humana.[3]

Em 1911, em sua cidade natal, St. Joseph, Michigan, EUA, Lou Upton, seu tio Emory e seu irmão Fred criaram a primeira máquina de lavar roupa motorizada com a Upton Machine Company, dando início à história da Whirlpool. Hoje com mais de 100 anos de história, a Whirlpool é a líder mundial em eletrodomésticos, tendo alcançado uma venda de mais de 19 bilhões de dólares no ano de 2011.[3]

A empresa está presente em mais de 130 países, os quais ela divide em quatro regiões, sendo a maior delas a América do Norte, que em 2013 foi responsável por 54% das vendas da empresa, seguida pela América Latina, com 26%. A empresa apresenta-se com diferentes marcas em cada país, sendo Whirlpool, Maytag, KitchenAid, Jenn-Air, Amana, Brastemp, Consul, Bauknecht e Gladiator as principais delas.[4]

No Brasil, a empresa tem 14,5 mil colaboradores distribuídos em 3 fábricas (Joinville, Manaus e Rio Claro), dois centros de distribuição (São Paulo e Pernambuco) e um centro administrativo (São Paulo). Além disso, também tem 23 laboratórios, os quais são responsáveis pela característica inovadora da empresa. Um desses laboratórios é localizado no Perini Business Park, na cidade de Joinville. A equipe que está localizada nesse laboratório se concentra principalmente em projetos voltados às regiões da América do Norte e da Europa. Essa equipe desenvolve projetos para a área de *cross* categoria, o que significa que suas pesquisas podem estar focadas

em qualquer uma das áreas da empresa. Como a equipe tem familiaridade com o controle de motores, os desenvolvimentos estão mais próximos da área de lavanderia (lava roupas). O laboratório se divide em áreas responsáveis pelo desenvolvimento de motores, acionamento e controle de motores, sensoriamento e instrumentação de sistemas.

Como o grupo do laboratório é ligado a *cross* categoria, que está subordinado diretamente a América do Norte, ele também recebe projetos de outras áreas, como refrigeração, cocção e outras. Esse é o caso deste estágio, que consistiu em um projeto focado na automação de ensaios, avaliação e análise de viabilidade da zeragem a seco do sensor de turbidez da máquina de lavar louça.

3 Revisão da Literatura

3.1: Funcionamento da Máquina de Lavar Louça

Algumas das principais características das Máquinas de Lavar Louça é que elas são capazes de lavar a louça com água muito mais quente que qualquer pessoa poderia lavar com a mão além de utilizar menos água. Isso possibilita que a remoção de gorduras, lavagem e esterilização da louça sejam muito mais eficientes que em um processo manual de lavagem. Para que essa lavagem seja feita efetivamente, são utilizados três componentes de lavagem que são: água quente, detergente e spray de água. Para que o último componente de lavagem ocorra, se utiliza uma bomba de água que faz com que a água dentro da máquina circule. O caminho da água é basicamente do reservatório para a bomba que injeta a água nos braços que produzem os jatos, caindo então novamente no reservatório, como pode ser visto na Figura 3.1.[1]

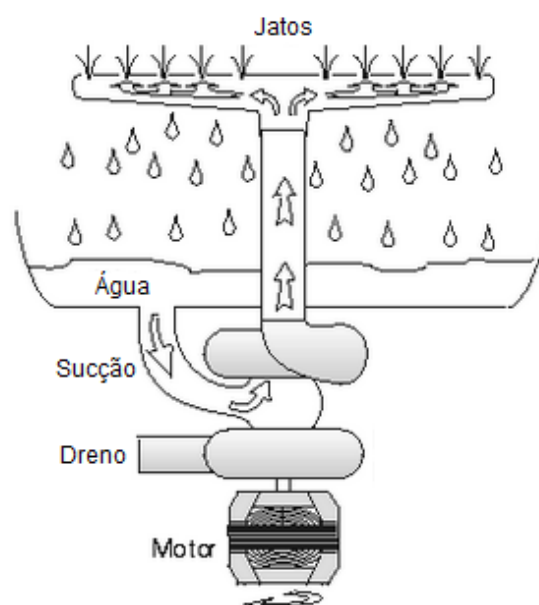


Figura 3.1: Ciclo da água na máquina de lavar[1].

Procurando a otimização do processo de lavagem da louça, mede-se a turbidez da água do reservatório. Essa medição pode ser feita uma ou várias vezes durante um ciclo de lavagem, dependendo muito do tipo de ciclo e modelo da máquina. As informações de turbidez da água, com o devido tratamento é utilizado como informação de sujeira da louça no interior da máquina, são utilizadas para uma readaptação, encerramento ou prolongamento do ciclo, dependendo do algoritmo implementado em cada máquina. Na Figura 3.2 pode-se ver o reservatório de uma máquina sem filtro com o sensor de turbidez.



Figura 3.2: Foto do sensor de turbidez na máquina de lavar louça.

3.2: Definição de Turbidez

A primeira análise da água feita por qualquer pessoa, quando esta quer saber sobre a sua qualidade, é uma análise visual de sua transparência. Quanto mais clara estiver a água, mais limpa se espera que ela esteja. A análise de turbidez é um dos mais importantes indicadores de qualidade da água para a maioria dos usos. A turbidez pode ser definida como a redução da transparência de um líquido que é causada pela presença de matéria não dissolvida [5].

A transparência é uma propriedade ótica que permite que um feixe de luz ultrapasse um meio sem que haja qualquer tipo de perturbação. Contudo, até mesmo as

moléculas de um fluido puro dispersam a luz, o que permite concluir que não existe nenhum fluido com turbidez zero.[6]

A dispersão da luz ocorre quando pequenas partículas ou mesmo moléculas desviam a direção da luz. O fenômeno pode ser simplificado ao dizer que as partículas ou moléculas absorvem a energia da luz e se tornam novos pontos de luz, emitindo assim feixes de luz para diferentes direções, incluindo, mas não unicamente, a direção do feixe original. Esse fenômeno pode ser explicado por diferentes propriedades óticas, como a reflexão e a refração. Cada partícula provoca diferentes dispersões dependendo do seu tamanho, formato e material.[6]

3.3: Medição da Turbidez

“Medir é o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurando) é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão, e reconhecida internacionalmente.” [7] Para que as medições sejam efetuadas, utilizam-se transdutores que podem ser definidos por “dispositivo, utilizado em medição, que fornece uma grandeza de saída, a qual tem uma relação especificada com uma grandeza de entrada.”[8] Portanto, pode-se dizer que a medida da turbidez será um sinal de tensão que varia com a turbidez do meio no qual o transdutor se encontra. Como na empresa é usual chamar os transdutores de turbidez de sensor, essa nomenclatura será adotada durante todo este relatório, apesar de não estar em perfeita harmonia com a definição corrente da área de metrologia [8].

3.3.1: Como Medir Turbidez

Com o passar do tempo foram desenvolvidos diferentes unidades e formas de medição da turbidez. O principal instrumento para medir a turbidez foi o *Jackson Candle Turbimeter*. A ideia desse método era de utilizar uma vela abaixo de um tubo transparente. Aos poucos se adicionava o fluido a ser medido nesse tubo, enquanto se observava a quantidade de luz acima e ao lado do tubo. Quando a quantidade de luz se igualasse em ambos os ângulos, a profundidade do fluido era lida e então comparada com uma escala de partes por milhão de partículas de sílica, tendo o resultado em *Jackson Turbidity Units* (JTU). Contudo, esse método tinha muitas fontes de incerteza, como a vela (fonte emissora de luz) e os olhos (sistema de medição de

luz). Depois deste, outros métodos ainda foram desenvolvidos, porém cada um deles tinha o seu ponto fraco podendo ser baixa resolução, alta dificuldade para medição em baixa ou alta turbidez, grande relação sinal-ruído e assim por diante[6].

Por fim, foi desenvolvido um instrumento com uma topologia um pouco diferente, chamado nefelômetro. Esse instrumento utiliza uma fonte de feixe de luz e um sensor de medição da luz a 90° , como mostrado na Figura 3.3, medindo assim somente a luz desviada 90° do seu curso normal.[6]

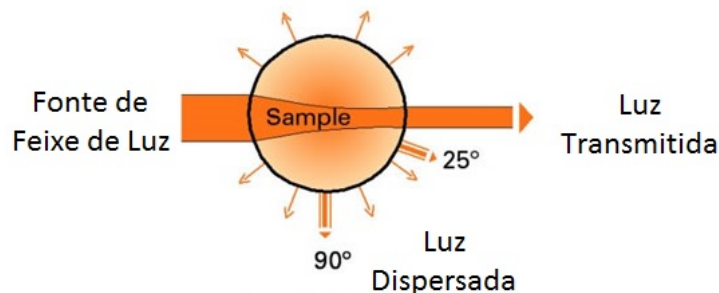


Figura 3.3: Funcionamento do nefelômetro

Apesar de o nefelômetro não medir diretamente a transparência, ele foi adotado como método mais empregado para medição da turbidez por causa da sua ótima sensibilidade, baixa incerteza e amplo intervalo de medição. Com essa definição, passou-se a utilizar também para medir turbidez a sua unidade NTU (*Nephelometric Turbidity Units*), que pode ser convertida para JTU facilmente.[6]

3.3.2: Atual Sensor Ótico de Turbidez

O primeiro, e atual, sensor de turbidez utilizado nas máquinas de lavar louça da Whirlpool não utiliza o método de medição nefelométrico, e sim a medição da luz que não sofre dispersão e é capaz de ultrapassar o líquido. Esse sensor utiliza um feixe de luz passando através da água, que em seguida é refletido pela superfície de interação da água com o plástico. Por causa dessa reflexão, o sensor não é capaz de efetuar medições sem água, pois a presença dessa é essencial para que o feixe de luz reflita e alcance o sensor de luz, como mostrado na Figura 3.4.

