

Rodrigo Toledo de Araujo

**Relatório de Estágio Supervisionado
LARCA/e-BIOS - Laboratório de Bio-Sensores**

Campina Grande, Paraíba

Junho de 2023

Rodrigo Toledo de Araujo

Relatório de Estágio Supervisionado
LARCA/e-BIOS - Laboratório de Bio-Sensores

Relatório de Estágio Integrado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharelado em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Centro de Engenharia Elétrica e Informática – CEEI

Departamento de Engenharia Elétrica – DEE

Orientador: Antonio Marcus Nogueira Lima, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba

Junho de 2023

Rodrigo Toledo de Araujo

Relatório de Estágio Supervisionado LARCA/e-BIOS - Laboratório de Bio-Sensores

Relatório de Estágio Integrado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharelado em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado. Campina Grande, Paraíba, 22 de Junho de 2023:

Antonio Marcus Nogueira Lima, D. Sc.
Orientador

Nome do professor convidado, D. Sc.
Convidado

Campina Grande, Paraíba
Junho de 2023

A Deus que me deu a vida e propósito em todas as coisas.

Agradecimentos

Agradeço ao meu pai que com amor sempre providenciou tudo o que fosse necessário para que os meus objetivos fossem por fim alcançados. Ao meu irmão Rodolfo que sempre foi um grande exemplo de determinação e me ajudou em todos os momentos que precisei. Agradeço a todos da minha família que sempre me apoiaram, ensinaram e estiveram rezando por mim.

Agradeço a minha namorada, Duda, e toda a sua família, que me apoia e motiva a persistir e aprender com as dificuldades. Agradeço aos meus melhores amigos, Márcio, João, Igor e Felipe, por todos os momentos que passamos juntos.

Agradeço os meus amigos do 18.1 que se dispuseram desde o princípio a compartilhar conhecimento. A Pedro, João Pedro, Renato e Ana Rita, que estiveram ao meu lado e me proporcionaram boas risadas e momentos dos quais eu não vou esquecer.

Agradeço aos meus professores e funcionários da UFCG. Agradeço também ao doutorando Arthur Aprígio, por todo apoio e conhecimento partilhado. Assim como ao meu orientador, professor Antonio Marcus, pela oportunidade e orientação concedida.

*“Foi o tempo que dedicastes à tua rosa que fez tua rosa tão importante.
(O Pequeno Príncipe, Antoine de Saint-Exupéry)*

Resumo

No presente relatório estão descritas as principais atividades desempenhadas pelo aluno Rodrigo Toledo de Araujo, do curso de graduação em Engenharia Elétrica, no estágio realizado no Laboratório de Bio-Sensores (LARCA/e-BIOS), durante o período de 14 de março de 2023 até 16 de junho de 2023. No decorrer deste, serão explanados os fundamentos da tecnologia de biossensores e do efeito SPR, a elaboração de um sistema computacional para a análise do fenômeno SPR e os resultados experimentais apresentados no mesmo. Ainda, apresentam-se as manutenções realizadas nos equipamentos e computadores utilizados no laboratório.

Palavras-chave: Ressonância de plásmons de superfície, Bio-sensores, Sistema computacional.

Abstract

This report describes the main activities performed by the student Rodrigo Toledo de Araujo, from the Electrical Engineering graduation course, in the internship carried out at Bio-Sensors Laboratory (LARCA/e-BIOS), during the period from March 14, 2023 until June 16, 2023. During this, the fundamentals of the technology of biosensors and the SPR effect, the elaboration of a computational system for the analysis of the SPR phenomenon and the experimental results presented therein. Also, the maintenance carried out on the equipment and computers used in the laboratory is presented.

Keywords: Surface plasmon resonance, Biosensors, Computational system.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Foto da frente e da placa de inauguração do prédio do LARCA	16
Figura 2 – Foto do corredor e demais salas presentes no e-BIOS	17
Figura 3 – Representação esquemática de um bio-sensor	18
Figura 4 – Classificação dos biossensores sob diferentes criterios.	19
Figura 5 – Diagrama de blocos de um bio-sensor SPR	20
Figura 6 – Curva Característica do fenômeno SPR.	23
Figura 7 – Logo marca do SPR <i>Analysis</i>	24
Figura 8 – Diagrama de alto nível para um sistema embarcado em um bio-sensor SPR.	24
Figura 9 – Tela do site <i>SPR Analysis Documentation</i>	28
Figura 10 – Visão de alto nível dos arquivos e classes presentes no <i>software</i>	29
Figura 11 – Descrição das classes e funções existentes nos sub-módulos <i>gui.core</i> , <i>gui.uis.columns</i> e <i>gui.uis.pages</i>	30
Figura 12 – Descrição das classes e funções existentes nos sub-módulos presentes no sub-módulo <i>gui.uis.windows</i>	31
Figura 13 – Descrição das classes e funções existentes <i>gui.uis.windows.main_window.setup_main_win</i>	
Figura 14 – Tela inicial do SPR <i>Analysis</i> , apresentando a transição quando o botão " <i>show menu</i> " é pressionado.	33
Figura 15 – Caso em que o espectrômetro está conectado corretamente ao computador ao iniciar o programa.	34
Figura 16 – Caso em que o espectrômetro não está conectado corretamente ao computador.	35
Figura 17 – Caso em que o espectrômetro foi desconectado enquanto ocorria a coleta de dados.	36
Figura 18 – Caso em que o espectrômetro foi reconectado com sucesso.	37
Figura 19 – Demonstração da indicação que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Configuration</i> ", e após no botão " <i>Erase Files</i> " e por fim no botão " <i>Save</i> ".	38
Figura 20 – Demonstração da indicação que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Configuration</i> ", nas caixas de seleção " <i>Metal</i> " ou " <i>Subtract</i> ".	39
Figura 21 – Demonstração da indicação que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Configuration</i> ", nas caixas de seleção " <i>Minimum Algorithm</i> " ou " <i>Number of readings</i> " ou " <i>Integration Time</i> ".	39
Figura 22 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>SPR Analysis</i> ", na aba lateral.	40

Figura 23 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Get Reference</i> ", no sub-menu "SPR Analysis".	41
Figura 24 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Show Min-Wave</i> ", no menu " <i>Sensorgrams</i> ", que é contido no sub-menu "SPR Analysis".	42
Figura 25 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Show Ref-Index</i> ", no menu " <i>Sensorgrams</i> ", que é contido no sub-menu "SPR Analysis".	43
Figura 26 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Show Parameters</i> ", no menu " <i>Parameters</i> ", que é contido no sub-menu "SPR Analysis".	44
Figura 27 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Show in Graph</i> ", no menu " <i>Parameters</i> ", que é contido no sub-menu "SPR Analysis", quando é apresentado no menu " <i>Main Compilation</i> " o botão " <i>Stop</i> ".	45
Figura 28 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Show in Graph</i> ", no menu " <i>Parameters</i> ", que é contido no sub-menu "SPR Analysis", quando é apresentado no menu " <i>Main Compilation</i> " o botão " <i>Start</i> ".	46
Figura 29 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Delete Reference</i> ", no sub-menu "SPR Analysis".	47
Figura 30 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Intensity</i> ", na aba lateral.	48
Figura 31 – Demonstração da janela virtual que aparece no <i>Software</i> quando se clica no botão " <i>Sensorograms</i> ", na aba lateral.	49
Figura 32 – Setup experimental utilizado para validação do <i>software</i> <i>SPR Analysis</i>	50
Figura 33 – Procedimento experimental utilizado para validação do <i>software</i> <i>SPR Analysis</i>	52
Figura 34 – Referência coletada no para a realização do experimento	53
Figura 35 – Exemplo de teste do PPBIO para um analito qualquer, realizado no experimento.	53
Figura 36 – Gráfico da curva SPR para apenas o ar e a água.	54
Figura 37 – Gráfico da curva SPR para o PBS-5X e o PBS-10X.	55
Figura 38 – Gráfico do sensograma após a conclusão do experimento.	56
Figura 39 – Diagrama de blocos do processo de remodelagem de uma tampa para computador.	60
Figura 40 – Tela inicial ao ligar-se o computador. Esta é utilizada para escolher entre os sistemas operacionais: <i>Windows</i> ou <i>Ubuntu Linux</i>	61

Figura 41 – Configuração final do computador com usuário intitulado de "lab-biosensores-01".	62
Figura 42 – Configuração final do computador com usuário intitulado de "lab-biosensores-02".	63
Figura 43 – Configuração final do computador com usuário intitulado de "lab-biosensores-03".	64
Figura 44 – Gerador e seu sistema de controle.	65
Figura 45 – Foto do prédio em que o gerador está localizado.	66
Figura 46 – Exemplo de amostras armazenadas no ultra freezer.	67
Figura 47 – Visita dos técnicos ao laboratório.	68

Lista de abreviaturas e siglas

SPR	<i>Surface Plasmon Resonance</i>
WIM	<i>Wavelength Interrogation Mode</i>
FWHM	<i>Full Width at Half Maximum</i>
RIT	<i>Reflexão Interna Total</i>
SPW	<i>Surface Plasmon Waves</i>
IR	<i>Índice de Refração</i>
UACPE	<i>Unidade de Aquisição e Controle de Dados</i>
PBS	<i>Phosphate Buffered Saline</i>

