

ESTUDO SOBRE A ESPECTROSCOPIA NIR PARA DETECÇÃO DO NÍVEL ALCOÓLICO NO SANGUE

STUDY ABOUT NIR SPECTROSCOPY TO DETECT BLOOD ALCOHOL LEVELS

Luis Gustavo Longo¹

Cláudio Luis D'Elia Machado²

Fabiano Sandrini Moraes³

Rafael Galli⁴

Resumo: O consumo abusivo do álcool é considerado um problema global, e número de acidentes em que o seu consumo está envolvido aumenta a cada ano. Como consequência, testes para a avaliação do nível alcoólico no sangue são cada vez mais importantes para combater estes acidentes. Um dos métodos para a avaliação do nível de álcool no sangue é a espectroscopia no Infravermelho Próximo (*Near Infrared - NIR*), que se mostrou até mais eficaz que os métodos atualmente usados, como o etilômetro portátil - popularmente conhecido como "bafômetro". Isto se deve porque o etilômetro utiliza um coeficiente de partição para medir o nível de álcool no sangue, que varia de acordo com os indivíduos, podendo gerar erros na estimativa do nível de álcool no sangue. Trabalhos já realizados na área comprovam que o etilômetro NIR é capaz de medir a concentração alcoólica no sangue durante o período de eliminação mais precisamente que o bafômetro convencional. Tendo isso em vista, o presente trabalho apresenta a fundamentação teórica para a construção de um etilômetro NIR de baixo custo, dando exemplos de emissores, receptores e processadores disponíveis no mercado que poderiam ser usados para a construção do mesmo. Além disso, são abordadas técnicas para a manipulação do espectro do receptor, visando a melhoria na interpretação tanto qualitativa como quantitativa dos dados.

Palavras-chave: Espectroscopia. Infravermelho. Etilômetro.

¹Graduando em Engenharia Elétrica, Lab 14 - Grupo de Pesquisa em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) - Campus Pelotas e luisgustavolongo@gmail.com.

²Doutor em Engenharia Mecânica, Lab 14 - Grupo de Pesquisa em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) - Campus Pelotas e claudiomachado@pelotas.ifsul.edu.br.

³Mestre em Engenharia de Computação, Lab 14 - Grupo de Pesquisa em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) - Campus Pelotas e fabianomoraes@pelotas.ifsul.edu.br.

⁴Mestre em Ciência e Tecnologia de Sementes, Lab 14 - Grupo de Pesquisa em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) - Campus Pelotas e rgalli@pelotas.ifsul.edu.br.

Abstract:

The abusive consumption of alcohol is considered to be a major global problem, and the number of accidents in which its consumption is related increases each year. As a result, blood alcohol evaluation tests are expected to play an important role in order to prevent these accidents, especially those in the workplace or roads. Amongst the available blood alcohol evaluation tests today, the Near Infrared Spectroscopy (NIR) is of particular interest, once its results are even more effective than the popular portable breath etilometer. This is due to the partition coefficient used by the etilometer, which compares the alcohol in the alveolar air expelled by the lungs of the subject in analysis to his/her bloodstream alcohol. Similar work has shown that the NIR etilometer is capable of measuring blood alcoholic concentration during elimination process even more precisely than conventional etilometers. With that in mind, this paper presents a theoretical approach on modeling and building a low cost NIR etilometer, showing examples of emitters, receivers and processors available at the market that could possibly be used to build this device. Besides, a few spectra manipulation techniques are also displayed, in order to get better qualitative and quantitative interpretation of the data.

Keywords: Spectroscopy. Infrared. Etilometer.

1 INTRODUÇÃO

O consumo e abuso de bebidas alcoólicas no trabalho, nas rodovias e em ambientes públicos é considerado um problema global. O número de acidentes em que o consumo de álcool está envolvido aumenta a cada ano resultando em bilhões de dólares de prejuízo em tratamento e seguro médico, perda de produtividade e de salário. Uma ferramenta de grande importância na prevenção de acidentes devido ao consumo de bebidas alcoólicas é o teste para avaliação do nível alcoólico no sangue (RIDDER; HENDEE; BROWN, 2005).

Um dos métodos para a realização da avaliação do nível alcoólico no sangue é realizada pelo etilômetro, conhecido popularmente como “bafômetro”, sendo a mais utilizada para testes rápidos. Nessa medição o indivíduo expira no aparelho que mede o álcool contido no ar oriundo dos alvéolos pulmonares, calculando o nível de álcool na corrente sanguínea através do coeficiente de partição (RIDDER; HENDEE; BROWN, 2005). O coeficiente de partição relaciona a concentração de álcool no ar alveolar com o álcool na corrente sanguínea. Por exemplo, considerando um coeficiente de partição de 1:2000, 2 dg/L de sangue corresponde a cerca de 0,1 mg/L de ar alveolar expelido (ANDRADE; ANTHONY; SILVEIRA, 2009).