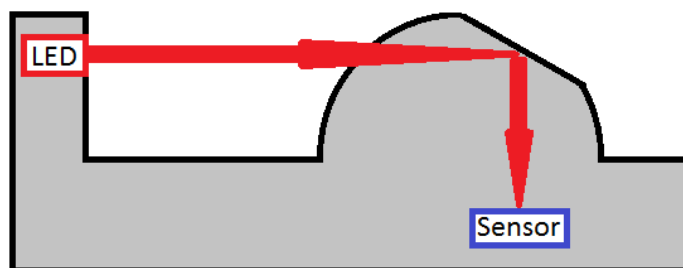


Figura 3.4: Funcionamento do atual sensor óptico de turbidez

Este sensor tem diversas limitações. A primeira limitação é a necessidade de estar imerso na água para que seja feita uma medição do feixe de luz. Além disso, esse sensor também não apresenta boa resolução para medida da turbidez. De forma geral, se captura um resultado booleano da turbidez, podendo assim detectar a água limpa ou suja, sem níveis intermediários. Isso ocorre por causa de diferentes fatores óticos, como os ângulos de montagem e o caminho do feixe de luz, que provocam variações no resultado, confundindo os níveis intermediários. Outra limitação é a sua baixa robustez, que não garante a correta operação sob pequenas variações dos ângulos de montagem do sensor.

3.3.3: Sensor Óptico de Turbidez em Estudo

No momento a empresa encontra-se em processo de avaliação de novas propostas de sensores de turbidez para máquinas de lavar louça. Entre as diversas especificações, a necessidade de que não haja qualquer modificação de hardware da máquina é de extrema importância, possibilitando assim uma substituição rápida e imediata do componente. Outra qualidade que também foi considerada é a melhoria da resolução de medição. Isso possibilitará que seja desenvolvido um algoritmo de detecção de carga da máquina, adicionando função à lava louça e consequentemente uma melhoria na qualidade e elevação de sua competitividade no mercado. Essa oportunidade é criada pela possibilidade de medir diferentes níveis de turbidez da água.

Em uma das topologias propostas são aplicadas algumas tecnologias protegidas por patentes e termos de confidencialidade, porém de forma simplificada ele funciona do seguinte modo: um feixe de luz é criado internamente ao invólucro do sensor e é direcionado a passar pelo meio no qual se deseja medir a turbidez. De-

pois de passar pelo meio, ele retorna ao invólucro e é direcionado diretamente a um receptor de luz. Dessa forma, a medida da turbidez continua sendo da luz que ultrapassa o meio e não da luz difundida, como pode ser observado na Figura 3.5. Porém, neste sensor o feixe de luz é melhor direcionado, de forma a ter menos perdas. Além disso, sua topologia permite uma montagem muito mais robusta, possibilitando que as variações sejam menores. Como nesse sensor o caminho percorrido pelo feixe de luz não depende do meio no qual ele se encontra, é possível efetuar medições quando o ambiente encontra-se com ou sem água, possibilitando assim a sua zeragem sem água.

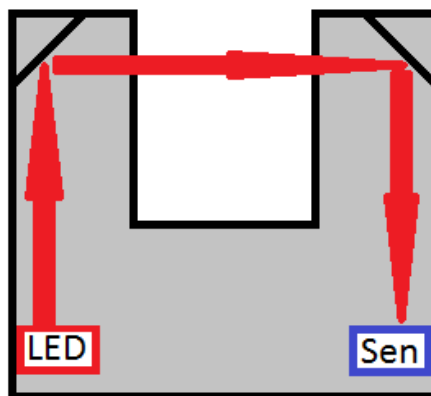


Figura 3.5: Funcionamento do sensor óptico de turbidez em estudo

No sensor é possível efetuar três medidas diferentes, sendo essas: a turbidez da água através do método já explicado, a temperatura através de um termistor do tipo NTC (coeficiente de temperatura negativo) e a presença da água através um sensor óptico também presente. A turbidez da água e a presença desta dividem a mesma saída do sensor, apesar de serem completamente independentes e funcionarem em momentos separados. Durante todo este trabalho não será utilizada a medição de presença da água, já que o foco do projeto está na medição da turbidez. Contudo, em alguns casos é utilizado o NTC para aquisição da temperatura na automação dos ensaios desse sensor.

3.4: Zeragem do Sensor de Turbidez

Em muitos sistemas de medição existe a necessidade de serem realizados ajustes para uma melhor adequação deste para com o local no qual irá trabalhar. O ajuste

tipicamente pode ser feito através da alteração de uma ou duas características: o fator de amplificação do sinal (sensibilidade) e a regulagem do zero. Na regulagem do zero, utiliza-se uma grandeza conhecida para a determinação do início da faixa de medição do sistema. Em muitos casos, a grandeza pode vir a ser a referência, que no caso de um sensor de turbidez é a água completamente limpa. [7]

3.4.1: Zeragem do Sensor Ótico de Turbidez em Estudo

Como a medição da turbidez depende diretamente de uma fonte de luz, essa medição pode vir a ser alterada com a intensidade do feixe de luz produzido pelo sensor. Da mesma forma, o sensor ótico de turbidez em estudo, doravante denominado sensor 2 por questão de simplicidade, produzirá diferentes valores de tensão para diferentes valores de excitação do seu LED. Como apresentado na seção 3.3.1, quanto maior a turbidez do líquido em que o sensor se encontra, mais luz será desviada do seu feixe original, fazendo com que menos luz alcance o receptor de luz. Isso provocará um efeito de escurecimento, que pode ser confundido com uma diminuição no brilho do LED. Na Figura 3.6 é apresentada uma curva da corrente de excitação do LED pela tensão de saída do sensor. Nessa curva pode-se observar que o sensor tem uma região relativamente linear. Deseja-se, portanto, que o intervalo de medição do sensor encontre-se na região linear da curva, pois um comportamento linear em relação à tensão de alimentação do LED deve levar a um comportamento praticamente linear também na medição da turbidez. Para que isso ocorra, é necessário que o início do intervalo de medição (ponto correspondente a líquido completamente transparente, com turbidez zero) seja localizado na parte inferior da curva.

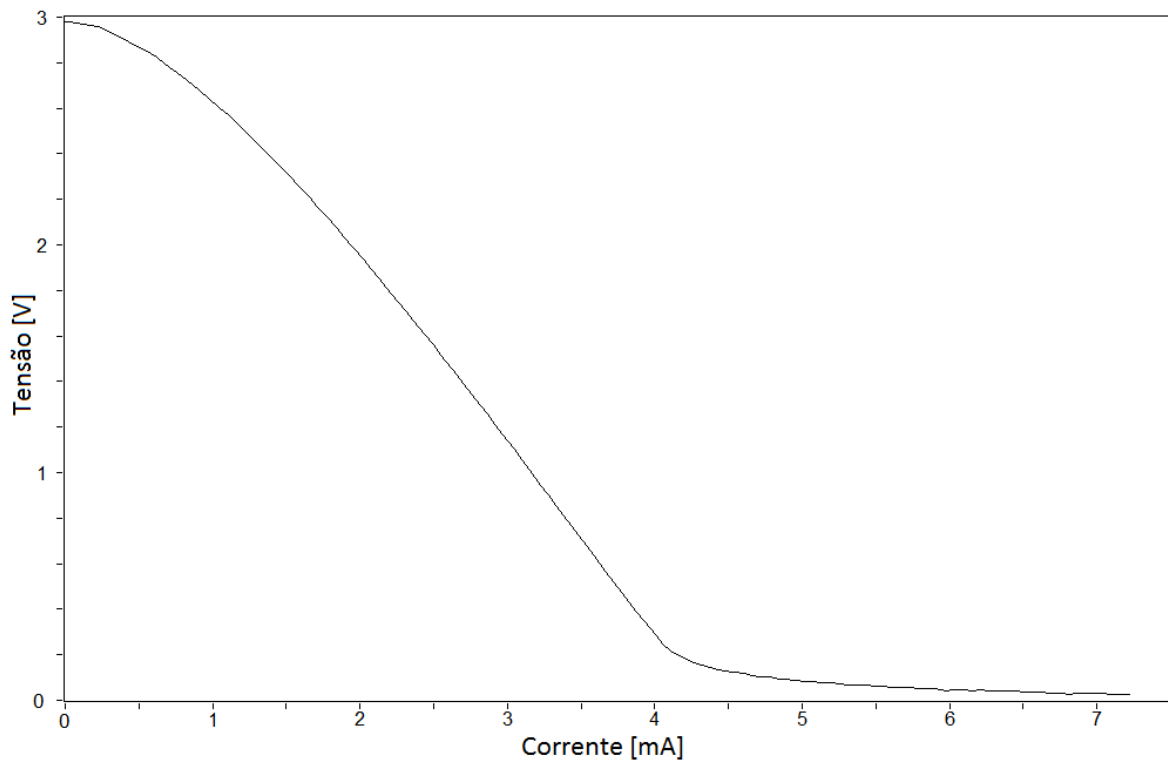


Figura 3.6: Curva de corrente do LED pela tensão de saída.