Lista de símbolos

λ	Comprimento de onda luminosa incidente
λ_{res}	Comprimento de onda de ressonância
θ	Ângulo de incidência do feixe luminoso
k_{sp}	Vetor onda de plasma
k_x	Componente de onda evanescente
ε_{mr}	Parte real da permissividade elétrica
ε_{mi}	Parte imaginária da permissividade elétrica
n_1	Índice de refração do meio dispersivo
n_3	Índice de refração do meio analito
Γ	Assimetria da curva SPR
D_R	distância em nanômetros (para o modo <i>WIM</i>) entre o mínimo da curva λ_{res} e a borda esquerda P_L
D_L	distância em nanômetros (para o modo <i>WIM</i>) entre o mínimo da curva λ_{res} e a borda direita P_L
<i>FWHM</i>	<i>Full Width at half maximum</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivos Específicos	15
1.2	Ambiente de trabalho	16
1.3	Estrutura do relatório	16
2	BIO-SENSORES E O EFEITO SPR	18
2.1	Bio-sensores baseados no fenômeno SPR	20
2.2	O fenômeno SPR	21
2.2.1	Os parâmetros da curva SPR	22
2.2.2	Modo de interrogação de Comprimento de onda - <i>WIM (Wavelength Interrogation Mode)</i>	23
3	SISTEMA COMPUTACIONAL	24
3.1	Processo de desenvolvimento	25
3.2	Análise de Requisitos	25
3.2.1	Requisitos Funcionais	25
3.2.2	Requisitos não funcionais	26
3.3	Descrição das classes e funções do sistema	28
3.4	Interface de Usuário	30
3.5	Aquisição de Dados	32
3.6	Funcionalidades do <i>Software</i>	34
3.6.1	Aba de configurações	34
3.6.2	Aba lateral esquerda	35
3.6.2.1	Sub menu <i>SPR Analysis</i>	36
3.6.2.2	Sub-menu <i>Intensity</i>	37
3.6.2.3	Sub-menu <i>Sensorograms</i>	37
4	TESTES EXPERIMENTAIS COM O <i>SOFTWARE SPR ANALYSIS</i>	50
4.1	<i>Setup</i> experimental	50
4.2	Procedimentos experimentais	51
4.3	Resultados Experimentais	51
5	MANUTENÇÕES E MONITORAMENTOS	57
5.1	Manutenção de computadores	57
5.2	Monitoramento de máquinas	58

5.2.1	Gerador	58
5.2.2	Freezer	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS	70

1 Introdução

Neste documento são descritas as atividades desenvolvidas pelo discente Rodrigo Toledo de Araujo no Estágio Supervisionado de 360 horas. O estágio foi realizado no Laboratório de Bio-Sensores (LARCA/e-BIOS), durante o período de 14 de março de 2023 até 16 de junho de 2023, sob a orientação do professor Antonio Marcus Nogueira Lima e a supervisão do doutorando Arthur Aprígio Melo e da Profa. Fernanda Cecília.

O estágio supervisionado tem como objetivo o cumprimento da disciplina Estágio Curricular, pertencente à grade do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A disciplina é fundamental para a formação profissional, proporcionando ao aluno a oportunidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso.

Nesse estágio, realizado de forma presencial, as principais atividades desenvolvidas pelo estagiário referem-se ao desenvolvimento de software para controle e automação de dispositivos e equipamentos utilizados na realização de testes experimentais com bio-sensores e a manutenção de computadores utilizados no laboratório.

1.1 Objetivos

O objetivo principal definido para o estágio supervisionado, realizado no Laboratório de Bio-sensores (e-BIOS), foi o desenvolvimento de um sistema computacional (um conjunto de *hardware* e *software*) para o funcionamento de um bio-sensor óptico baseado na ressonância de plasmons de superfície, para que o mesmo seja utilizado pelo laboratório em projetos futuros.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos definidos foram:

1. Estudar o fenômeno da ressonância de plasma de superfície;
2. Implementar, utilizando a linguagem de programação *Python*, a interface de usuário, a aquisição de dados do espectrômetro e todas as funcionalidades presentes no *software*;
3. Manutenção de equipamentos e computadores utilizados no laboratório.

1.2 Ambiente de trabalho

O Laboratório de Bio-Sensores (e-BIOS), localizado no prédio LARCA (Bloco CH1) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), é um laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica voltado para pesquisas nas áreas de Bio-Sensores, e processamento da informação. Atualmente, o e-BIOS ocupa um prédio de 672,1m². Assim, o laboratório compreende um ambiente de desenvolvimento acadêmico, teórico e prático, nos níveis de graduação e pós-graduação.

Na Figura 1, é apresentada uma foto da visão frontal do LARCA e de sua placa de inauguração. A Figura 2 apresenta o corredor e demais salas presentes no e-BIOS. As salas utilizadas no decorrer do estágio foram a sala 02, o Lab. de Bio-sensores I e o Lab. Grupo de Bio-sensores.

Figura 1 – Foto da frente e da placa de inauguração do prédio do LARCA



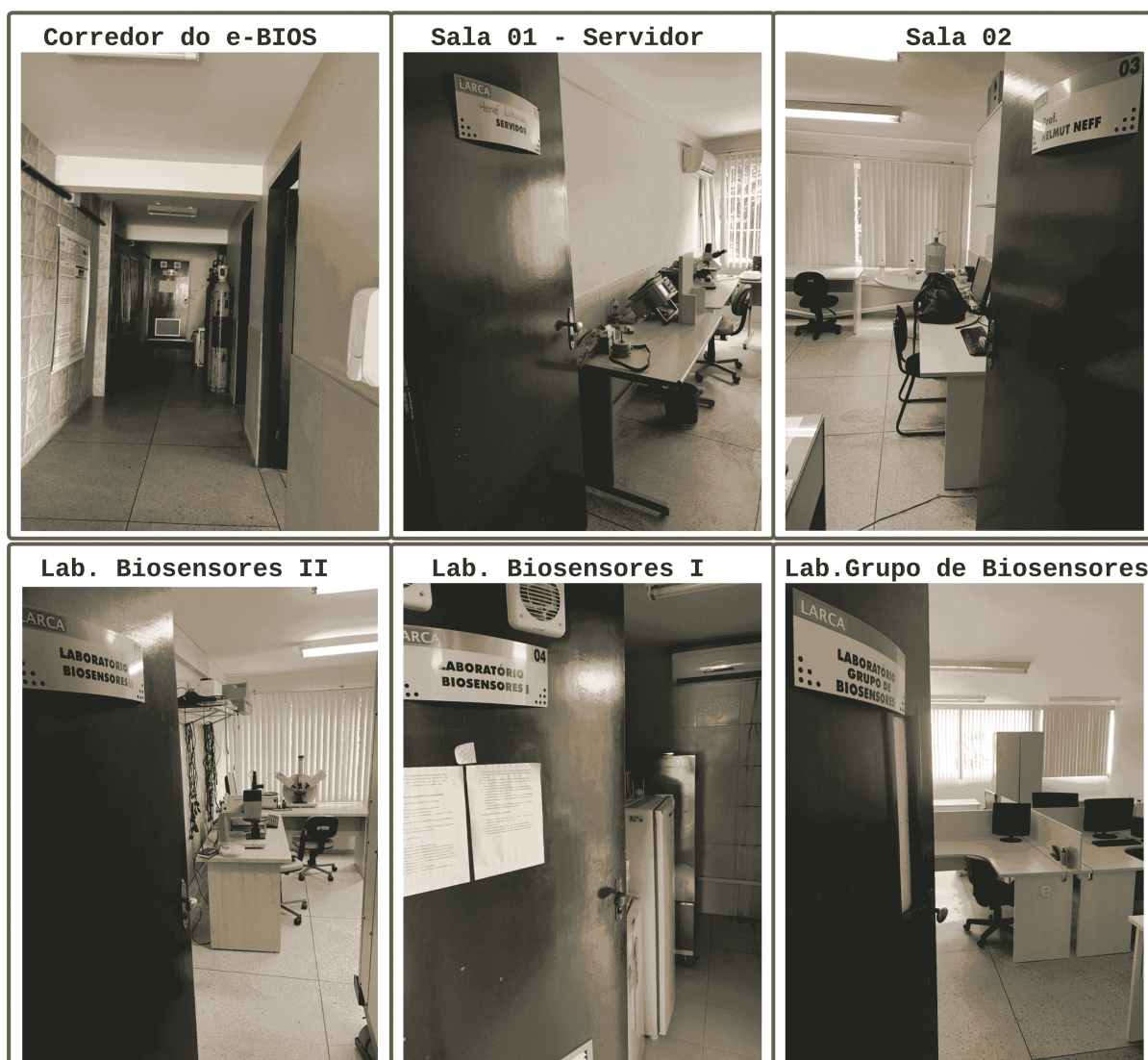
Fonte: Autoria própria.

1.3 Estrutura do relatório

O presente relatório está organizado da seguinte forma:

- No **Capítulo 2: Bio-sensores e o efeito *SPR***, discute-se os fundamentos da tecnologia de bio-sensores e do efeito *SPR*, com ênfase nos bio-sensores ópticos;

Figura 2 – Foto do corredor e demais salas presentes no e-BIOS



Fonte: Autoria própria.