Conforme Ivamoto (2013), o coeficiente de partição pode variar de pessoa para pessoa e como nos “bafômetros” é utilizado um valor fixo, em torno de 2100, isto pode ocasionar erros na estimativa do nível de álcool no sangue. A relação entre o nível alcoólico no sangue com o álcool contido no ar da expiração é fundamental, pois as leis baseiam-se na concentração alcoólica no sangue e não no ar expirado.

Deste modo buscou-se métodos não-invasivos alternativos para a realização de testes rápidos menos dependentes da variação do coeficiente de partição. Um destes métodos é com o uso da espectroscopia.

A espectroscopia é uma ciência que estuda a interação dos diferentes tipos de radiação com a matéria. Dentro desse espectro eletromagnético está localizada a região do infravermelho próximo, com comprimento de onda de 770nm a 2500nm (SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2017).

A espectroscopia no Infravermelho Próximo (*Near Infrared* - NIR) é um tipo de espectroscopia vibracional cuja faixa de energia é suficiente para promover as moléculas de seu estado vibracional fundamental para outros estados excitados. O emprego da espectroscopia nessa região permite a obtenção de informações qualitativas e/ou quantitativas da interação da radiação sobre a matéria em estudo (CHAGAS, 2006).

Os métodos analíticos resultantes do uso da espectroscopia se fazem relevantes pois

possuem alta velocidade na obtenção dos dados, demandam pouco ou nenhum preparo da amostra, possuem alta penetração do feixe de radiação e, principalmente, não são destrutivos ou invasivos (CHAGAS, 2006).

Dentre os trabalhos que estudam o tema pode-se citar os desenvolvidos por Ridder, Hendee e Brown (2005), Sharma, Sharma e Lahiri (2010) e Chagas (2006). Em Ridder, Hendee e Brown (2005) os autores mostraram que durante o período de eliminação do álcool a medição através da espectroscopia infravermelha é mais fiel que a medição pelo bafômetro. Para este estudo, ele usou um espectroscópio com interferômetro de Michelson customizado.

No estudo realizado por Sharma, Sharma e Lahiri (2010) foi utilizada a espectroscopia infravermelha para medir a concentração de álcool em amostras de sangue, obtendo os espectros de amostras de sangue contendo álcool e amostras livres de álcool. Como um dos resultados foi obtido com a excitação para o número de onda de 1640 cm^{-1} uma diferença de 30% na transmitância (razão entre a quantidade de radiação eletromagnética que atravessa o meio e a quantidade que é emitida) entre as amostras.

Chagas (2006) desenvolveu um espectrômetro NIR portátil para a medição da concentração de álcool na gasolina e água em álcool combustível. Para as medições do álcool na gasolina, o autor utiliza como fonte de radiação uma lâmpada de tungstênio e como receptor fotodiodo GaInAs com comprimento de onda de 1480 nm.

Assim, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre o uso da espectroscopia infravermelha como uma técnica não-invasiva alternativa ao etilômetro para a medição do nível alcoólico no sangue.

2 ESPECTROSCOPIA INFRAVERMELHA

A espectroscopia infravermelha é uma importante área da espectroscopia, principalmente pelo fato de poder trabalhar com praticamente todo e qualquer tipo de amostra – desde líquidos e soluções até gases e superfícies. Sendo baseada na absorção da energia emitida por uma onda eletromagnética na região infravermelha, resultando em vibrações nos átomos da molécula que se deseja estudar. Para que uma molécula possa absorver radiação infravermelha ela deve possuir uma característica específica, como por exemplo um momento dipolo da molécula deve mudar durante as vibrações. Essa é a chamada regra de seleção para a espectroscopia infravermelha (SUART, 2004).

Um dos compostos que são excitados na região do infravermelho próximo é o álcool. Embora a banda de análise da ligação O-H esteja centrada próximo de 2780 nm (região do infravermelho médio), a combinação de bandas e os harmônicos ocorrem na região do

infravermelho próximo (SUART, 2004).

Os métodos analíticos resultantes do uso da espectroscopia se fazem relevantes pois possuem alta velocidade na obtenção dos dados, demandam pouco ou nenhum preparo da amostra, possuem alta penetração do feixe de radiação e, principalmente, não são destrutivos ou invasivos (CHAGAS, 2006).