Da mesma forma que a curva da Figura 3.6 foi traçada com água limpa, é possível traçá-la sem água, medindo o ar. Isso se tornou possível com a topologia do novo sensor. Contudo, essa curva ainda não é conhecida para as possíveis variações do sensor, ficando assim ainda desconhecidas as relações entre os pontos de zero seco (ar limpo) e molhado (água limpa).

O envelhecimento do sensor também pode provocar diferentes mudanças na medição. Entre muitas das mudanças que ocorrem com o tempo, o acúmulo de sabão e o desgaste do plástico são as de maior significância. Para que essas variações possam ser consideradas e interfiram da menor forma possível na medição, a zeroagem do sensor de turbidez deve ser feita com certa frequência e com confiabilidade, possibilitando assim ao sensor se adaptar às mudanças.

4 Instrumentação do Sistema

A aprovação de um novo componente para eletrodomésticos deve ser exaustivamente testada para garantir a sua robustez, eficiência, qualidade e adaptação ao sistema. Um entre os muitos testes feitos no novo componente é traçar as curvas da entrada pela saída do mesmo em diferentes condições. Esses testes permitem a identificação do comportamento do componente nos principais cenários de uso. Procurando facilitar o ensaio, diminuir o tempo de ensaio e aumentar a qualidade pela redução da influência do operador foi implementada a automação do sistema de medição de testes, como descrito neste capítulo.

4.1: Instrumentação da máquina de lavar louça

Para testar o sensor o mais próximo possível da sua condição normal de uso, decidiu-se utilizar uma máquina de lavar louça como bancada de teste do sensor. Com o uso dessa máquina, foi possível submeter o sensor a condições de alta e baixa temperatura, com e sem água, além de poder ter também a bomba ligada como em um ciclo normal da própria máquina.

A instrumentação da máquina de lavar louça pode ser dividida em duas partes. A primeira parte consiste na medição, a qual é composta unicamente pela medição das temperaturas: próxima ao sensor de turbidez, ambiente, na placa de avaliação (que será abordada na seção 4.2) e, em alguns casos, interna do sensor. Para efetuar essas medições foram utilizados termopares[9] do tipo T juntamente com uma placa de aquisição de dados NI 9211 [10], da National Instruments.

A segunda consiste na implementação do acionamento da máquina. As componentes de comando desse acionamento foram as saídas digitais de uma segunda placa de aquisição, modelo NI USB-6251 [11], também da National Instruments. Apesar de essa placa ter muito mais funções que o necessário, ela foi utilizada por ser

a única com saídas digitais disponível no momento. Foi também utilizada uma fonte de tensão alternada de 230 V/50 Hz, um drive de potencia para o acionamento dos componentes e os componentes da máquina de lavar louça, como bomba interna e externa, válvula de entrada e resistor de aquecimento da água. A fonte de tensão alternada é utilizada, pois a máquina de lavar louça empregada durante o desenvolvimento do projeto é um modelo da Whirlpool comercializado na Europa, onde a frequência nominal da rede elétrica é 50 Hz, diferentemente da frequência utilizada no Brasil. O diagrama do acionamento da máquina é mostrado na Figura 4.1.

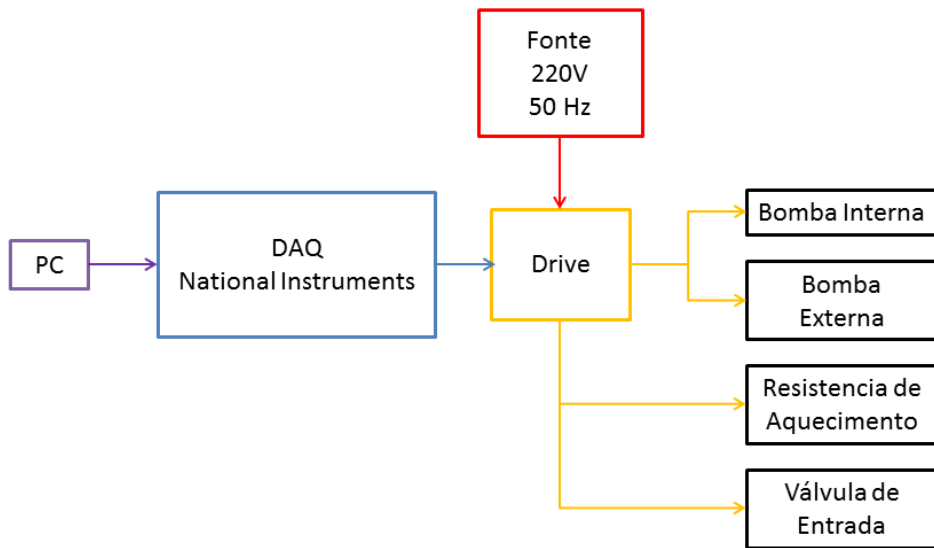


Figura 4.1: Diagrama de blocos do acionamento.

O drive utilizado para fazer o acionamento do sinal proveniente da placa de aquisição da NI foi feito utilizando um circuito integrado ULN2803 em conjunto com relés eletromecânicos, como mostrado no esquemático da Figura 4.2

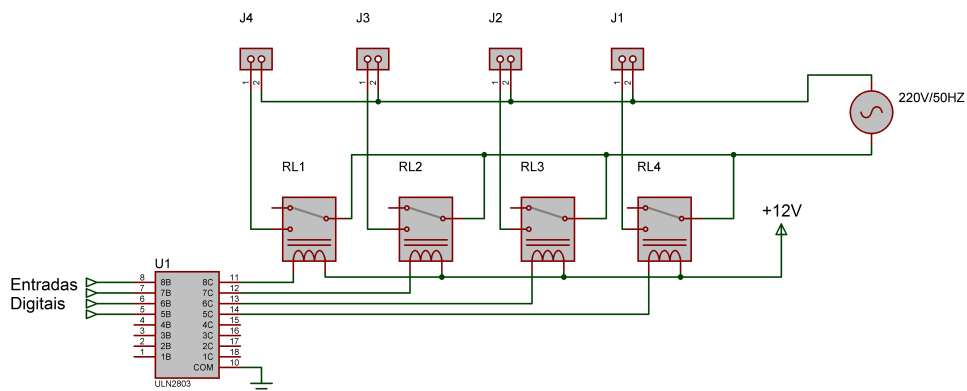


Figura 4.2: Esquemático do drive.

4.2: Placa de avaliação do sensor de turbidez

Para o desenvolvimento de testes rápidos dos sensores óticos de turbidez 2 foi desenvolvida, por um engenheiro da empresa alocado nos Estados Unidos, uma placa de avaliação. Essa placa é composta por um microcontrolador conectado a um conversor para comunicação USB, duas saídas PWM conectadas a filtros para criar sinais de corrente e entradas analógicas conectadas às saídas do sinal tratado do sensor, como mostrado na Figura 4.3.

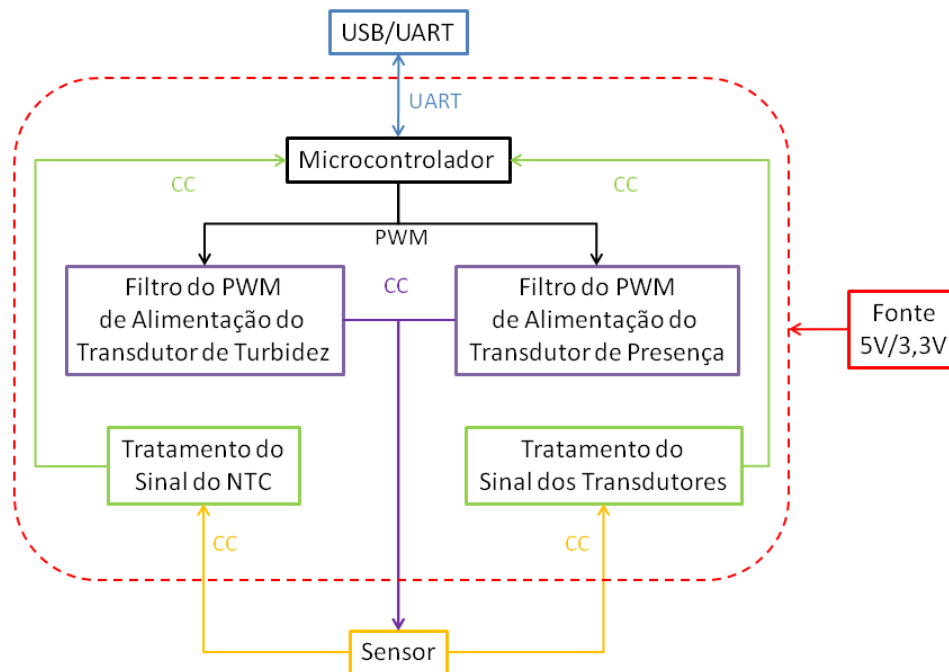


Figura 4.3: Diagrama de blocos da placa de avaliação.