- No **Capítulo 3: Sistema computacional**, é apresentado o *Software* desenvolvido para a análise do fenômeno *SPR*. Descreve-se as atividades para se alcançar os objetivos propostos no presente trabalho e, apresentam-se todos os componentes presentes no sistema;
- No **Capítulo 4: Resultados experimentais**, os resultados dos experimentos realizados com o sistema desenvolvido são apresentados;
- No **Capítulo 5: Manutenções e Monitoramentos**, apresentam-se as manutenções realizadas nos equipamentos e computadores utilizados no laboratório. Além dos monitoramentos em manutenções de equipamentos;
- No **Capítulo 6: Considerações Finais**, apresentam-se as conclusões deste estágio e indicações de posteriores aprofundamentos.

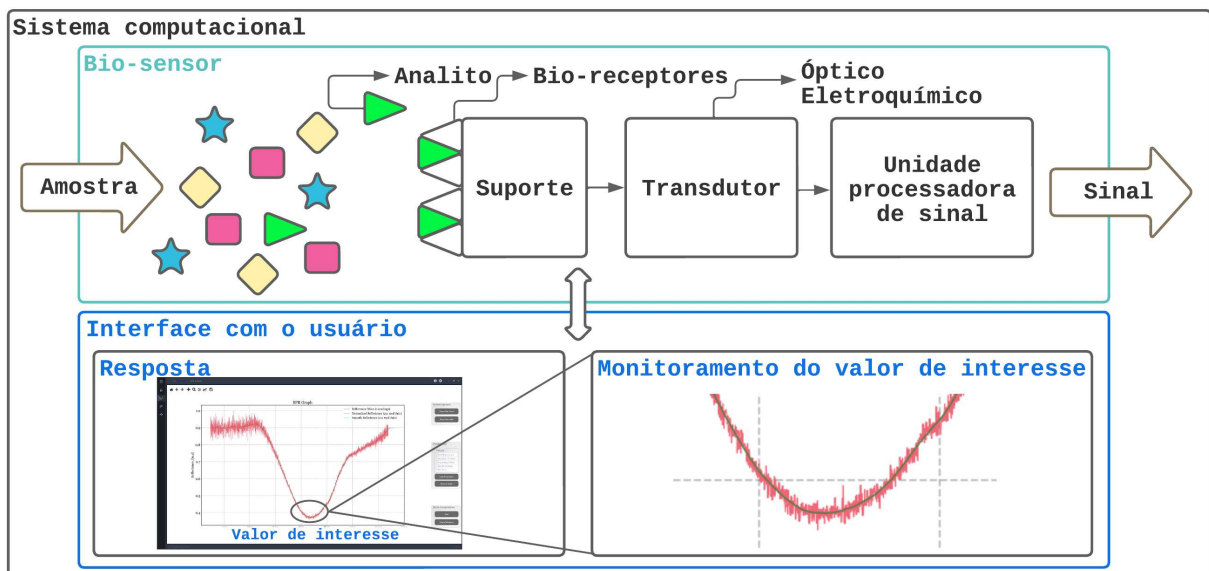
2 Bio-sensores e o Efeito *SPR*

Os bio-sensores são equipamentos bioquímico-eletrônicos que combinam elementos biológicos e sistemas de detecção para converter informações bioquímicas em sinais mensuráveis e assim identificar, processar e quantificar um evento biológico (OLIVEIRA et al., 2019). Eles desempenham um papel fundamental em diversas áreas, incluindo medicina, biotecnologia, meio ambiente, segurança alimentar e agricultura. Essas ferramentas permitem a detecção, monitoramento e quantificação de uma ampla gama de substâncias biológicas, desde moléculas pequenas até células e organismos inteiros (PEREIRA et al., 2014).

O funcionamento dos bio-sensores reside na interação específica entre uma biomolécula (como proteínas, enzimas, ácidos nucleicos ou células) e seu alvo biológico. Essa interação resulta em um sinal mensurável, geralmente de natureza elétrica, óptica ou eletroquímica, que pode ser traduzido em informações úteis sobre a amostra analisada (PEREIRA et al., 2014). Essas informações podem ser qualitativas, indicando a presença ou ausência de um alvo específico, ou quantitativas, fornecendo medidas precisas de concentração ou atividade biológica.

A Figura 3 apresenta um diagrama de blocos para a representação de um bio-sensor.

Figura 3 – Representação esquemática de um bio-sensor



Fonte: Autoria própria.

O elemento de reconhecimento, também conhecido como bio-receptor, é fixado na superfície do sensor por meio de uma interface química. Seu objetivo é reconhecer seletivamente e interagir com o substrato ou analito de interesse, desencadeando uma

reação bioquímica que resulta na formação de um produto químico (OLIVEIRA et al., 2015). Dentre os elementos de reconhecimento comumente utilizados estão enzimas, anticorpos, microorganismos, cadeias de DNA e receptores específicos. A interação entre o analito e o elemento de reconhecimento provoca alterações em uma ou mais propriedades físico-químicas do analito, como mudanças de pH, transferência de elétrons, variações de massa, transferência de calor, liberação de gases ou íons (FILHO; LIMA; NEFF, 2014). Essas alterações são detectadas e medidas pelo transdutor. Um módulo é empregado para controlar e adquirir a saída do transdutor, que posteriormente é processada e disponibilizada por meio de uma interface para o usuário. O sistema computacional, composto por elementos de hardware e software, possibilita o funcionamento do bio-sensor.

Os bio-sensores podem ser classificados em termos do modo de interação do elemento a ser reconhecido e o analito; de acordo com o tipo de elemento bioreceptor utilizado; de acordo com o método de detecção e de acordo com a natureza do transdutor (THÉVENOT et al., 2001). A Tabela apresentada na Figura 4 ilustra as possíveis classificações.

Figura 4 – Classificação dos biossensores sob diferentes critérios.

Critério de classificação	Modo de interação	Catálitico
		Afinidade
	Método de detecção	Direta
		Indireta
	Bio-receptor	Enzima
		Organela, tecido ou célula
		Anticorpo
		Ácidos nucleicos
	Sistema de transdução	Eletroquímico
		Óptico
		Termométrico
		Magnético
		Acústicos
		Piezoelétrico
Nanomecânico		

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, 2011).

Este estágio aborda um dos tipos de bio-sensor, o óptico. O bio-sensor óptico monitora a variação das propriedades ópticas que surgem fruto da interação entre o

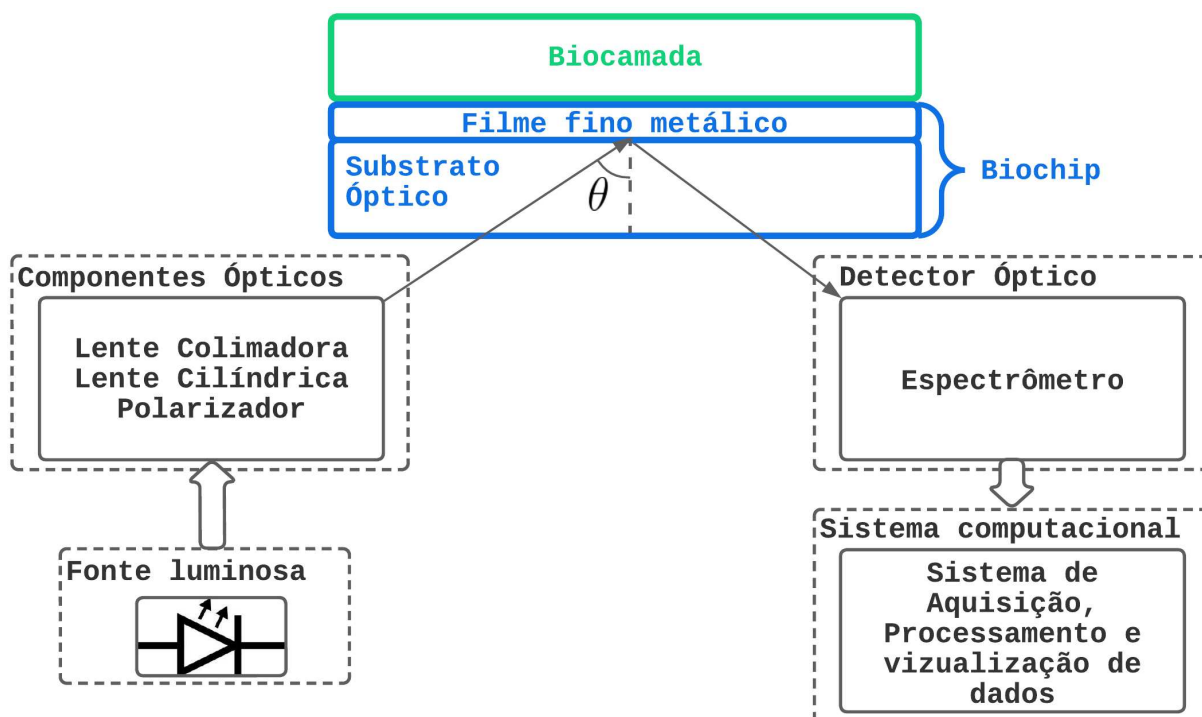
bio-receptor e o analito. Ao se incidir um feixe de luz sobre a superfície em que se encontra o analito, dependendo da interação, pode-se observar modificações nas características do índice de refração, absorção, fosforescência, refletividade, polarização e comprimento de onda (OLIVEIRA, 2011). Entre os principais bio-sensores ópticos pode-se destacar os baseados em fibra-ótica e os de Ressonância de Plasma de superfície (SPR). Entre as vantagens dos bio-sensores ópticos, em relação aos demais, está o seu tamanho reduzido, a velocidade de resposta, a facilidade de integração, imunidade a ruído eletromagnético, a biocompatibilidade e não-necessidade de elementos ativos na biocamada (MOREIRA et al., 2010).