Dentre os diferentes tipos de espectrômetros, pode-se citar:

- Os espectrômetros que utilizam métodos de transmissão, técnica que analisa a absorção da amostra quando exposta a uma radiação com único comprimento de onda;
- Os espectrômetros que utilizam métodos de reflexão, analisando a onda refletida pela amostra quando exposta a determinada frequência;
- Os espectrômetros baseados na *Fourier-Transform Infrared* (FTIR).

2.1 Espectroscopia pela reflexão difusa

O fenômeno da reflexão difusa em amostras é complexo. Quando a onda é emitida em direção a amostra de interesse, ela sofre tanto refração como reflexão e difração. Além disso, se a amostra é de interesse espectroscópico, ela também vai absorver energia em determinados comprimentos de onda. Como consequência, as amostras analisadas pela reflexão difusa absorvem e refletem energia simultaneamente (FRANCIS, 1998).

Esses fenômenos complicados são geralmente tratados por duas constantes, uma para a reflexão e outra para absorção. A teoria de Kubelka-Munk descreve duas constantes que já foram provadas qualitativamente para o estudo de diversas amostras, e podem ser usadas em trabalhos quantitativos em vários casos (KORTÜM, 2012).

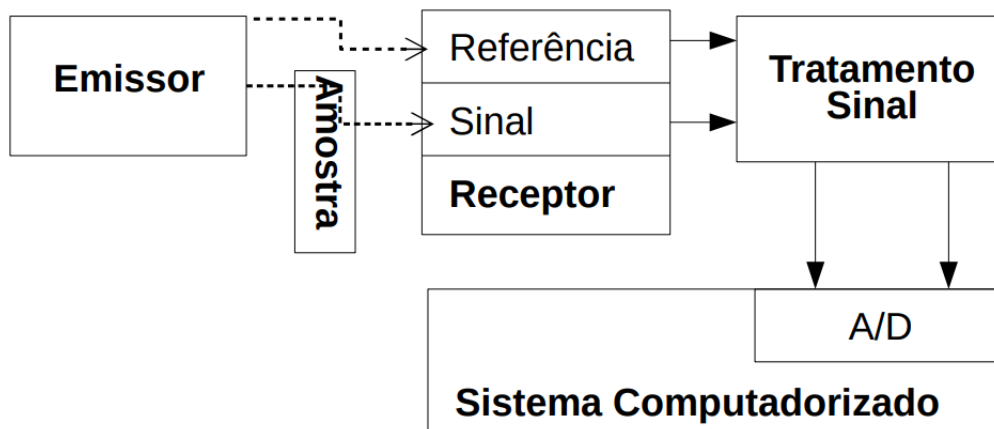
Apesar da complexidade na análise dessas constantes, alguns softwares já convertem automaticamente o espectro para as unidades de Kubelka-Munk. Ademais, a construção de um dispositivo capaz de realizar a espectroscopia infravermelho por reflexão difusa é mais acessível que os outros métodos (FTIR e Transmissão), pois basta um par emissor-receptor na faixa de comprimento de onda desejado.

3 ETILÔMETRO NIR

A proposta de um etilômetro utilizando espectroscopia NIR por reflexão difusa foi elaborado com base no diagrama em blocos apresentado na Figura 1. O diagrama é

composto por quatro blocos distintos: emissor, receptor, tratamento de sinal e o sistema computadorizado.

Figura 1: Diagrama de blocos de um espectrômetro simples.



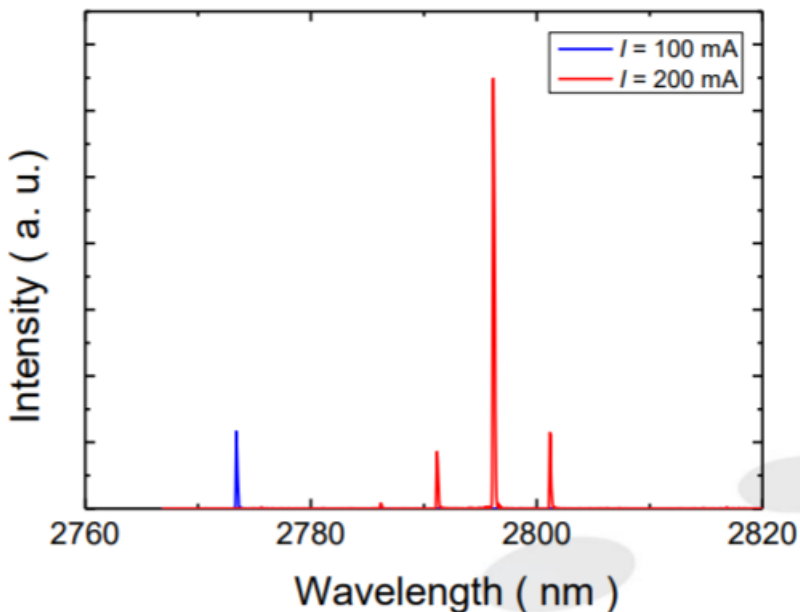
O emissor é o primeiro bloco, sendo responsável pela emissão da radiação infravermelho. Ele pode emitir uma faixa estreita (LEDs infravermelhos como o TIL32) ou larga (lâmpadas halógenas). É importante destacar que para equipamentos de baixo custo, emissores de banda larga podem ser problemáticos, uma vez que seu espectro geralmente não possui picos acentuados, dificultando a análise do sinal recebido. Emissores de banda estreita costumam ter picos mais acentuados em uma determinada região, facilitando o processo como um todo.