De forma a manter a mesma estrutura, a placa pode ter duas variações dependendo da configuração dos *jumpers* instalados na placa. As duas variações da placas foram projetadas para simularem placas de controle da máquina de lavar louça utilizadas no produto final. Entre inúmeras diferenças que essas placas têm, as principais são: a tensão de alimentação do microcontrolador e do sensor, que pode ser de 5 V ou de 3,3 V, e a forma de filtrar o sinal PWM, que não será abordada neste trabalho. Para futuras referências das placas, será utilizado o nome placa A para fazer referência à placa com tensão de alimentação de 3,3 V, e placa B para fazer referência à placa com alimentação de 5 V.

Na configuração da placa A, configuração utilizada para a maioria dos testes, é possível obter informação da corrente gerada pelo PWM. Esse sinal é adquirido

através de uma entrada analógica do microcontrolador conectada ao circuito, como mostrado na Figura 4.4

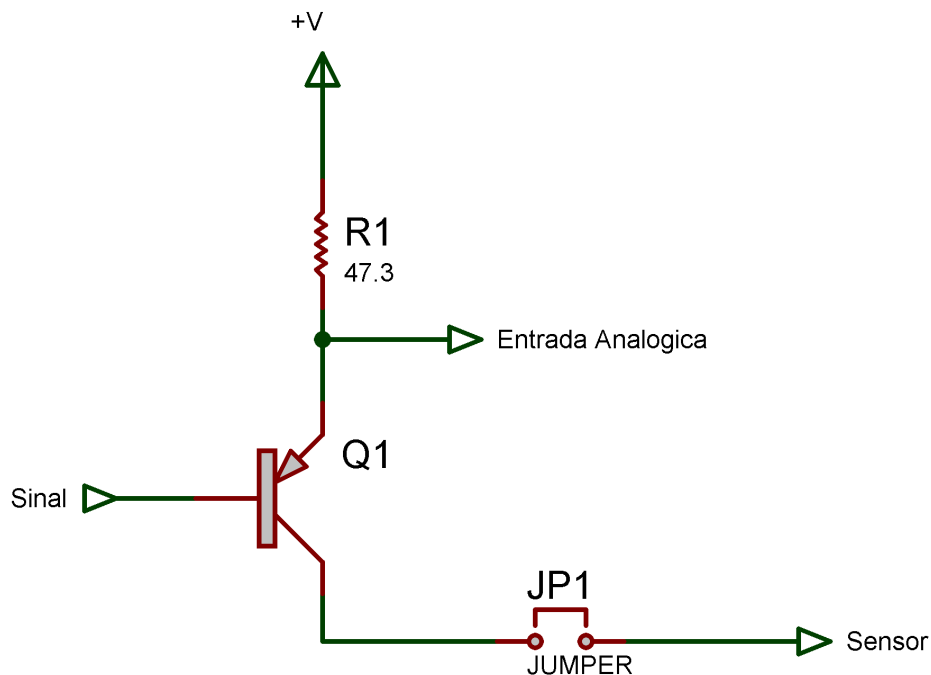


Figura 4.4: Esquemático da medição embarcada de corrente.

Com esse sinal, pode-se obter a corrente injetada no sensor através da equação 4.1, que define a corrente que atravessa o resistor.

$$I = \frac{(V_{cc} - V)}{R} \quad (4.1)$$

Onde: I é a corrente injetada no sensor;

V_{cc} é a tensão de alimentação;

V é o sinal medido pela entrada analógica;

R é a resistência que oferece a queda de tensão.

Neste modo de medição de corrente se tem um erro considerável, já que a resistência que oferece a queda de tensão é muito grande, podendo assim ter grandes variações causadas pela mudança de temperatura decorrente do aquecimento da placa e do auto-aquecimento durante a medição. Com isso, decidiu-se conectar o *jumper* mostrado na Figura 4.4 a um multímetro da Agilent 34401A de seis e meio

dígitos, de forma a obter uma medição mais confiável da corrente injetada no LED do sensor de turbidez.

4.2.1: Módulo de Comunicação

Assim como o hardware da placa de avaliação, o software dela também foi desenvolvido pelo mesmo engenheiro. Porém por repriorização do projeto, ele não foi capaz de desenvolver a comunicação da placa com o computador via USB. Dessa forma, ele adquiria e configurava todos os dados através do *debugger* do microcontrolador. Porém, para a automação de um sistema isso se torna inviável, já que dessa forma tanto a leitura quanto a escrita de qualquer dado deveria ser feita manualmente.

Para isso, foi desenvolvida uma biblioteca de comunicação, assim como foi criado um protocolo para que o computador fosse capaz de definir valores de PWM, fazer incremento no PWM e ler o valor das variáveis do sistema, como a tensão no sensor de turbidez.

A biblioteca de comunicação é constituída por três funções:

- `void UART_Config(void);`
- `void UART_Write (char * msg_string);`
- `char UART_Read(void).`

Essas funções são responsáveis por configurar o sistema para utilizar a UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), escrever uma *string* na UART e ler um caractere da UART, respectivamente. A leitura de um único caractere foi escolhida para que seja capaz de se utilizar uma leitura assíncrona. A leitura assíncrona é necessária, pois o sistema trabalha com slots de tempo pré-determinados que não podem ser ultrapassados e, portanto, não podem aguardar a chegada de uma mensagem.

O protocolo estabelecido para comunicação entre o computador e o sistema embarcado na placa de avaliação obedece a Tabela 4.1. No protocolo, pode-se observar a possibilidade de se obter a medida da tensão no sensor de turbidez, o PWM do sensor de turbidez, a tensão no resistor de medição da corrente, a corrente calculada no mesmo resistor e o resultado da conversão analógico para digital (A/D) do NTC. Como pode-se observar, não se adquire nenhuma variável referente à presença da

água. Entretanto, esta pode ser facilmente implementável no código, não sendo ainda implementada por priorização das tarefas.

Comando	Ação
r	Pede Variáveis, retorna saída do sensor (V), PWM da turbidez (%), entrada do sensor (V e A), AN4 (A) e NTC ($^{\circ}C$)
z	Faz com que PWM da alimentação do transdutor de turbidez seja 0%
u	Soma 0,1 ao PWM da alimentação do transdutor de turbidez
p	Soma 0,01 ao PWM da alimentação do transdutor de turbidez
1 a 9	Faz com que PWM da alimentação do transdutor de turbidez seja o número inteiro enviado como caractere
0	Faz com que o PWM da alimentação do transdutor de turbidez seja 10%

Tabela 4.1: Definição das mensagens do protocolo de comunicação criado.

4.3: Conexão do Sistema

Na Figura 4.5 mostra-se a instrumentação do sistema como um todo. Em azul estão os blocos correspondentes ao acionamento da bancada, que permitem manipular as variáveis do sistema, como a presença da água e sua temperatura. Em verde demonstra-se o sistema de medição de temperatura do sistema, em preto a medição de corrente e em vermelho a conexão com a placa de avaliação e o sensor de turbidez.

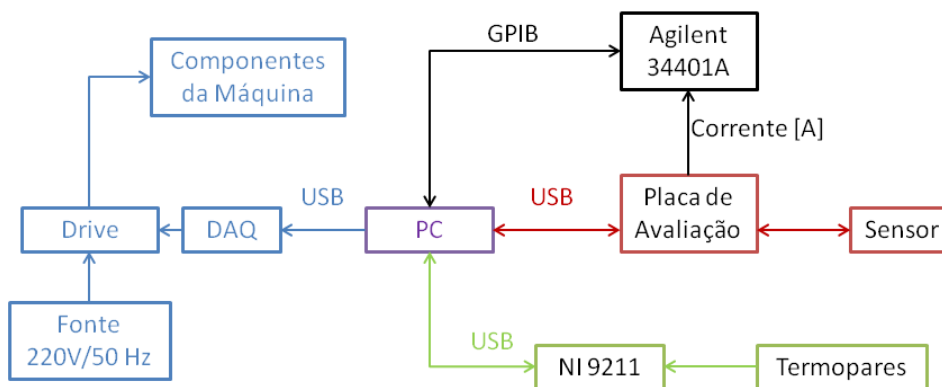


Figura 4.5: Diagrama de blocos da instrumentação completa.