2.1 Bio-sensores baseados no fenômeno SPR

Um bio-sensor SPR estende a funcionalidade de um sensor SPR - sensor que observa a variação do índice de refração (IR) - por meio da adesão de uma camada bioquímica ativa (OLIVEIRA et al., 2019). Quaisquer alterações nessa camada são captadas e verificadas na saída do bio-sensor.

A Figura 5 apresenta um diagrama básico de um bio-sensor SPR.

Figura 5 – Diagrama de blocos de um bio-sensor SPR



Fonte: Adaptado de (MOREIRA et al., 2010).

A fonte luminosa pode ser monocromática ou policromática, dependendo da configuração do sistema. Um polarizador, do tipo "P" ou " π " (com campo magnético paralelo à superfície do substrato), é utilizado para polarizar a onda incidente (FALQUETO, 2019).

A lente colimadora desempenha o papel de um diafragma, restringindo a área de atuação do feixe de luz que incide e transformando os raios divergentes emitidos pelo diodo laser em raios paralelos. Uma lente esférica convergente é utilizada para concentrar o feixe de luz em um ponto focal (FALQUETO, 2019).

O substrato ou prisma óptico tem a função de acoplar os fótons do feixe de luz incidente com o vetor de onda de plásmons de superfície.

O filme fino metálico é geralmente formado por ouro. A camada sensível que se deseja identificar é composta geralmente por uma substância líquida, mas também pode ser gás ou sólido (FALQUETO, 2019).

Um espectrômetro é usado para capturar o sinal refletido pelo biochip e transmiti-lo para o sistema de aquisição, responsável pelo processamento e visualização. Esse sistema calcula os parâmetros desejados da substância analisada.

2.2 O fenômeno SPR

Os plasmas podem ser definidos como uma unidade para as oscilações coletivas de elétrons. Quando um feixe de luz incide sobre um metal, os elétrons livres são deslocados devido à presença do campo elétrico, enquanto os íons positivos deixados para trás exercem uma força de atração sobre os elétrons, tentando trazê-los de volta às suas posições originais. Essa interação resulta em oscilações dos plasmas, formando ondas de plasma. Quando essas oscilações ocorrem na superfície de um metal, são denominadas ondas de plasma de superfície, ou "surface plasmon waves" (SPWs).

O vetor onda de plasma k_{sp} é apresentado na Equação (2.1) (HOMOLA; YEE; GAUGLITZ, 1999).

$$k_{sp} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\varepsilon_{mr} n_3^2}{\varepsilon_{mr} + n_3^2}} \quad (2.1)$$

em que λ é o comprimento de onda luminosa incidente, ε_{mr} é a parte real da permissividade elétrica da superfície de ouro e n_3 é o índice de refração do analito.

Vale ressaltar que para que haja a excitação dos plasmas de superfície, algumas condições devem ser atendidas:

1. Os feixes de luz incidente devem possuir a mesma polarização transversa magnética que as SPWs.
2. Os feixes luminosos devem incidir na interface na condição de reflexão interna total (RIT), assim, ocorrerá o surgimento do campo elétrico evanescente, que fornecerá energia para a excitação dos elétrons livres do metal.

3. A espessura da camada de metal deve ser inferior ao comprimento de onda incidente. Desse modo, o campo elétrico evanescente será capaz de excitar os plasmas da superfície.
4. O vetor do feixe luminoso incidente deve ser maior que o vetor de oscilação dos plasmas de superfície. Nesse sentido, faz-se necessária a utilização de um meio dispersivo, exemplos: prismas, grade de dispersão, guia de onda e fibra óptica.

Como evidenciado pelas condições 2 e 3, o SPR é um fenômeno óptico-elétrico observado quando a componente do campo evanescente k_x oscila na mesma frequência e amplitude dos plasmas de superfície. Ou seja, quando k_x iguala-se ao vetor k_{sp} , diz-se que ocorreu a ressonância de plasma de superfície. A Equação (2.2) fornece o valor da componente do campo evanescente na direção dos plasmas (HOMOLA; YEE; GAUGLITZ, 1999).

$$k_x = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 \sin \theta \quad (2.2)$$

em que n_1 é o índice de refração do meio dispersivo utilizado e θ é o ângulo de incidência do feixe luminoso.

Dessa forma, a condição de ressonância é obtida em (2.3), quando se iguala as Equações (2.1) e (2.2)

$$\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\varepsilon_{mr} n_3^2}{\varepsilon_{mr} + n_3^2}} = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 \sin \theta \quad (2.3)$$

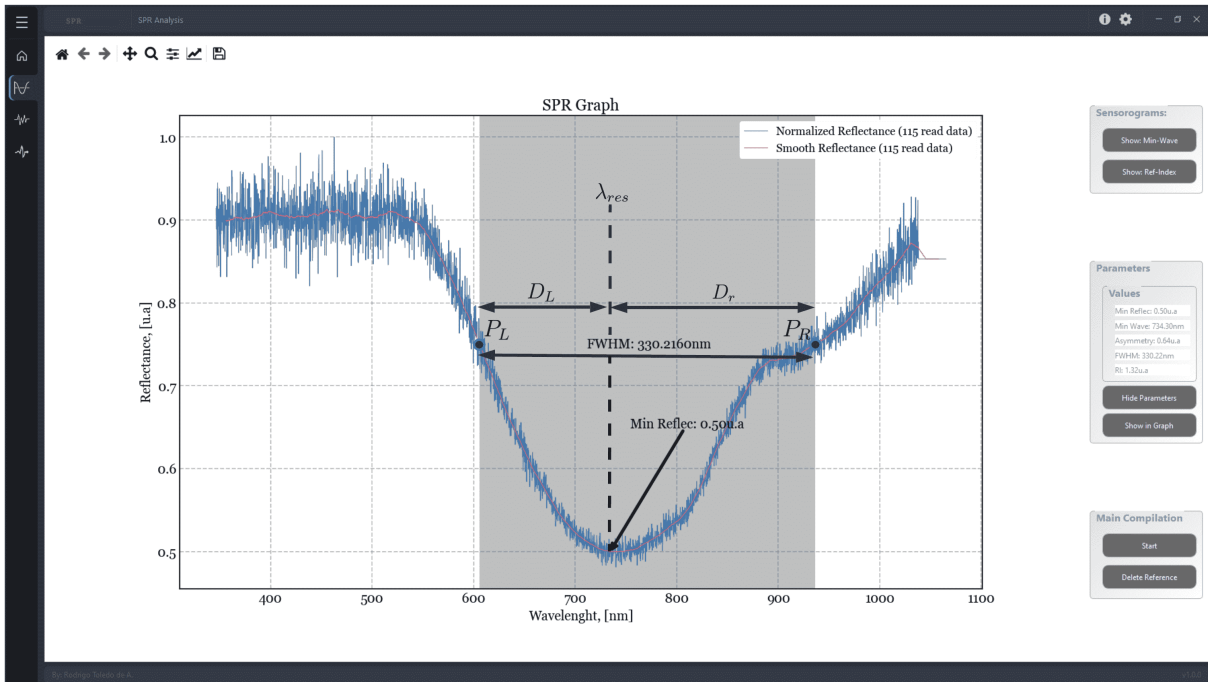
2.2.1 Os parâmetros da curva SPR

A Figura 6 configura uma representação detalhada dos parâmetros em uma curva SPR.

A partir do valor de mínimo da curva SPR, o ponto em que o comprimento de onda λ é igual ao comprimento de onda de ressonância λ_{res} (para o modo *WIM*), é possível determinar o valor *FWHM* (*Full Width at half maximum*), que é a distância em nanômetros (para o modo *WIM*) entre os pontos P_L e P_R , que são os pontos médios entre o valor máximo e o mínimo da curva SPR. Ainda, os parâmetros D_L e D_R representam a distância em nanômetros (para o modo *WIM*) entre o mínimo da curva λ_{res} e a borda esquerda P_L e a borda direita P_R , respectivamente. Dessa maneira, os parâmetros de *FWHM* e assimetria (Γ), podem ser calculados nas Equações 2.4 e 2.5, respectivamente (OLIVEIRA, 2011).

$$FWHM = D_R + D_L \quad (2.4)$$

Figura 6 – Curva Característica do fenômeno SPR.



Fonte: Autoria própria.

$$\Gamma = D_R/D_L \quad (2.5)$$

2.2.2 Modo de interrogação de Comprimento de onda - *WIM (Wavelength Interrogation Mode)*

Os bio-sensores SPR podem ser classificados de acordo com a medição da característica da interação entre a luz e as SPW. Se ângulo de incidência θ é mantido constante, tem-se o modo de operação é o WIM, e o espectro da fonte luminosa é empregado para medir a refletividade como função do comprimento de onda λ . Devido a dispersão do metal, as condições de ressonância dependem do comprimento de onda é alcançada pelo valor mínimo de comprimento de onda do espectro de luz, λ_{res} , como apresentado na Figura 6.

As Equações (2.6) e (2.7) apresentam a expressão matemática para a permissividade elétrica e IR do analito e a no modo de operação WIM (OLIVEIRA, 2011).