Na faixa de interesse para a análise do álcool NIR de 2780 nm e 1480 nm, duas opções são mais comuns: lasers e LEDs. Lasers são costumeiramente mais caros e maiores que LEDs, e possuem uma banda extremamente seleta.

No caso do laser tem-se o modelo 2780 nm FABRY-PEROT LASER DIODE da Brolis Semiconductors. Esse laser é de GaSb, com comprimento de onda de 2780 nm, potência de saída de 4 mW e com custo acima dos US\$1000 (Brolis Semiconductors, 2018). A Figura 2 apresenta o espectro da radiação emitida pelo laser, onde nota-se a característica de banda estreita da radiação emitida com comprimento de onda de 2795 nm com 200 mA e comprimento de onda de 2775 nm com 100 mA .

Para o LED na faixa de 2900 nm optou-se pelo modelo LED29 da Roithner-Laser. Esse LED é de InAs, com comprimento de onda 2900 nm, potência de 0,008 mW e com um custo em torno de US\$100 (Roithner-Laser, 2018). A Figura 3 apresenta o espectro da radiação emitida pelo LED, onde observa-se que a sua banda é mais larga que a de um laser. Apesar do comprimento de onda de 2900 nm não seja exatamente o desejado, esse LED emite radiação infravermelho na faixa de 2400-3800 nm. Além do mais, a intensidade emitida no comprimento

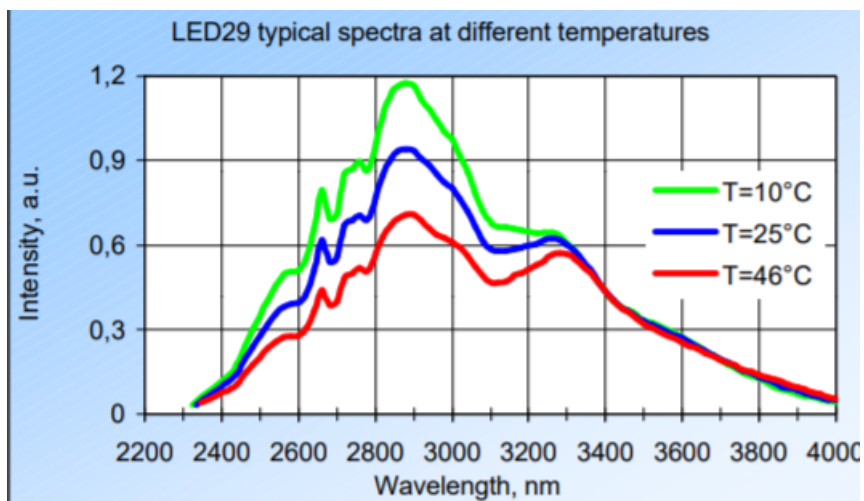
Figura 2: Espectro da radiação emitida pelo laser 2780 nm FABRY-PEROT LASER DIODE da Brolis Semiconductors, com corrente de 100 mA e 200 mA.



Fonte: Brolis Semiconductors (2018).

de onda de interesse (2780 nm) é cerca de 75% da intensidade máxima.

Figura 3: Espectro da radiação emitida pelo LED29 da Roithner-Laser.



Fonte: Roithner-Laser (2018).

No entanto, pode-se trabalhar com as regiões harmônicas de absorção da ligação O-H. De acordo com o trabalho apresentado por Chagas (2006), a região de 1480 nm pode ser usada

para medir a concentração de álcool em uma solução de água-álcool. Um exemplo de LED nesta região é o modelo LED15 da Roithner-Laser, com comprimento de onda de 1500 nm e com um custo em torno de US\$ 50,00 (Roithner-Laser, 2018). O laser com este comprimento de onda tem um custo em torno de US\$ 300,00.