4.4: Programas Desenvolvidos

Para a análise de viabilidade de zeragem a seco do sensor de turbidez foram desenvolvidos três programas em LabVIEW, sendo um deles para a automação dos ensaios e os outros dois para preparação dos dados para análise e plotagem das curvas.

4.4.1: Programa de Automação de Ensaios

Este programa foi desenvolvido visando a atuação sobre o sistema, a medição das variáveis do sensor e a configuração e execução de ensaios. Na Figura 4.6 apresenta-se a interface com o usuário desse programa. Na parte A podem-se ver os botões que controlam as partes da máquina. A lógica do controle é de escrita do valor dos botões direto na placa de aquisição.

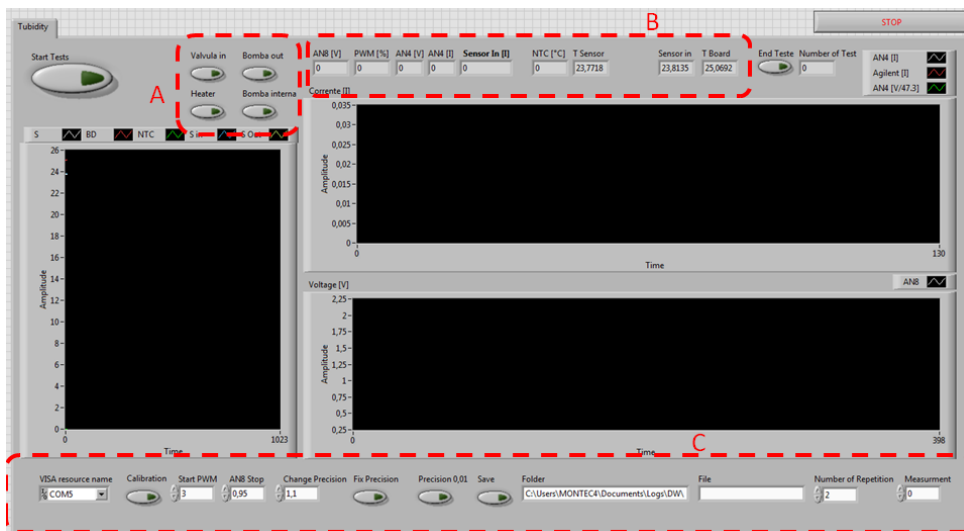


Figura 4.6: Interface do programa de medição.

Na parte B, podem-se ver as variáveis lidas do sensor. Para que essas variáveis sejam lidas é necessário primeiramente abrir a comunicação, seguindo com a utilização dos comandos do protocolo de comunicação, como descrito na seção 4.1. Caso seja feita uma medição, então se deve fazer uma divisão dos dados enviados para separar cada informação. No destaque C tem-se na parte inferior as configurações do teste, onde pode-se configurar:

- tipo: calibração (aplicação de rampa no PWM) ou somente medição;

- valor inicial do PWM (de 0% a 10%);
- condição de finalização para tensão de saída do sensor (limite inferior);
- condição para mudança do passo;
- manter passo igual durante todo o teste;
- tamanho do passo do teste (0,01% ou 0,1% do PWM);
- se deseja salvar o teste, pasta e nome do arquivo para salvamento;
- quantidade de repetições seguidas do mesmo teste e número da medição.

Todas essas informações são utilizadas para executar o algoritmo de teste que gerencia mensagens conforme a situação configurada. Por último, o programa apresenta três gráficos, temperatura, corrente e tensão, com a intenção de possibilitar uma análise rápida durante o teste, podendo o responsável pelo teste identificar imediatamente alguma anomalia, caso ocorra. As informações desses gráficos são cópias dos dados apresentados na parte superior central.

4.4.2: Programas de Tratamento e Análise dos Dados

Foram feitos dois programas para facilitar a visualização e análise dos dados. O primeiro é utilizado para plotar curvas entre duas variáveis escolhidas do arquivo de registro de qualquer um dos testes na pasta selecionada. Na Figura 4.7 apresenta-se a interface desse programa. O segundo é utilizado para criar uma tabela com todas as medidas para quando a saída do sensor encontra-se em 1 V em cada ensaio de uma pasta específica. Esse programa também cria um arquivo de saída com esta tabela, possibilitando assim que os dados sejam analisados em outros programas de planilha eletrônica ou JMP. JMP é um programa que fornece ferramentas de análise estatística para planejar e analisar testes pelo método de Seis Sigma. O método é utilizado para a exploração e análise de viabilidades do sensor de turbidez.

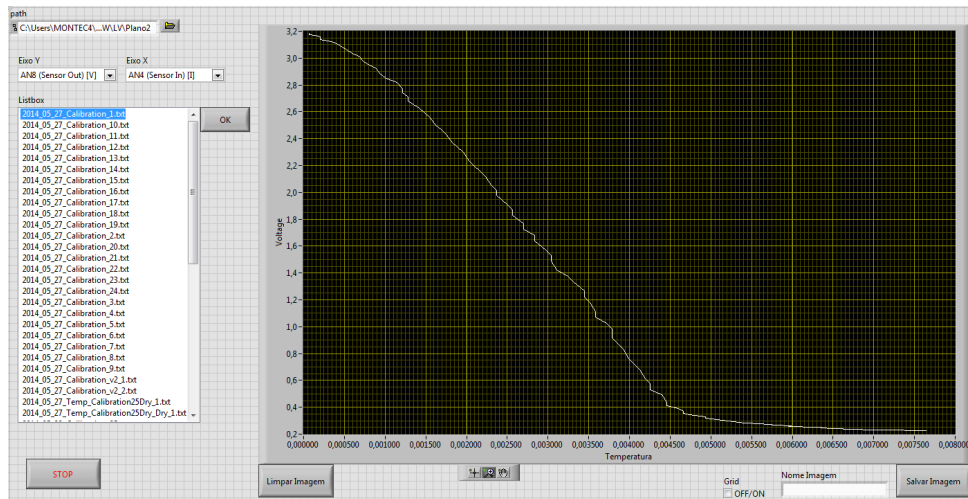


Figura 4.7: Interface do programa de plotagem.

5 *Ensaaios Exploratórios e Análise de Viabilidade da Zeragem a Seco*

Com a intenção de conhecer melhor o novo sensor de turbidez e as principais variáveis que influenciam em suas medições, foram feitos diversos testes. O primeiro teste foi com a característica de ser um teste exploratório. O intuito dele era que abrangesse basicamente todas as interferências consideradas baseando-se no método Seis Sigma. Em seguida, foram feitos testes mais específicos isolando-se a variável a ser analisada, como a interferência da iluminação do ambiente e do filtro da máquina. Com a análise dos resultados dos primeiros testes, foram definidas novas linhas de abordagem, que se aprofundaram mais na variação da temperatura e tensão de alimentação do sensor. Contudo, também foi explorada a interferência das bolhas criadas pela circulação da água, assim como a relação entre existir ou não água no sistema.

5.1: Teste para Conhecimento Geral do Sistema

Seguindo os princípios aplicados no método Seis Sigma adotado na Whirlpool, foram mapeados os principais fatores que influenciam o sensor e a medição da turbidez da água. Os fatores mapeados e considerados são:

- diferença entre unidades do mesmo modelo dos sensores;
- diferença entre placas;
- variação de temperatura nos sensores e nas placas;
- variação de $\pm 5\%$ da tensão de alimentação;

- presença da água e da luz.

A partir desse levantamento, foi planejado um teste que consiste em combinar os principais fatores de forma que cada um deles terá suas variações aplicadas na mesma quantidade que a variação contrária. O experimento planejado consiste em 48 testes, sendo que foram feitas 3 medidas para cada um, como mostrado na Figura 5.1.

Como pode ser observado na árvore de teste da Figura 5.1, esse é um experimento fracionado que não contempla todas as combinações dos fatores. Dessa forma, podem ser combinados mais fatores em menos rodadas, mas isso diminui a quantidade de conclusões possíveis. Porém, com a análise estatística do resultado é possível concluir diversas propriedades do sistema e principalmente o peso de cada item sobre a resposta do sistema, como mostrado na Figura 5.2.