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_2 n_1^2 \sin^2 \theta^2}{\varepsilon_2 - n_1^2 \sin^2 \theta^2} = \frac{(\varepsilon_{2r} + i\varepsilon_{2i}) n_1^2 \sin^2 \theta^2}{(\varepsilon_{2r} + i\varepsilon_{2i}) - n_1^2 \sin^2 \theta^2} \quad (2.6)$$

$$n_3 = \sqrt{\sqrt{\varepsilon_{3r}^2 + \varepsilon_{3i}^2} + \varepsilon_{3r}/2} \quad (2.7)$$

3 Sistema Computacional

Neste estágio foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python, a biblioteca PyQt e o *software* Qt Designer, o programa intitulado de *SPR Analysis*, com o objetivo de desenvolver e integrar uma Unidade de Aquisição e Controle de Dados (UACPE) em um bio-sensor SPR. Na Figura 7 é apresentada a logo marca do *SPR Analysis*.

Figura 7 – Logo marca do *SPR Analysis*.

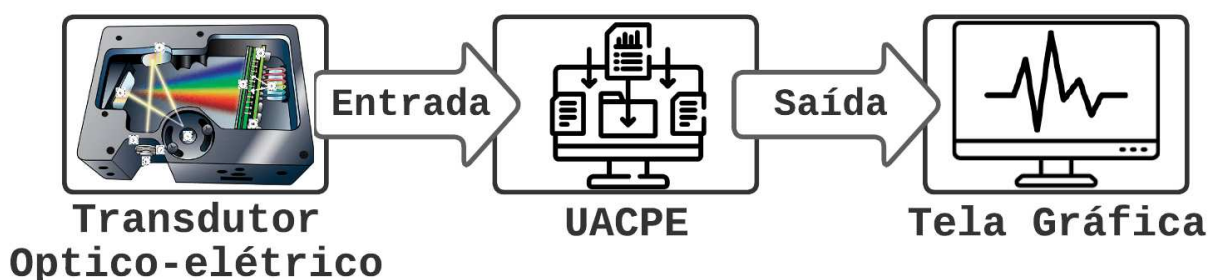


Fonte: Autoria própria.

A UACPE desempenha um papel essencial ao adquirir os dados provenientes do sensor e processá-los para obter a resposta SPR desejada.

Na Figura 8 é apresentado um diagrama de alto nível, unindo as informações contidas nas Figuras 3 e 6, para um sistema embarcado em um bio-sensor SPR.

Figura 8 – Diagrama de alto nível para um sistema embarcado em um bio-sensor SPR.



Fonte: Autoria própria.

3.1 Processo de desenvolvimento

O processo de desenvolvimento do programa SPR *Analysis* pode ser dividido em várias etapas, desde a concepção até a implantação. Essas etapas podem incluir:

1. Levantamento de requisitos: Nesta fase, serão identificados os requisitos do sistema, incluindo a funcionalidade do sistema, interfaces do usuário, padrões de desempenho e outros requisitos técnicos, esta fase envolve a compreensão das necessidades do usuário e os requisitos que o sistema deve atender. Isso inclui a definição do escopo do projeto, as funcionalidades do software.
2. Análise: nesta fase, os requisitos são analisados para garantir a viabilidade técnica e de tempo necessário.
3. Projeto: Com base nos requisitos, será desenvolvido o projeto do sistema. nesta fase, é criado o projeto de engenharia de software que inclui a arquitetura do sistema, a definição da linguagem de programação, a escolha das ferramentas de desenvolvimento.
4. Desenvolvimento: Nesta fase, a implementação do sistema será realizada, usando as especificações e design prévios. Isso pode envolver a codificação, testes e ajustes para garantir que o sistema esteja funcionando corretamente.
5. Testes: Depois que o sistema estiver implementado, será necessário testar e experimentar o sistema para garantir que ele atenda aos requisitos especificados.

3.2 Análise de Requisitos

3.2.1 Requisitos Funcionais

1. Requisitos Funcionais - Comunicação:
 - A UACPE deve ser capaz de estabelecer comunicação bidirecional com o transdutor óptico-elétrico.
 - O sistema deve suportar as interfaces de comunicação USB 2.0 e RS-232 do transdutor.
 - O software deve ser capaz de trocar informações de configuração com o transdutor.
 - A UACPE deve atualizar os dados renderizados na tela em tempo real.
2. Requisitos Funcionais - Processamento da Informação:

- O sistema deve realizar a aquisição dos dados do transdutor de forma precisa e confiável.
- O software deve processar os dados adquiridos para gerar a curva SPR.
- O processamento da informação deve ser eficiente e otimizado para garantir tempos de resposta rápidos.
- O sistema deve fornecer filtros e recursos de pré-processamento dos dados adquiridos.
- O sistema deve permitir a exportação dos resultados da resposta SPR para formatos de arquivo comuns.
- O sistema deve permitir o ajuste de parâmetros de processamento de sinal.

3. Requisitos Funcionais - Controle Automático:

- A UACPE deve verificar se os dispositivos necessários para o seu funcionamento estão operacionais.
- O sistema deve indicar ao usuário a presença ou ausência dos dispositivos necessários.
- O sistema deve identificar e notificar possíveis falhas de forma clara e intuitiva.
- O sistema deve oferecer recursos de zoom e navegação nos dados visualizados.

4. Requisitos Funcionais - Interface Homem-Máquina:

- A interface deve permitir ao usuário iniciar o processo de aquisição dos dados do transdutor.
- O acompanhamento do fenômeno da SPR deve ser feito por meio de gráficos renderizados em um display gráfico.
- A interface deve ser intuitiva e de fácil compreensão para facilitar a interação com o usuário.
- O sistema deve fornecer feedback visual adequado durante a aquisição e processamento dos dados.

3.2.2 Requisitos não funcionais

1. Requisitos não funcionais - Acurácia:

- Os dados fornecidos ao usuário devem refletir de forma precisa e consistente a interação biomolecular no momento da medição.

2. Requisitos não funcionais - Interoperabilidade:

- A UACPE deve ser desenvolvida de forma modular, permitindo a integração de novas partes sem perda de funcionalidade.
- O bio-sensor deve estar em conformidade operacional com outros sistemas analíticos de interações biomoleculares baseados no fenômeno SPR, como VirTech e Spreeta 5 da ICx Nomadise.

3. Requisitos não funcionais - Confiabilidade:

- Falhas terão um papel secundário neste modelo, havendo apenas a verificação da presença dos componentes essenciais e a validação dos sinais adquiridos pelo transdutor.
- Em caso de instabilidades no funcionamento do biossensor, a recuperação deve ser feita por meio da reinicialização do sistema, resultando em perda do processamento e reinício do ciclo.

4. Requisitos não funcionais - Usabilidade:

- O bio-sensor deve possuir uma interface de comunicação com o usuário de fácil assimilação, especialmente para pessoas familiarizadas com parâmetros relacionados à análise de interações biomoleculares usando o fenômeno SPR.

5. Requisitos não funcionais - Eficiência:

- A aquisição de dados deve ser realizada o mais rápido possível, preferencialmente utilizando o protocolo USB 2.0 em sua versão high-speed em vez do padrão RS-232.

6. Requisitos não funcionais - Restrições de custo:

- O bio-sensor deve ser desenvolvido dentro das restrições de custo de um trabalho acadêmico, utilizando componentes ópticos, mecânicos e transdutores disponíveis no Laboratório de Bio-sensores da Universidade Federal de Campina Grande.