O bloco do receptor é responsável por captar a radiação emitida pelo bloco do emissor e converter essa radiação em uma corrente elétrica. Para equipamentos de baixo custo, é importante que o receptor seja de banda estreita. Com uma banda larga de recepção poderia-se captar comprimentos de onda indesejáveis que poderiam comprometer a análise do resultado da espectroscopia. No entanto, é possível combinar o conjunto emissor-receptor de acordo com a disponibilidade de mercado.

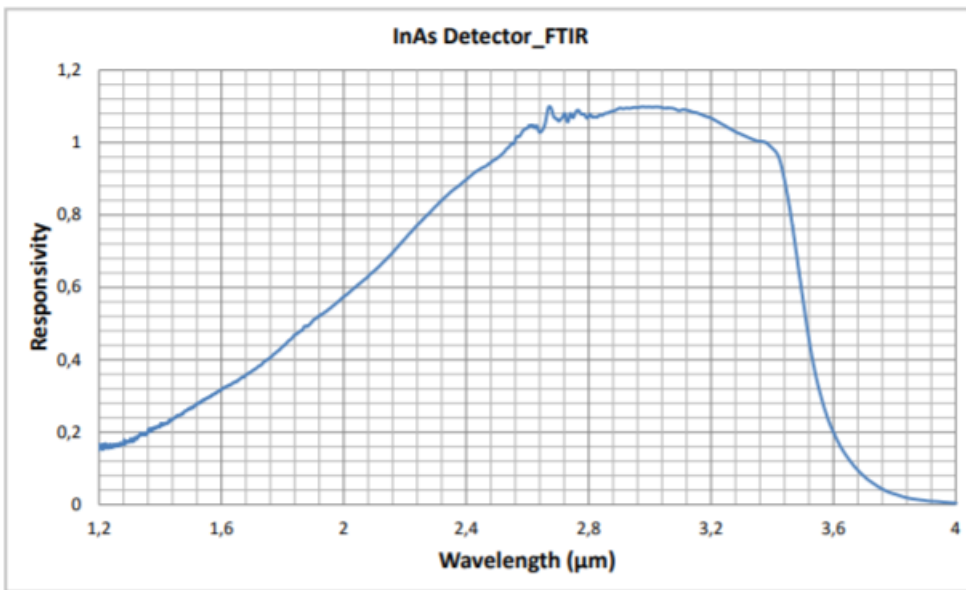
A captação da radiação emitida pelo emissor é realizada por dois canais o de referência e o do sinal. A captação do sinal de referência serve como base para a espectroscopia da amostra de interesse. Ele é captado diretamente do emissor, sem passar pela amostra, e ao compará-lo com o sinal que atravessou a amostra é possível realizar a análise da intensidade de radiação absorvida na amostra.

Um exemplo de receptor nesta faixa de comprimento de onda é o fotodiodo de InAs da série IA35 da Laser Componentes, capaz de captar radiação infravermelho na faixa de 900-3500 nm, com pico em 2800 nm (Laser Componentes, 2018). A Figura 4 mostra a resposta espectral do fotodiodo, nela pode-se observar a resposta do fotodiodo versus o comprimento de onda. Nota-se que o fotodiodo tem uma resposta de 0,2 em 1480 nm e com seu pico de 1,1 em 2800 nm. Deste modo é possível o seu uso tanto com emissores em 2800 nm como os emissores em 1480 nm.

O bloco Tratamento do Sinal é onde os sinais dos dois canais do receptor são tratados e condicionados para serem digitalizados no bloco do Sistema Computadorizado. Este tratamento é de fundamental importância para a análise dos dados, sendo capaz de ajudar tanto na interpretação qualitativa, como na interpretação quantitativa do espectro (SUART, 2004).