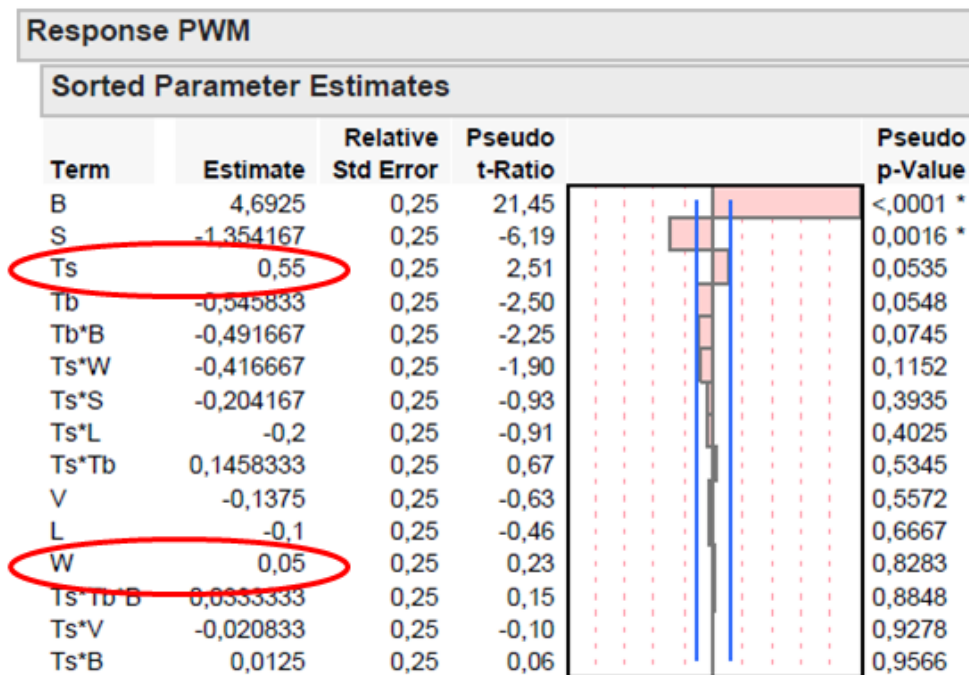


Figura 5.2: Peso de cada fator de interferencia.

Resulta então, como também mostra a Figura 5.2, que a maior influência é da placa, seguida pelo sensor, que são os principais motivos da zeragem. Na sequência, tem-se que a temperatura do sensor e da placa são os fatores mais influentes, pois não são considerados na zeragem do sensor. Com foco específico no sensor, comparem-se as interferências destacadas em vermelho. Pode-se, portanto, concluir que a presença de água é pouco significativa quando comparada com outras interferências, principalmente com a temperatura.

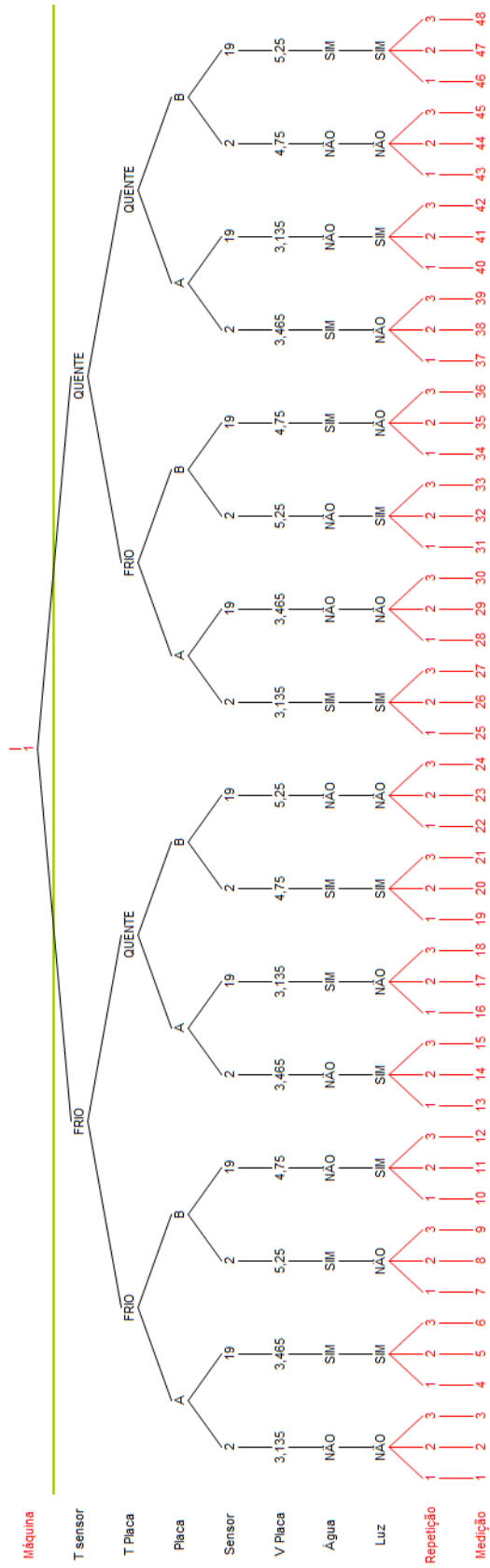


Figura 5.1: Árvore de teste dos ensaios exploratórios.

Com esse resultado, decidiu-se efetuar testes específicos sobre a interferência da iluminação do ambiente e do filtro de água para comprovações. Esses ensaios confirmaram a conclusão estatística da análise anterior que identificou estes fatores pouco influentes na resposta do sensor. Contudo, decidiu-se que todos os testes seriam feitos dentro da máquina de lavar fechada e com filtro de água para que seja possível aproximar-se mais da situação normal de uso.

Seguindo os testes, decidiu-se abordar a variação de temperatura, tensão e estado da água (presente, não presente e em movimento) de modo estatístico para maiores esclarecimentos, como descrito na seção 5.2 e 5.3.

5.2: Influência da Placa na Medição

Procurando entender um pouco mais sobre a influência da placa e suas variações nas medições de turbidez, foi feito um teste no qual se cruzaram todas as variáveis para obter um resultado completo. Na Figura 5.3 expõe-se a árvore de teste, para variações das temperaturas do sensor e da placa e da tensão de alimentação desta.

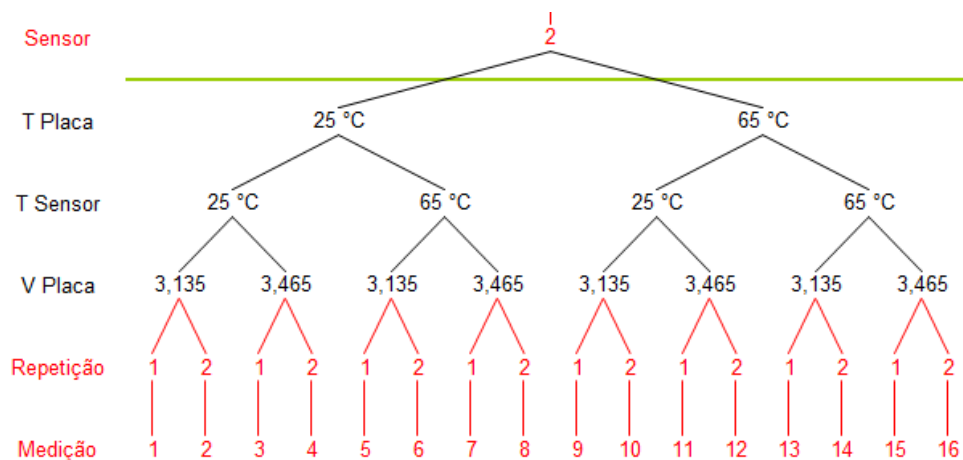


Figura 5.3: Árvore de teste dos ensaios das interferências da placa.

No gráfico de variabilidade apresentado na Figura 5.4 tem-se a variação do PWM para as condições descritas abaixo do mesmo. Com isso, podemos observar a variação, ou a média da variação, para cada fator. Através do gráfico desse ensaios pode-se inferir que apesar de a maior das influências ser a da temperatura do sensor, a da temperatura da placa também é muito significativa, assim como a variação da tensão de alimentação, mesmo esta estando dentro dos limites especificados da fonte

de alimentação da placa.

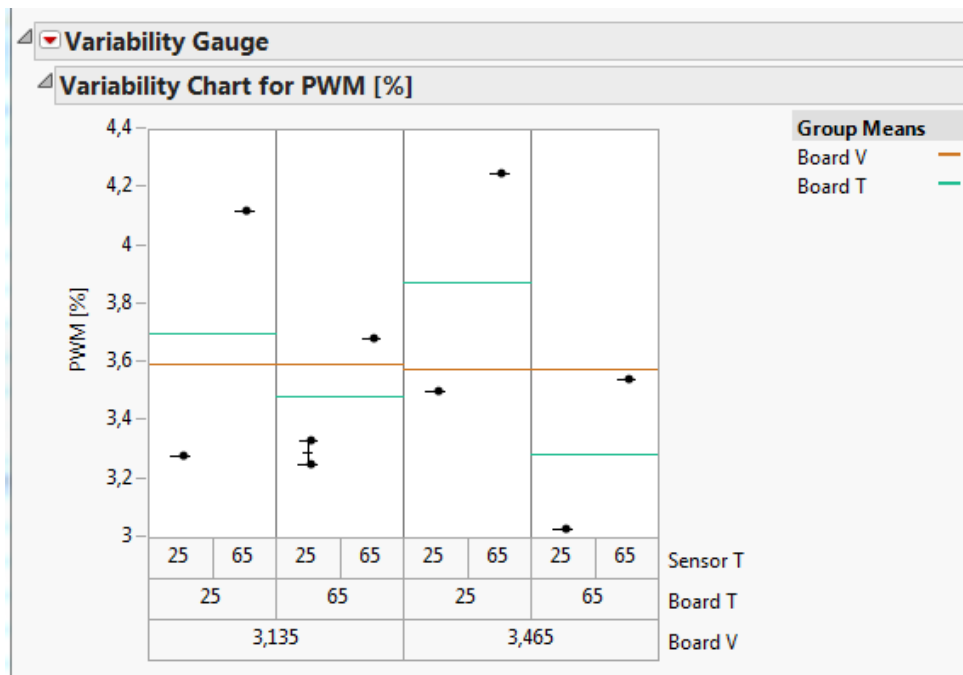


Figura 5.4: Gráfico de variabilidade do teste de influência da placa.