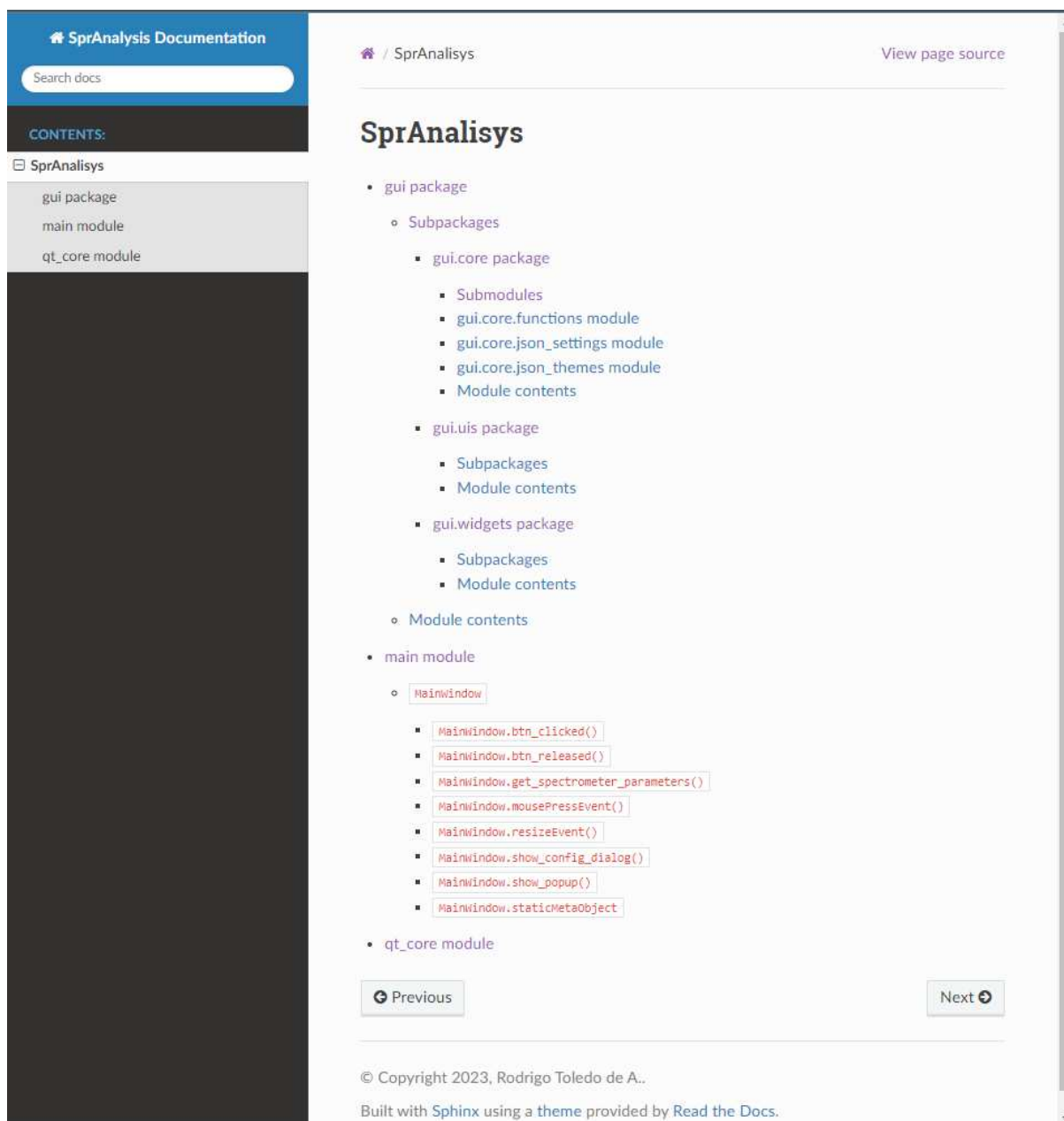
7. Requisitos não funcionais - Condições Ambientais:

- O biossensor deve ser projetado para operar em um ambiente com temperatura adequada ao seu funcionamento, considerando que variações de temperatura afetam a resposta SPR. No entanto, o controle de temperatura não está incorporado nesta versão da UACPE.

3.3 Descrição das classes e funções do sistema

O código implementado no desenvolvimento do programa é apresentado em ¹. O link disponibilizado contém arquivos do tipo *html*, desenvolvidos utilizando a biblioteca *sphinx*, que descrevem os arquivos que contém as classes e funções presentes no programa, como apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Tela do site *SPR Analysis Documentation*.



Fonte: Autoria própria.

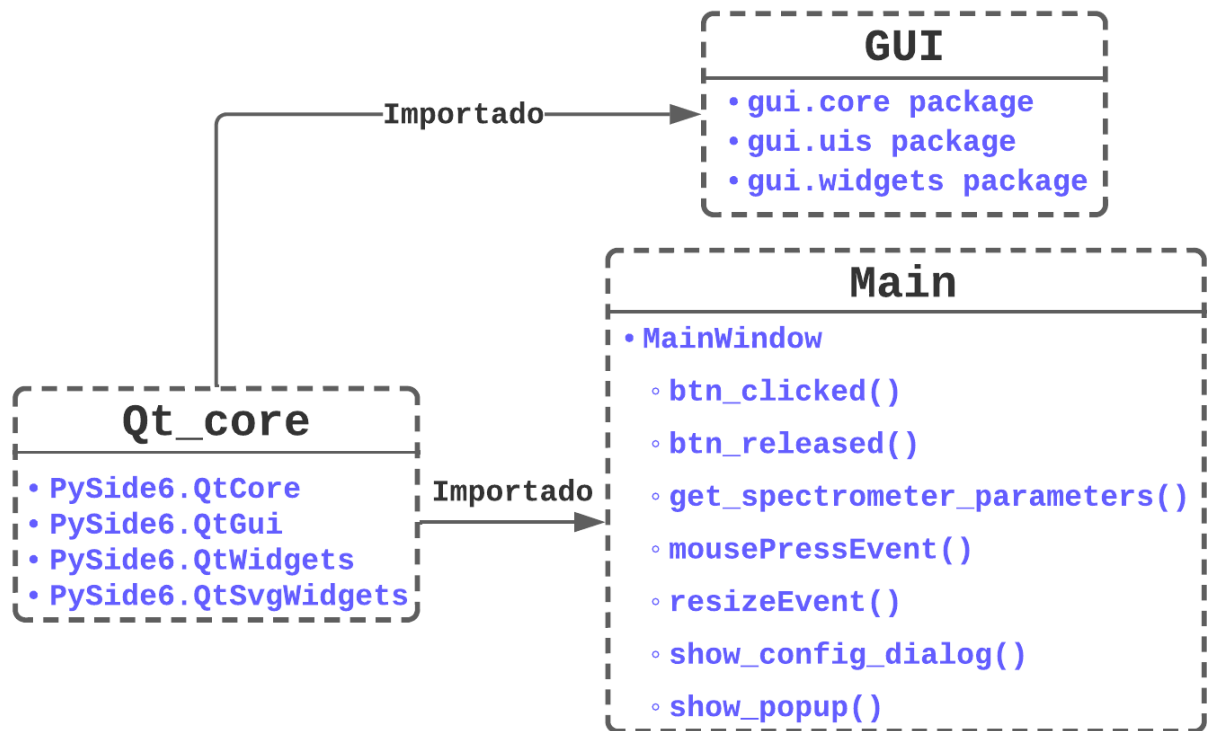
Na Figura 10, é apresentado, por meio de um diagrama de blocos, uma visão de

¹ ARAUJO, Rodrigo. **SPR Analysis Documentation**. Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1UOero16OuhyXxjagIj9XU-ngwgJCUTga>>. Acesso em: 27 Junho de 2023

alto nível dos arquivos e classes presentes no *software*. A divisão do *software* foi realizada em 3 módulos:

1. Módulo *Qt_core*: Este módulo é composto por um arquivo do tipo `.py`, que contém as bibliotecas Qt necessárias para o desenvolvimento da interface gráfica do programa.
2. Módulo *Main*: Este módulo, por controlar o funcionamento dos botões, controla quais *widgets*, telas e funcionalidades serão apresentadas no programa.
3. Módulo GUI: Neste módulo, serão definidos a interface gráfica, e funcionalidades apresentadas nas seções 3.4 e {3.5, 3.6}, respectivamente.

Figura 10 – Visão de alto nível dos arquivos e classes presentes no *software*.

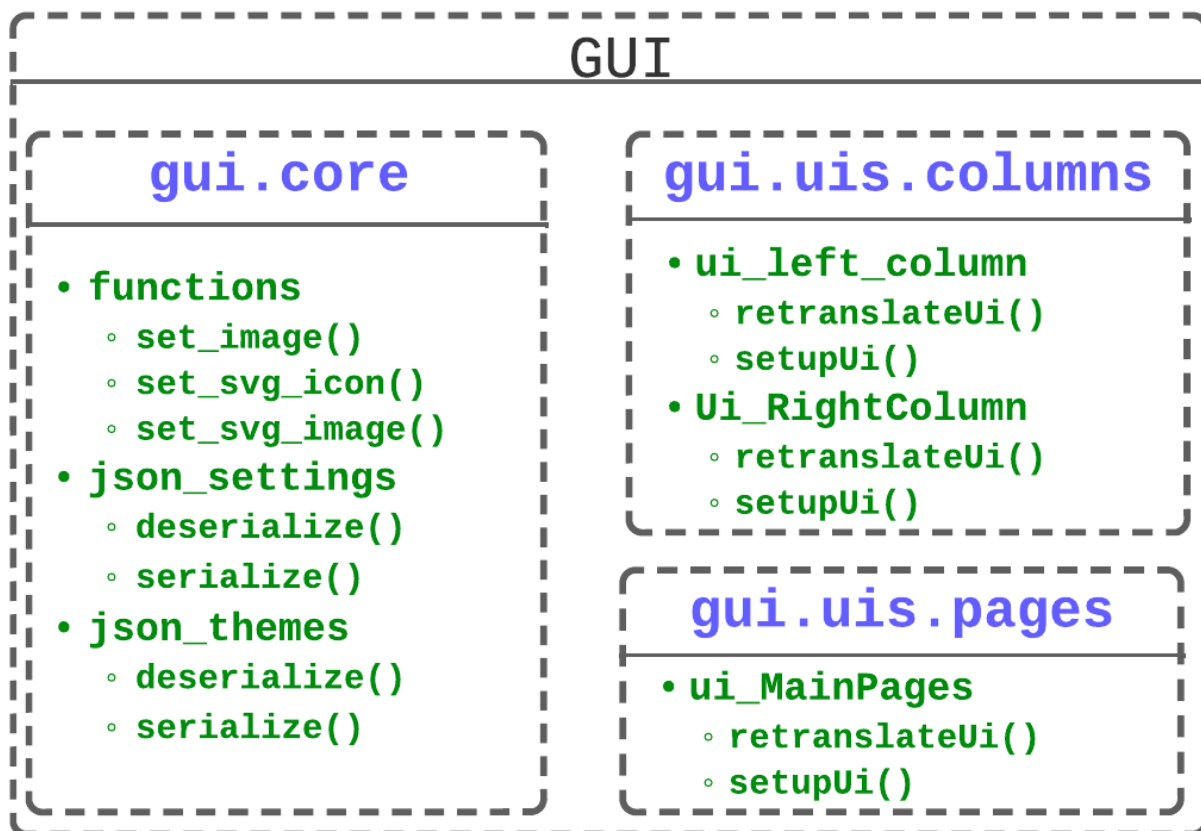


Fonte: Autoria própria.