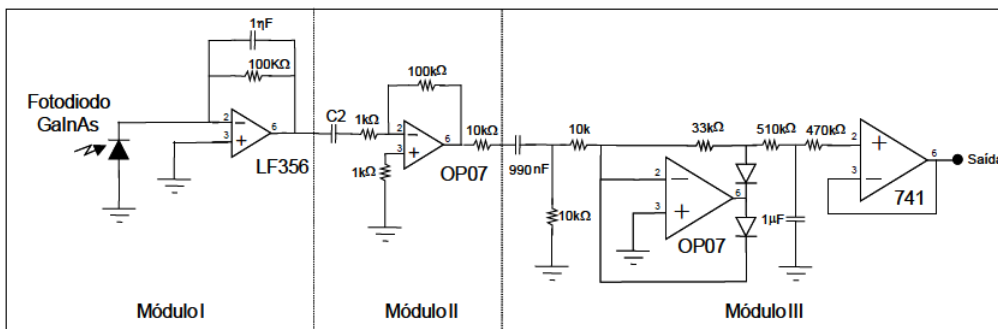
O condicionamento do sinal pode ser feito através de circuitos eletrônicos. Chagas (2006) utilizou três módulos para o tratamento do sinal oriundo de um detector InGaAs que é semelhante ao fotodiodo InAs, como ilustra a Figura 5. Primeiramente, o fotodiodo é associado a um amplificador de transimpedância que realiza a conversão da corrente gerada pelo fotodiodo em uma tensão (módulo 1), que também opera como primeiro estágio de amplificação do sinal. Em seguida, o sinal é novamente amplificado e, posteriormente, filtrado para eliminar ruído de baixa frequência (módulo 2). Por fim, o sinal é retificado e novamente filtrado, dessa vez para eliminar ruídos de alta frequência (módulo 3).

Figura 4: Resposta espectral do fotodiodo de InAs da série IA35 da Laser Componentes.



Fonte: Laser Componentes (2018).

Figura 5: Circuito para um canal de tratamento de sinal utilizado por Chagas (2006).



Fonte: Chagas (2006).

No último bloco, o sistema computadorizado é o responsável pelo processamento dos sinais obtidos no equipamento e por determinar a concentração de álcool na amostra. Um dispositivo de baixo custo que pode ser usado neste bloco é o Raspberry Pi, juntamente com uma interface homem-máquina, que pode ser encontrado por US\$ 40,00.

A Figura 6 mostra o esquema de montagem do sensor (emissor e receptor) do equipamento e a posição do dedo do indivíduo que será realizada a estimativa do nível de álcool no sangue. Deste modo, o sinal de luz oriundo do emissor penetra o dedo passando pelos vasos sanguíneos, onde as moléculas de álcool absorvem uma parte da energia luminosa.

Assim, o sinal luminoso de base é difusamente refletivo pelo dedo e o sinal luminoso resultante é capturado pelo receptor, sendo convertido em sinal elétrico. Externamente, o equipamento seria parecido com um oxímetro de dedo portátil (Figura 7).

Figura 6: Esquemático de uma configuração para o dispositivo.

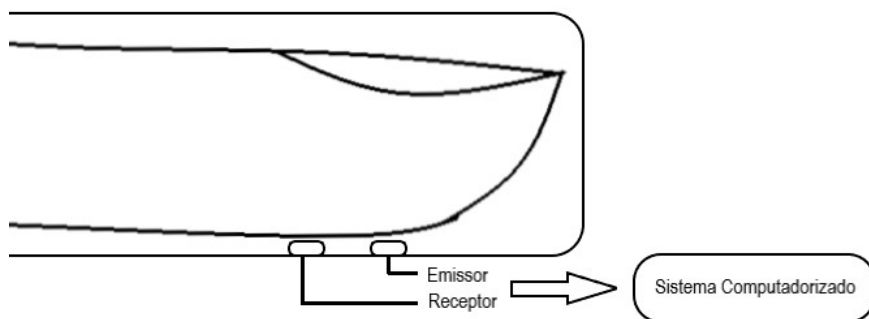


Figura 7: Oxímetro de dedo portátil Rossmax.



Para isto os sinais oriundos dos dois canais do receptor(referência e sinal) são convertidos de analógico para digital através dos conversores A/D por uma janela de tempo determinada. Com os sinais convertidos é realizado o processamento de sinais que consiste em:

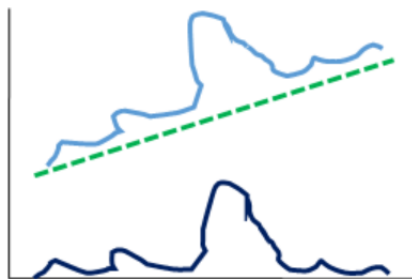
- Correção da linha de base;
- Suavização;

- Subtração de espectros;
- Ajuste de curva.

3.1 Correção da linha de base

A correção da linha de base é uma técnica comum na análise quantitativa da espectroscopia infravermelho. Segundo Liu, Y. (2018), quando o espectro de base não está com a linha de base em zero, surgem diversos problemas, como valores errôneos de integrais e picos adicionais no domínio da frequência. A correção da linha de base consiste em analisar o sinal da janela de interesse juntando os pontos de menor absorção de um pico, formando a linha de base, e depois comparar os picos com essa linha de base (Figura 8).