5.3: Influência da Temperatura e Ambiente na Medição

Seguindo a proposta feita com a análise do primeiro ensaio, foi investigada mais a fundo a influência da temperatura e do ambiente (seco, molhado ou com bolhas) na zeragem do sensor de turbidez da água. Na Figura 5.5 é apresentado o plano de testes com dois sensores do modelo sob avaliação (unidades de número 2 e 19) para essa análise.

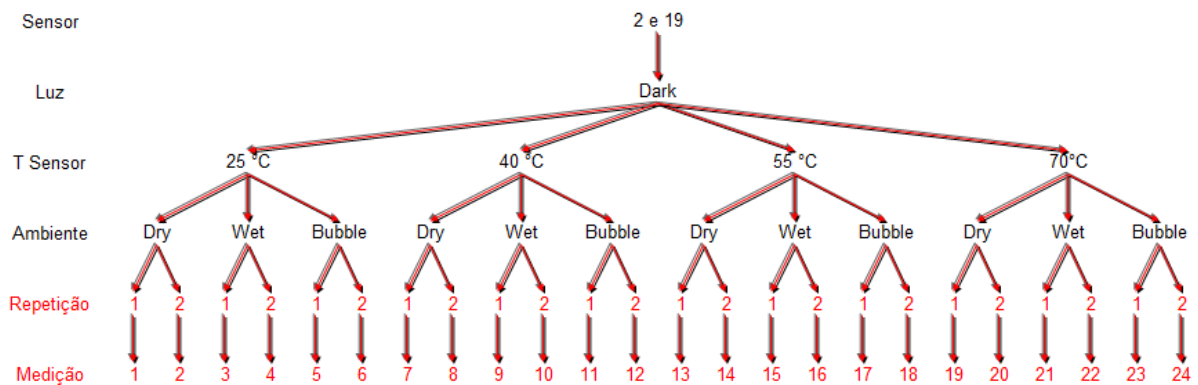


Figura 5.5: Árvore de teste dos ensaios das interferências de temperatura e ambiente.

No gráfico de variabilidade da Figura 5.6 vê-se primeiramente a já conhecida e grande diferença entre diversos sensores. Em segundo lugar, pode-se observar como o PWM é sempre maior quando a temperatura é maior, de forma independente do ambiente. Também torna-se evidente a proximidade das médias dos ambientes seco e molhado. Mas quando observado o ambiente molhado com bolhas, constata-se sua diferença. Porém, apesar da proximidade das médias, pode-se ainda observar que eles têm dinâmicas diferentes em relação à temperatura.

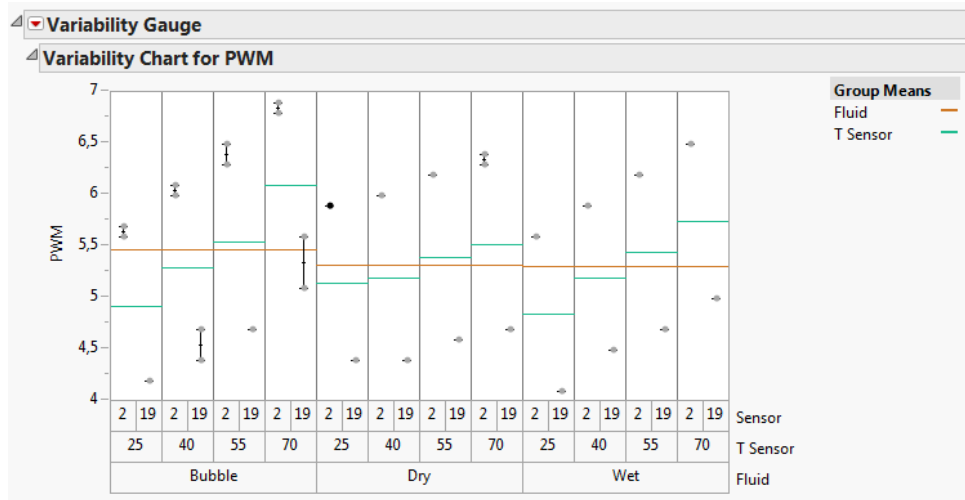


Figura 5.6: Gráfico de variabilidade do teste de influência da temperatura e ambiente.

Na Figura 5.7 foi traçada uma linha entre os pontos de 25°C e 70°C dos testes seco e molhado do sensor 19. Também foram plotados os pontos de 40°C e 55°C para ambas as condições. As temperaturas utilizadas para traçar esses pontos e retas foram as temperaturas medidas pelo NTC do sensor, aproximando assim o resultado da medida real. Pode-se ver nesse gráfico como as curvas se cruzam. Porém, o mais importante é como os pontos das temperaturas intermediárias ficam muito próximos da reta traçada entre as duas temperaturas extremas, indicando um comportamento praticamente linear em ambos os casos.

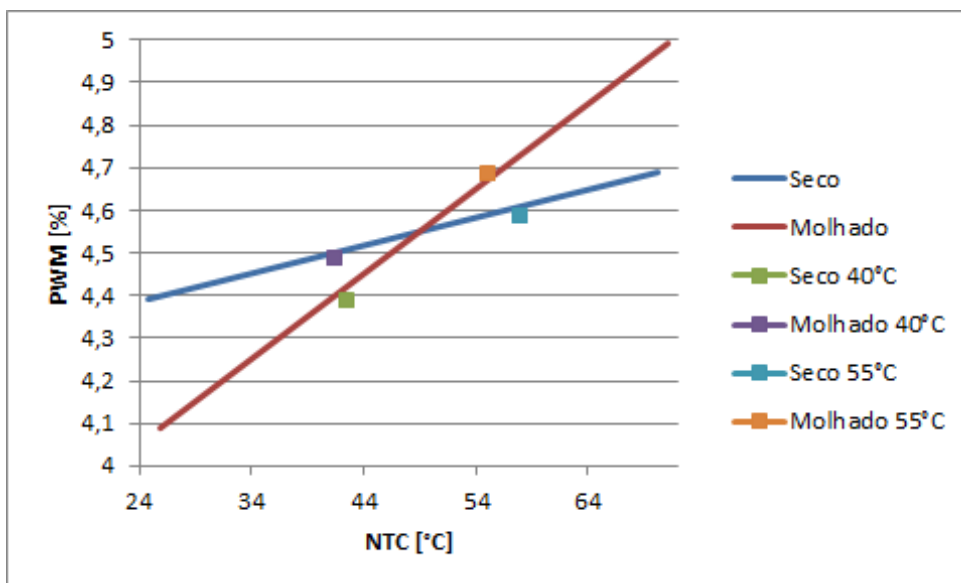


Figura 5.7: Gráfico das retas de zeragem.

Procurando entender se a influência da variação de temperatura é puramente na variação dos componentes eletrônicos ou se inclui alguma modificação física do meio, foi planejada uma bateria de testes procurando ter as temperaturas interna e externa do sensor constantes. Submeteu-se o sensor a duas situações de aquecimento diferentes. A primeira foi na própria máquina de lavar louça, onde a temperatura externa do sensor é maior que a interna, e a segunda dentro de um forno, onde espera-se que a temperatura externa e interna sejam iguais. Também foi feito um teste a temperatura ambiente. Na Tabela 5.1 podem-se ver a situação e os resultados de cada um desses testes.

Ambiente	Umidade	Temperatura	PWM [%]	T Ext [°C]	NTC [°C]	T Int [°C]
Máquina	Seco	Fria	4,43	23,65	25,28	24,48
Máquina	Molhado	Fria	4,13	24,22	24,97	24,30
Máquina	Seco	Quente	4,68	60,39	63,04	50,01
Máquina	Molhado	Quente	4,86	63,47	62,37	46,08
Forno	Seco	Quente	4,90	62,20	62,04	62,24
Forno	Molhado	Quente	6,07	51,98	55,43	58,65

Tabela 5.1: Tabela das medidas do ensaio de temperatura interna.

Podemos observar na Tabela 5.1 que quando o sensor está instalado na máquina, a temperatura interna deste é significativamente menor que a temperatura externa.

