

MODERNIZAÇÃO DE UM REFRAÔMETRO LINEAR DIGITAL PARA A INDÚSTRIA DE AÇÚCAR

Eduardo dos Santos Ferreira¹

¹ Prof. Dr. do Departamento de Ensino Geral da FATEC-SP

ferreira@fatecsp.br

Resumo

Neste projeto apresentamos a atualização tecnológica de um refratômetro digital desenvolvido na década de 70. Através desse trabalho resgatou-se o princípio operacional do equipamento e apresentou-se um novo projeto eletrônico, que diminuirá custos de fabricação e aumentará a precisão do equipamento. A atualização da eletrônica inclui o uso de um moderno microcontrolador de 16 bits e um sensor CCD tipo linear de 2048 canais, sendo que o aparelho original possui um controlador de 8 bits e um sensor de matriz de diodos de 512 canais. Com a utilização desses novos componentes é possível aumentar a precisão do aparelho em aproximadamente 10% e aumentar a sensibilidade em 10 vezes.

1. Introdução

Segundo dados da União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (ÚNICA),[1] nos anos de 2006 e 2007, a produção de açúcar, álcool e cana no Brasil foram respectivamente 29 milhões de toneladas, 17 milhões de metros cúbicos e a de cana e 426 milhões de toneladas. A atual política e os dados apresentados indicam a importância desse ramo de atividade em nosso país.

Estes dados também evidenciam um problema que ocorre na compra e venda da cana pelas usinas de açúcar e álcool. Para uma produção eficiente de açúcar e álcool é necessário que a matéria prima (cana) tenha altos teores de sacarose. Assim, as usinas usam aparelhos para medir a concentração deste composto químico no lote de cana adquirido do produtor. Da mesma forma a empresa que compra o açúcar refinado também mede a quantidade da sacarose para definir o preço do açúcar comprado da usina.

Esta é a função do refratômetro digital, ele determina a concentração de sacarose através do índice de refração da amostra. [2] O índice de refração (n) de uma substância ou solução é a relação entre a velocidade da luz no vácuo e sua velocidade na substância. Na prática, determina-se a refração em relação ao ar e à substância, em lugar de em relação ao vácuo e à substância, visto que isso não apresenta influência significativa nos valores observados.

É necessário especificar as condições de temperatura e comprimento de onda utilizados (μ_{λ}^T). Os índices de refração são geralmente formulados em função da luz de sódio de comprimento de onda de 589,3nm, à temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (μ_D^{20}). [2]

O índice de refração varia com a temperatura e para a maioria dos líquidos orgânicos usados, um aumento na temperatura de 1°C , causa uma diminuição em ' μ ' de $3,5 \cdot 10^{-4}$ a $5,5 \cdot 10^{-4}$. [2]

A determinação do conteúdo em substância seca se efetua através do índice de refração com preferência em sucos de frutas e verduras, conservas de tomate, limonadas efervescentes (gasosas) e em outros produtos alimentícios. A escala de substância seca está dividida segundo a escala de açúcar internacional de 1994. Esta indica o conteúdo em substância seca, ou seja, no componente desprovido de água de um produto, com exatidão apenas para soluções de açúcar puras. [2] A escala utilizada para indicar a concentração de sacarose é o Brix. Um grau Brix corresponde a 1g de sacarose dissolvida em 100g de água destilada a 20°C . [2]

O refratômetro indica todo o extrato solúvel em água (açúcar e outras substâncias dissolvidas) como substância seca. A escala de substância seca vale para medidas a 20°C . Para outras temperaturas entre 10°C e 30°C , deve-se corrigir o número de porcentagem lido segundo a tabela de correção. [2]

O refratômetro linear para líquidos foi descrito em todas as suas versões (1969, 1970 e 1975) por Geake [3]. Eram equipamentos visuais, e a posição da região limite entre claro e escuro indicava o valor do índice de refração.

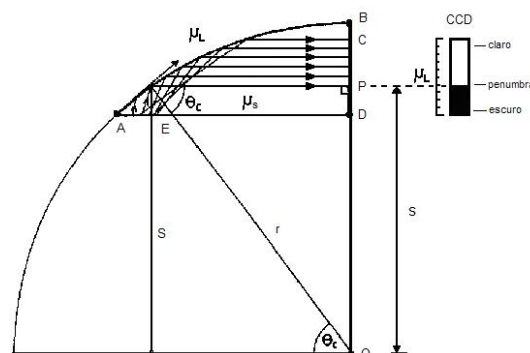


Figura 1 – Princípio de operação do refratômetro não linear para líquidos [3].