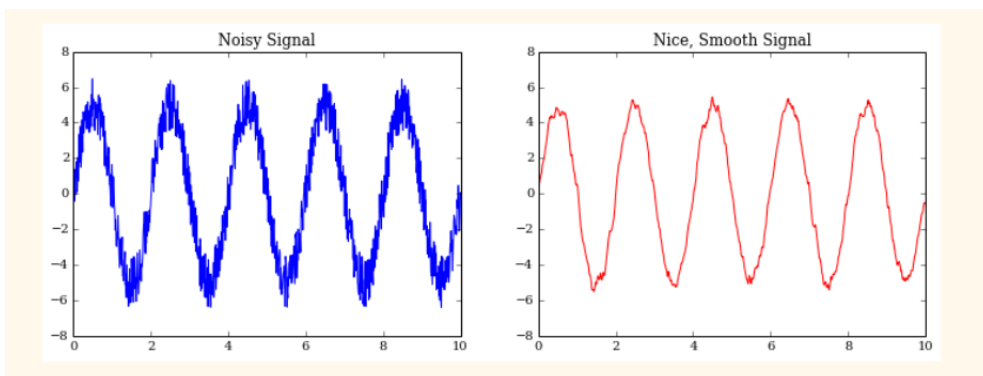
Figura 8: Diferença entre o espectro de base(topo) e o corrigido(abaixo).



3.2 Suavização

A suavização consiste em reduzir o nível de ruído da janela do sinal, com a utilização de filtragem digital preparando-o para o próximo estágio. Pode-se ver a diferença do sinal normal para o suavizado na Figura 9.

Figura 9: Comparação entre sinal com ruído (esquerda) e suavizado (direita).



3.3 Subtração de espectros

A subtração de espectros é essencial na análise de espectros compostos, como por exemplo uma solução de álcool em água. Ao subtrair o espectro da água do espectro da solução, pode-se analisar o efeito que o álcool teve sobre o outro componente. Se a interação entre os dois componentes resultar em mudança no espectro, essa mudança será vista no espectro subtraído. Vale ressaltar que por se tratar de subtração, há possibilidade de que picos negativos apareçam no espectro resultante.

Em relação ao dispositivo proposto, a subtração de espectros será a chave para a análise da concentração de álcool: a subtração do espectro de referência do espectro da amostra resulta no que foi absorvido pela amostra, e através das constantes de reflexão e absorção, pode-se calcular a concentração de álcool na amostra.

3.4 Ajuste de curva

O ajuste de curva pode ser usado tanto em um conjunto de pontos, como para adequar gráficos de bandas sobrepostas. Muitos dos métodos de ajuste de curva baseiam-se no método dos mínimos quadrados, e geralmente o procedimento consiste em entrar com valores de número de onda das bandas desejadas e um software determina a melhor estimativa dos parâmetros da curva resultante. O ajuste de curva é muito útil para a eliminação dos erros aleatórios da medição (SUART, 2004).

Sendo realizado o ajuste da curva resultante do método da subtração para a eliminação dos erros aleatórios da medição. Após é verificado o valor médio desta curva que será proporcional a concentração de álcool no sangue do indivíduo em teste.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à versatilidade para a análise de amostras, o uso da espectroscopia infravermelha é relevante. Ela se baseia na absorção da energia emitida por uma onda eletromagnética na região infravermelha. Dentre os diferentes tipos de espectrômetros, o espectrômetro por reflexão difusa é o mais simples e acessível.

No geral, é possível utilizar a espectrografia NIR por reflexão difusa para a avaliação da concentração de álcool em amostras. Para a construção de um espectrômetro por reflexão difusa são necessários 4 blocos: emissor, receptor, tratamento de sinal e sistema computadorizado.

Para a construção de um equipamento visando o baixo custo, existe a possibilidade de uso o LED 15 da Roithner-Laser e o receptor IA35 da Laser Componentes, sendo que estes

dois componentes correspondem a uma grande parte do custo total do equipamento. Como consequência, esse equipamento utilizaria LEDs na região de 1480 nm, uma harmônica da ligação O-H (cuja onda fundamental está centrada em 2780 nm).

Os LEDs nesta região são mais baratos que os lasers: na faixa de 2780 nm o laser é mais de 10 vezes mais caro; e na faixa de 1480 nm cerca de 6 vezes mais. Como o objetivo é o baixo custo, as vantagens que o laser traz devido à sua banda estreita não compensam seu preço elevado. No entanto, o uso de LEDs ainda representa um custo considerável em um projeto de baixo custo, pois os componentes não estão disponíveis para venda no país, sendo necessário obtê-los através da importação, gerando um alto custo para a elaboração do dispositivo.