Outra observação feita durante os ensaios, é que depois do ensaio dentro do forno com água, observa-se um comportamento anormal do sensor elevando significativamente o seu ponto de zeragem. Acredita-se que esse comportamento tenha ocorrido por causa do longo tempo de exposição do sensor a alta temperatura (tempo esse que foi necessário para o assentamento da temperatura), que deve ter causado alguma modificação nos componentes. Acredita-se também que essas modificações sejam de caráter temporário e não representem grandes danos ao sensor, já que o mesmo voltou a funcionar normalmente depois de resfriado. Porém decidiu-se que esses ensaios seriam somente de caráter experimental, já que o sensor não é submetido a alta temperatura interna em seu comportamento normal.

No gráfico da Figura 5.8 pode-se comprovar o cruzamento entre as retas de elevação de temperatura do ambiente seco e molhado, tanto no forno quanto na máquina. Podem-se também ver a completa falta de correlação entre as curvas seca e molhada, apesar de não serem tão distantes.

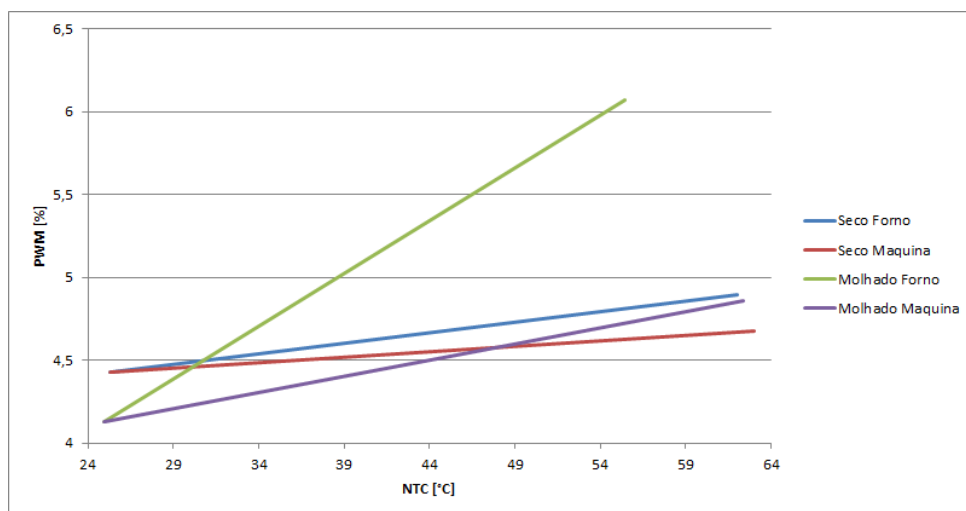


Figura 5.8: Gráfico das retas de zeragem com as temperaturas equalizadas.

6 Conclusão

Na procura por novos produtos, incremento de funções e melhorias na qualidade da linha atual de produtos, a Whirlpool investe em desenvolvimento de novas tecnologias, assim como está sempre a procura de novos componentes no mercado que possam agregar valor a seus produtos. Com essa visão, está sendo analisada a possibilidade da troca do sensor de turbidez das máquinas de lavar louça. Com esse novo sensor é possível medir diferentes níveis de turbidez da água presente na máquina, o que pode ser transformado em uma informação quantitativa da sujidade da louça e da quantidade de louça presente no interior do produto. Além disso, esse novo sensor permite efetuar medições mesmo quando ele não está imerso na água. Essa característica levantou a dúvida sobre a possibilidade de se efetuar a zeragem do sensor em ambiente seco, o que possibilitaria o aumento da frequência de zera-gens ao longo do tempo, melhorando a medição e conseqüentemente a qualidade do produto.

Como forma de facilitar a avaliação desse novo sensor, foi traçado como objetivo pela empresa a automação dos ensaios do sensor, fazendo com que estes se tornassem mais rápidos, simples e confiáveis. Essa automação foi feita de forma a possibilitar que os principais comandos fossem feitos através do computador, o que habilitou o desenvolvimento de um programa que é capaz de traçar as curvas dos sensores, assim como salvar todas as medições. Com isso, podem-se encontrar facilmente os pontos de zeragem, constante de tempo da medição de temperatura e comportamentos do sensor. A criação da bancada com o acionamento de uma máquina de lavar louça também possibilitou submeter o sensor a ambientes que serão comuns durante sua vida no produto.

Depois de concluída a etapa de automação dos ensaios de avaliação do novo sensor, desenvolvida no escopo deste trabalho, os ensaios foram planejados procurando conhecer o sensor mais a fundo, de forma a entender o seu funcionamento e analisar a viabilidade de se implementar um algoritmo de zeragem do mesmo sem a

presença da água. Com os primeiros ensaios, observou-se que o sensor era sensível a temperatura, assim como a placa era sensível a temperatura e tensão de alimentação. Dessa forma, os futuros ensaios foram direcionados a um melhor entendimento da influência da temperatura e tensão da placa no sistema de medição. Em seguida, foi realizada uma bateria de ensaios profundamente focada na influência da temperatura e presença da água na medição. Esses últimos tinham o objetivo de entender da forma mais clara possível a influência da presença da água na zeragem do sensor.

Através dos resultados obtidos com esses ensaios, foi observado que o sensor tem um comportamento relativamente linear com a variação da sua temperatura. Acredita-se que esta variação é principalmente decorrente da variação de temperatura dos componentes eletrônicos que constituem o sensor, o que provoca modificações nas características de resposta desses componentes e acaba se refletindo em mudanças significativas nas medições. Foi também observado que as retas de zeragem seca e molhada, com variações de temperatura, se cruzam e esse fenômeno merece estudos mais aprofundados antes de ser estabelecida uma correlação entre a zeragem seca e molhada.

Em virtude das análises feitas, com o conhecimento acumulado até o presente momento, a melhor solução para a zeragem é que seja feita com água em duas temperaturas para traçar uma reta de variação da zeragem pela temperatura. Com isso será possível criar um algoritmo embarcado na máquina de lavar louça que seja capaz de compensar os efeitos de variação de temperatura da zeragem molhada, possibilitando assim a zeragem ser adequada a qualquer temperatura. Além disso, por mais que não esteja estabelecida uma correlação clara entre as curvas de zeragem seca e molhada que permita a adoção imediata da zeragem seca no produto, vê-se que a zeragem a seco pode ser de grande uso para identificar mudanças significativas do sensor resultantes do envelhecimento ou mesmo de fatores externos, como deposição de sabão e deformações devidas a choques mecânicos. Dessa forma, a zeragem a seco poderia ser feita com uma frequência muito maior e ser usada como gatilho para a zeragem molhada.

As conclusões alcançadas neste trabalho atenderam os objetivos inicialmente traçados e com base nelas, sugere-se a futuros trabalhos:

- desenvolver um algoritmo para traçar a curva de zeragem considerando a temperatura de funcionamento, o que permitirá a compensação do efeito de temperatura do sensor na zeragem;

- estudar o envelhecimento do sensor com teste de vida em condições realísticas de aplicação e sua influência a zeragem seca e molhada;
- estabelecer uma correlação entre as zeragens seca e molhada, de modo a permitir que as zeragens sejam realizadas com a máquina vazia.

Referências

- [1] Dishwasher Repair. 2014. Disponível em: <<http://www.appliancerepair.net/dishwasher-repair-1.html>>. Acesso em: 01/07/2014.
- [2] NOGUEIRA, D. Vida Moderna: Falta de tempo para o lazer frustra 44,5% dos brasileiros. 2014. Disponível em: <<http://www.correiodeuberlandia.com.br/cidade-e-regiao/falta-de-tempo-para-o-lazer-frustra-445-dos-brasileiros/>>. Acesso em: 30/06/2014.
- [3] WHIRLPOOL Corporation Timeline. 2011. Disponível em: <<http://www.whirlpoolcorp.com/100/history.aspx>>. Acesso em: 30/06/2014.
- [4] WHIRLPOOL Corporation: 2013 Annual Report. 2014. Disponível em: <http://files.shareholder.com/downloads/ABEA-5DXEK8/3285488069x0x730959/153D9242-5CBF-4CCA-B5BD-00867FAF764C/Whirlpool_2013AR_spreads_.pdf>. Acesso em: 30/06/2014.
- [5] POSTOLACHE, O. et al. An IR turbidity sensor: Design and application. IEEE Instrumentation and Measurement, 2002.
- [6] SADAR, M. J. Turbidity Science. Technical Information Series. No 11. 1998.
- [7] GONÇALVES JR., A. A. Metrologia. v. 1, 2002. Disponível em: <http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC6421/metrologia_1.pdf>. Acesso em: 03/07/2014.
- [8] Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf>. Acesso em: 16/07/2014.
- [9] BORCHARD, I.; GOMES, A. F. Termometria termoelétrica: Termopares. 2. Ed, Porto Alegre: Sagra, 1979.
- [10] USER Guide and Specifications NI USB-9211/9211-A. National Instruments, 2007. <http://www.ni.com/pdf/manuals/373466e.pdf>.
- [11] NI 625x Specifications. National Instruments, 2007. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371291h.pdf>.