Em 11, 12 e 13 são apresentados diagramas específicos acerca dos conteúdos existentes no módulo GUI.

Acerca da Figura 11, tem-se que, o módulo `gui.core` apresenta funções necessárias para inicializar as configurações e temas dos arquivos `.json`, como também, funções para exibição de imagens e ícones. Por outro lado, os módulos `gui.uis.columns` e `gui.uis.pages` são os responsáveis pela inicialização e disposição prévia dos principais elementos gráficos da interface de usuário, tais como, a abas laterais e superiores e as páginas centrais, acessadas por meio dos botões contidos nas colunas laterais.

Figura 11 – Descrição das classes e funções existentes nos sub-módulos `gui.core`, `gui.uis.columns` e `gui.uis.pages`.



Fonte: Autoria própria.

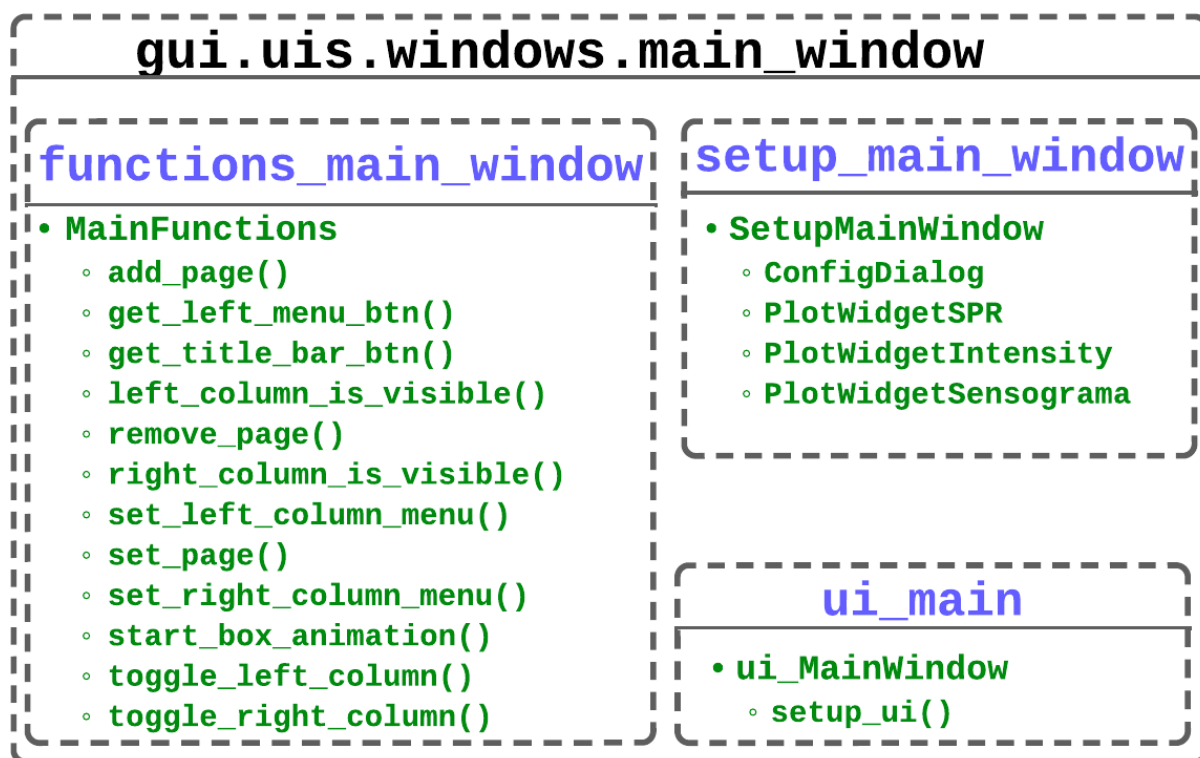
Por outro lado, na Figura 12, tem-se que, o módulo `gui.uis.windows.main_window.functions_main_window` apresenta funções necessárias para adicionar ou remover elementos gráficos presentes na interface de usuário. O módulo `gui.uis.windows.main_window.ui_main` é onde o tema e demais características dos arquivos `.json` são incorporadas na interface gráfica.

Já o módulo `gui.uis.windows.setup_main_window`, apresentado com um maior nível de detalhamento em 13, é o principal arquivo do sistema. Neste, são realizados todos os processamentos dos dados obtidos pelo espectrômetro, como apresentado na Seção 3.5, e todas as funcionalidades apresentadas na Seção 3.6.

3.4 Interface de Usuário

Nos últimos anos, o desenvolvimento de sistemas computacionais com interfaces gráficas interativas tem sido um campo de pesquisa e aplicação cada vez mais relevante no âmbito da Engenharia Elétrica. Nesse contexto, a combinação do *Python*, uma linguagem de programação amplamente utilizada e versátil, com o PyQt, um conjunto de bindings *Python* (bibliotecas ou conjuntos de ferramentas que permitem a utilização de uma biblioteca

Figura 12 – Descrição das classes e funções existentes nos sub-módulos presentes no sub-módulo `gui.uis.windows`



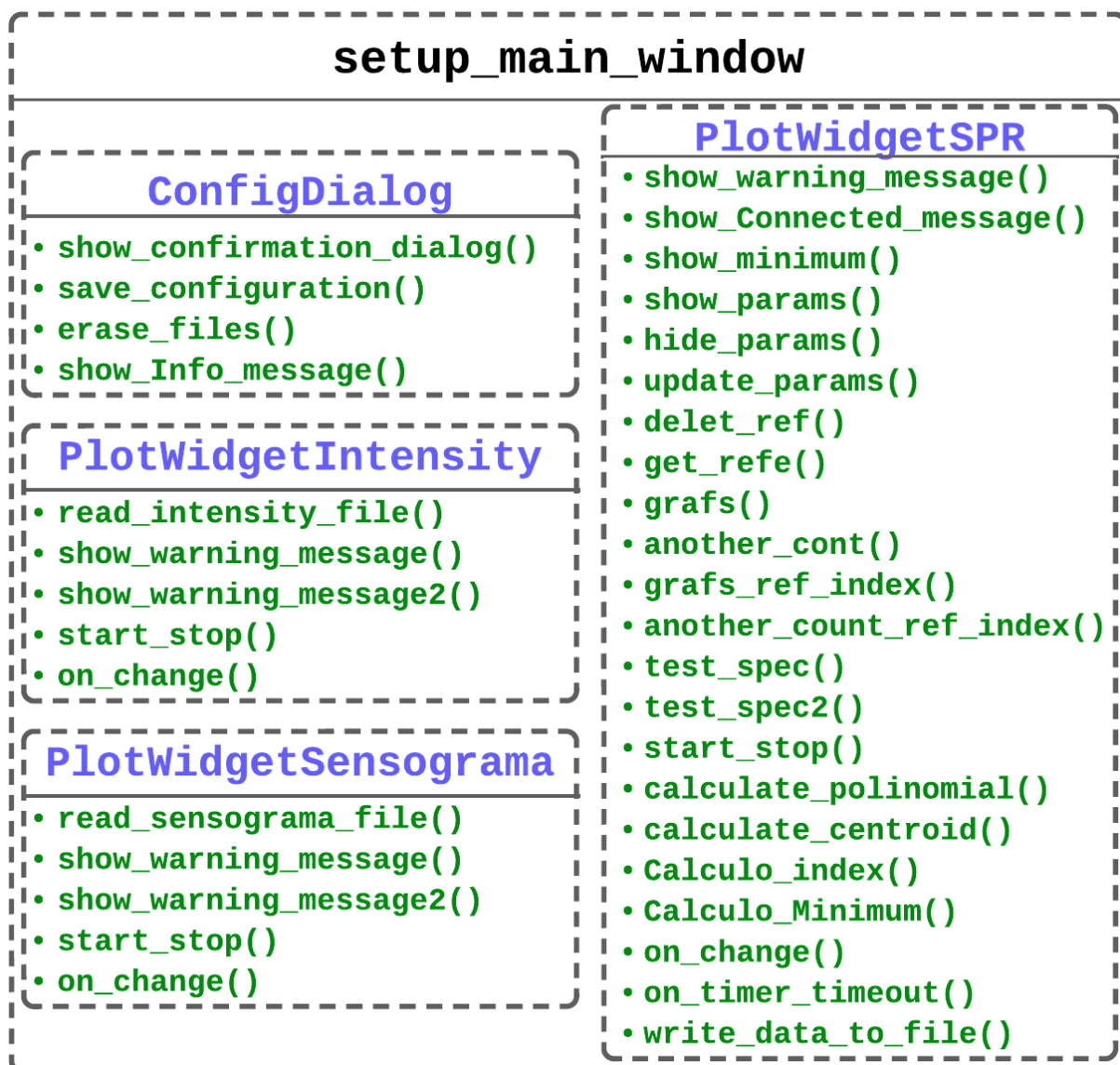
Fonte: Autoria própria.

ou *framework* em uma linguagem de programação diferente daquela para a qual ela foi originalmente desenvolvida) para o *framework* Qt (estrutura de desenvolvimento que fornece um conjunto de ferramentas, bibliotecas e convenções para facilitar a criação de *softwares*), tem se mostrado uma abordagem eficiente e poderosa para a geração de interfaces gráficas sofisticadas e funcionais.