Para o tratamento do sinal, o circuito elaborado por Chagas (2006) pode ser adotado sem maiores problemas, pois os componentes eletrônicos nele presente são mais acessíveis que a parte de emissão e recepção. Assim como o tratamento de sinal, a parte computacional poderia ser feita em um dispositivo de baixo custo - como um microcontrolador, por exemplo.

A parte computacional é de extrema importância, visto que é ela a responsável por analisar os sinais, manipulá-los, e fornecer o espectro resultante relacionado ao nível alcoólico no sangue do indivíduo em teste. Entre as técnicas utilizadas para a manipulação do espectro, podemos citar quatro que se destacam: a correção da linha de base, a suavização, a subtração de espectros e o ajuste de curva. Elas servem principalmente para melhorar o entendimento e a qualidade da análise, visto que o espectro utilizado na análise, na maior parte das vezes, possui ruído, está deslocado do valor zero e possui erros aleatórios de medição associado.

Deste modo é possível a construção de um protótipo de um espectroscópio NIR portátil para a realização de experimentos de avaliação de sua efetividade com amostras *in vitro* e posteriormente com humanos. A construção desse dispositivo, associado à análise correta e eficaz do seu espectro pode ser significativo para a concepção de um teste de embriaguez preventivo, contribuindo para a prevenção dos acidentes causados pelo uso de álcool.

Referências

ANDRADE, A. G. d.; ANTHONY, J. C.; SILVEIRA, C. M. Álcool e suas consequências: uma abordagem multiconceitual. *Barueri (SP): Minha Editora*, 2009. 3

Brolis Semiconductors. *DATA SHEET: 2780 nm FABRY-PEROT LASER DIODE*. 2018. Disponível em: <https://www.laserdiodesource.com/files/pdfs/laserdiodesource_com/product-2098/2780nm_5mW_c_mount_Fabry_Perot_Brolis_Semiconductor-142040134_5.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2018. 6, 7

CHAGAS, I. P. *Desenvolvimento de um fotometro portatil NIR para determinação do teor de água no álcool combustível e do teor de etanol na gasolina*. [S.l.]: Tese (Doutorado) - Instituto

de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas., 2006. 3, 4, 5, 7, 8, 9, 13

FRANCIS, M. M. *Modern techniques in applied molecular spectroscopy*. [S.l.]: Wiley, New York, 1998. 5

IVAMOTO, H. S. *Alcoolemia baseada no ar alveolar*. [S.l.]: Disponível em: <<http://alexandrebasileis.blogspot.com/2013/04/alcoolemia-baseada-no-ar-alveolar-blood.html>>, 2013. Acesso em: 04 de outubro de 2018. 3

KORTÜM, G. *Reflectance spectroscopy: principles, methods, applications*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. 5

Laser Componentes. *InAS Photodiodo IA35-Series*. 2018. Disponível em: <https://www.lasercomponents.com/fileadmin/user_upload/home/Datasheets/lcdgi/ia35s500-inas.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2018. 8, 9, 12

Liu, Y. *Programming in MATLAB for Data Analysis - Baseline Correction for NMR Spectra*. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://yangweiliu.wordpress.com/2015/12/07/programming-in-matlab-for-data-analysis-baseline-correction-for-nmr-spectra>>. Acesso em: 04 de outubro de 2018. 11

RIDDER, T.; HENDEE, S.; BROWN, C. Noninvasive alcohol testing using diffuse reflectance near-infrared spectroscopy. *Applied spectroscopy*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 59, n. 2, p. 181–189, 2005. 3, 4

Roithner-Laser. *LIGHT EMITTING DIODES 1.6/4.6 μ m - Model: LED29 2.9 mm 8 mW*. 2018. Disponível em: <http://www.roithner-laser.com/datasheets/led_midir/led29.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2018. 6, 7, 8, 12

SHARMA, K.; SHARMA, S. P.; LAHIRI, S. C. Estimation of blood alcohol concentration by horizontal attenuated total reflectance–fourier transform infrared spectroscopy. *Alcohol*, Elsevier, v. 44, n. 4, p. 351–357, 2010. 4

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Principles of instrumental analysis*. [S.l.]: Cengage Learning, 2017. 3

SUART, B. *Infrared spectroscopy: Fundamental and applications*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2004. 4, 5, 8, 12

Edição especial - 8º MCSUL - Conferência Sul em Modelagem Computacional e VIII SEMENGO - Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica.

Enviado em: 05 fev. 2019

Aceito em: 30 mar. 2019

Editores responsáveis: João Paulo Silva Lima / Liércio André Isoldi / Matheus das Neves Gomes