O princípio de operação do refratômetro é exibido na Figura 1. Se um líquido com índice de refração μ_L entra em contato com uma superfície convexa cilíndrica (AB) de um prisma transparente (ABD) com índice de refração μ_S , a vista na superfície BD será como é exibido na Figura 1. Com uma fonte de luz extensa colocada ao longo de AE teremos raios refletidos para a superfície BD devido a reflexão interna total. O ângulo entre os raios incidentes e os refletidos diminui na

direção de C para D. A reflexão cessa quando este ângulo atinge o valor do ângulo crítico (θ_C). A posição da região de corte é dada por [3]:

$$s = \left(\frac{r}{\mu_S} \right) \cdot \mu_L \quad (1)$$

A razão r por μ_S é uma constante que dependerá do prisma. Assim, pela equação 1 concluímos que a resposta deste sistema é linear. Utilizando um sensor de imagem capacitivo linear (CCD) em lugar da objetiva e da escala graduada e um sistema digital de controle, criamos o refratômetro digital para líquidos.

A eletrônica do refratômetro estudado utiliza um microprocessador de 8 bits e um sensor linear de matriz de diodos como sensor óptico. Com esta tecnologia é possível obter medidas com resolução de até $0,1^\circ$ Brix. O objetivo de nosso trabalho é propor uma nova eletrônica de modo a melhorar a precisão do equipamento estudado.

2. Descrição do projeto

Na Figura 2 apresentamos o diagrama em blocos do sistema. Uma unidade microcontrolada de 16bits (UMC) é o coração do sistema. Esta unidade é responsável por gerar os sinais de controle do CCD; fazer a leitura da temperatura do prisma e da amostra; controlar a luminosidade da fonte luminosa; digitalizar a imagem do CCD; fazer o cálculo do índice de refração e do Brix da amostra e os exibir em um visor digital alfanumérico.

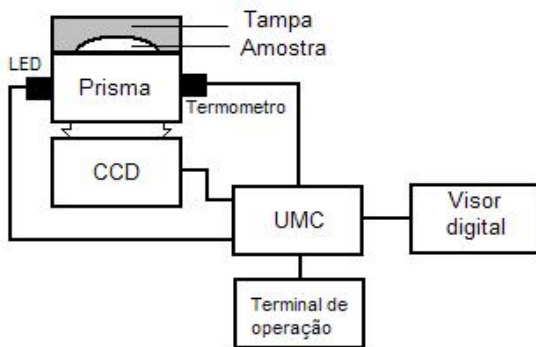


Figura 2 – Diagrama em blocos do sistema.

O sensor CCD utilizado possui 2048 elementos sensíveis (pixels) e necessita de um sinal de varredura digital para produzir o sinal de vídeo analógico na saída.

A Figura 3 ilustra a seqüência de sinais gerados pelo controlador para a criação do sinal de imagem na saída do CCD, que aparece no fim da Figura 3. O primeiro sinal é o de sincronismo, sua função é iniciar o processo de armazenagem nas memórias capacitivas do CCD. O segundo sinal é o sinal de relógio, ele tem exatamente 2087 pulsos. O nível de tensão relativo ao escuro é exibido até o 33º pulso. O sinal de vídeo aparece entre os pulsos 34 a 2089. Neste instante o conversor analógico digital interno da UMC converte os níveis de tensão do CCD e os armazena na memória, mais especificamente em um vetor de inteiros de 16 bits com 2048 elementos. Devido às características de formação

de imagem do CCD, o processo de aquisição deve ser repetido algumas vezes antes de se digitalizar a imagem.

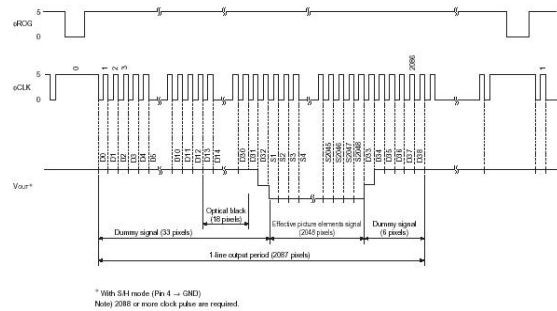


Figura 3 – Sinais de controle do CCD.

Após a aquisição da imagem e seu armazenamento na memória é iniciado o processo do cálculo do índice de refração e da concentração de sacarose (Brix). Estes cálculos levam em conta a temperatura da amostra, que foi medida e digitalizada durante o processo de leitura do CCD. Para melhorar a precisão do equipamento, o processo de leitura é repetido. O valor indicado no visor é uma média dos valores de Brix e índice de refração colhido. Após o processo de cálculo os valores do índice de refração, do Brix na temperatura ambiente e do Brix corrigido para 20°C [2] são exibidos no visor digital.

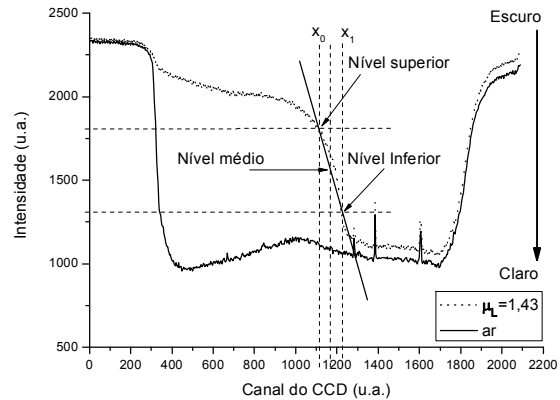


Figura 4 – Exemplo de imagem digitalizada.

Para explicar como é feito o cálculo do índice de refração recorremos a Figura 4, que mostra um típico sinal de vídeo digitalizado de uma amostra com índice de refração $\mu_L = 1,43$. Como podemos observar, não existe uma região de transição abrupta de claro para escuro, o que existe é uma região de penumbra, onde a intensidade cai de forma quase linear.

Para determinar o ponto correto de transição relativo ao ângulo crítico é necessário calcular o valor médio dos canais relativos a dois níveis de referência de intensidade pré-estabelecidos. O ajuste destes níveis varia de prisma para prisma.

3. Resultados e Discussões

Após a montagem e testes de funcionamento do protótipo do refratômetro, foi realizada a calibração do aparelho. Para a calibração foram utilizados padrões de

índice de refração com precisão de $\pm 0,00001$ e soluções de sacarose de 15 e 25 °Brix. Todo o processo foi realizado utilizando um ambiente de temperatura controlada, que garantiu uma temperatura média de $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ [2].

Na Tabela I apresentamos os valores medidos no aparelho para vários padrões de calibração, bem como o erro experimental em cada ponto. Os valores de contagem (Cnt) são relativos ao valor da posição de transição de claro para escuro calculado pelo programa. Estes valores de contagem são relativos aos canais do CCD e foram obtidos fazendo a interpolação numérica explicada acima. Estes valores são muito maiores do que os 2048 canais do CCD, pois multiplicamos estes valores por 40 para obter uma melhor precisão durante os cálculos.

Tabela I – Padrões utilizados e dados da calibração do protótipo.

Padrão	Cnt	Brix	Índice	Obs.	Erro (%)
1,33298	15569	0,00	1,332998	água dest.	0,001
1,35566	18585	15,00	1,355682	solução	0,002
1,3723	20788	25,0	1,372317	solução	0,001
1,40006	24467	40,10	1,400102	óleo	0,003
1,42992	28178	54,60	1,429947	óleo	0,002
1,46000	31759	67,75	1,460096	óleo	0,007
1,48995	35139	79,71	1,490021	óleo	0,005

Para calibrar o aparelho ajustamos polinômios de sexto grau do tipo $f(\text{Cnt}, T, \lambda)$, onde λ e T são o comprimento de onda da fonte luminosa e T a temperatura da amostra. Um polinômio é para a indicação do valor do Brix e outro para a indicação do índice de refração da amostra.

Ainda na Tabela I, os valores de erro de calibração apresentados pelo protótipo foram inferiores a 0,007%, que é um bom resultado.

Comparativamente com o projeto original a sensibilidade de leitura de Brix diminui de 0,1 para 0,01. Assim foi possível obter um aumento de 10 vezes na sensibilidade do aparelho usando a mesma óptica.

4. Conclusões

Foi possível resgatar os princípios operacionais e o código fonte do refratômetro. Também foi desenvolvido um novo projeto eletrônico simplificado que irá resolver os problemas de falta de oferta de componentes eletrônicos do projeto original.

Também foi apresentada discutida uma metodologia de calibração do aparelho. Este conhecimento será útil para a certificação do aparelho. Ainda podemos calibrar o equipamento em campo com os padrões dos clientes, conforme a necessidade.

Destacamos o uso de uma unidade microcontrolada de 16 bits que melhorou em muito a precisão dos cálculos e a precisão e sensibilidade do aparelho. Também é possível substituir o sensor óptico de matriz de diodo por um sensor CCD, que é comum no mercado e apresenta menor custo de aquisição.

Agradecimentos

À FATECSP, pela realização do projeto de pesquisa.
À Embu Científica LTDA pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- [1] União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo - UNICA. **Produção de cana, álcool e açúcar no Brasil**. <http://www.unica.com.br>. 2007.
- [2] ICUMSA Specification and Standart. Refractometry and Tables – Official. International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, SPS-3, 1994.
- [3] J. E. Geake, C. S. Mill, e M. S. A. Mohammadi. **A linear differentiating refractometer**. Meas. Sci. Technol. 5 (1994) pg. 531-539, 1994.