Uma das principais vantagens de utilizar o *Python* e o PyQt para a geração da interface gráfica é a possibilidade de aproveitar o Qt Designer. O Qt Designer é uma ferramenta de design visual integrada ao PyQt que permite aos desenvolvedores criar interfaces gráficas de forma intuitiva e eficiente, sem a necessidade de escrever todo o código manualmente. Com o Qt Designer, é possível arrastar e soltar elementos de interface, definir propriedades e interações, e gerar automaticamente o código correspondente, que pode ser integrado ao sistema computacional.

Do ponto de vista científico, a utilização do *Python* e do PyQt para a geração da interface gráfica oferece diversas vantagens. Primeiramente, a linguagem *Python* é amplamente adotada em comunidades científicas devido à sua capacidade de integração com bibliotecas especializadas para análise de dados, aprendizado de máquina, visualização e simulação, entre outras áreas. Com a combinação do PyQt, é possível criar interfaces gráficas que permitem a interação direta com algoritmos e modelos complexos, facilitando

Figura 13 – Descrição das classes e funções existentes em `gui.uis.windows.main_window.setup_main_window`



Fonte: Autoria própria.

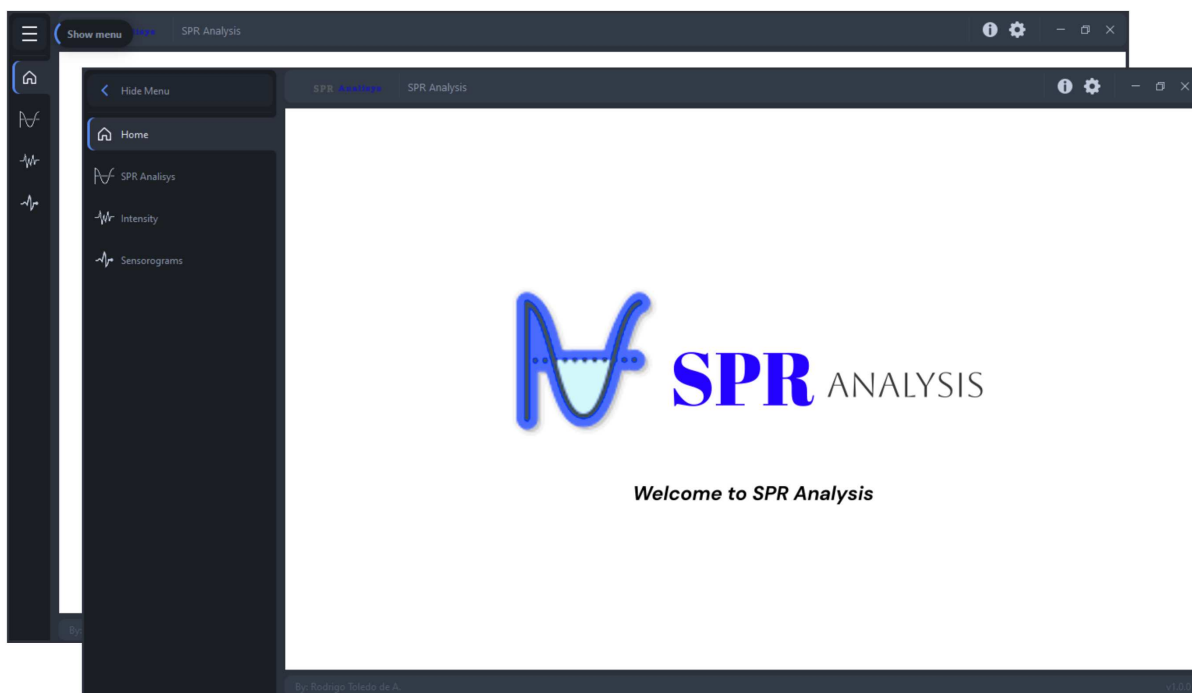
a visualização e a análise de resultados.

Nesse sentido, o *software* desenvolvido no período do estágio, intitulado de *SPR Analysis*, foi concebido fazendo uso das tecnologias acima citadas. A Figura 14 apresenta a tela inicial da interface de usuário do *SPR Analysis*

3.5 Aquisição de Dados

A aquisição de dados foi realizada utilizando a biblioteca Seabreeze, em Python. Esta oferece suporte completo para a aquisição de dados do espectrômetro USB 4000 da *Ocean Optics*. Com o uso dessa biblioteca de código aberto, os usuários têm acesso a

Figura 14 – Tela inicial do SPR Analysis, apresentando a transição quando o botão "show menu" é pressionado.



Fonte: Autoria própria.

uma ampla gama de funcionalidades que possibilitam o controle preciso do dispositivo e a configuração personalizada de suas operações.

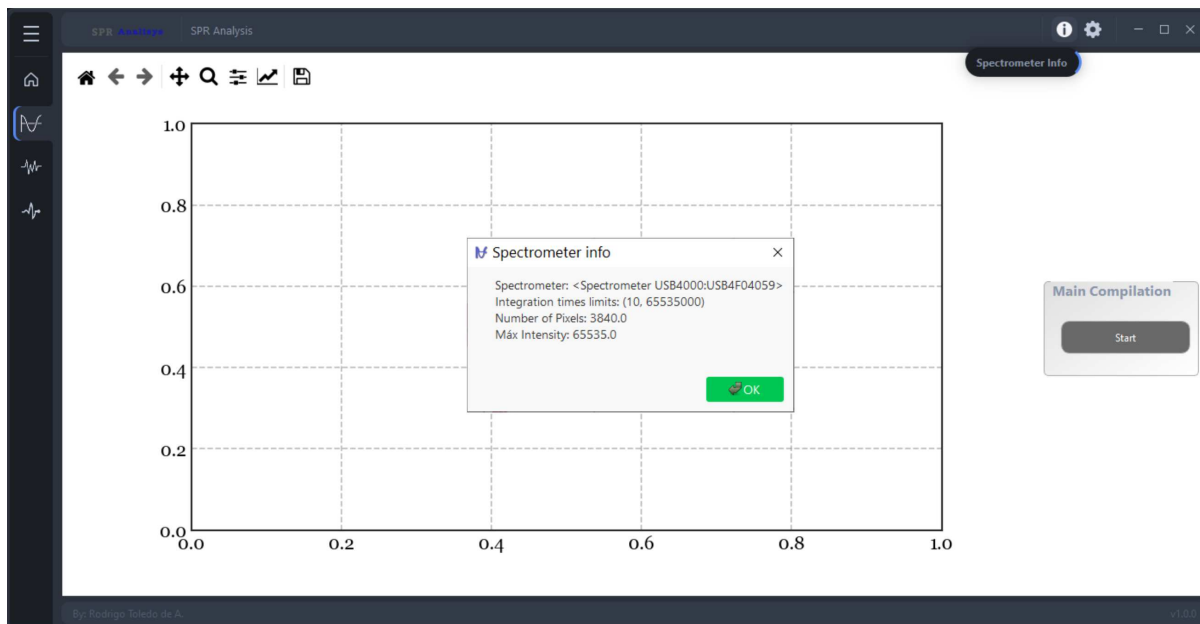
Uma das principais vantagens da integração entre o espectrômetro USB 4000 e a biblioteca Seabreeze é a capacidade de definir o tempo de integração de forma fácil e intuitiva. O tempo de integração se refere ao período durante o qual o detector do espectrômetro coleta dados para cada ponto espectral. Através das funções fornecidas pela Seabreeze, os usuários podem ajustar o tempo de integração conforme necessário, permitindo otimizar a sensibilidade e a resolução do espectro resultante.

Além da configuração do tempo de integração, a biblioteca Seabreeze oferece outras funcionalidades úteis para o controle do espectrômetro USB 4000. É possível personalizar diversas configurações do dispositivo, como a faixa espectral de interesse, a resolução espectral, o modo de aquisição (contínuo ou único) e até mesmo ativar recursos especiais do espectrômetro, como iluminação integrada ou filtros.

Em relação ao reconhecimento da conexão do espectrômetro, caso o mesmo esteja conectado ao computador e funcional, ao iniciar o programa *SPR Analysis*, o mesmo não indicará erros e será possível visualizar informações do espectrômetro conectado ao clicar-se no botão "*Spectrometer Info*", como mostra a Figura 15.

Caso contrário, o programa indicará um erro como o apresentado na Figura 16.

Figura 15 – Caso em que o espectrômetro está conectado corretamente ao computador ao iniciar o programa.



Fonte: Autoria própria.

Entretanto, caso o espectrômetro esteja coletando dados e seja desconectado, o programa indicará o erro apresentado na Figura 17.

Caso o usuário tente conectar novamente o espectrômetro, por meio do botão "test spectrometer", mas sem que o espectrômetro esteja devidamente conectado ao computador, o programa indicará o erro da Figura 16. Por outro lado, caso o espectrômetro esteja corretamente conectado ao computador e funcional, quando o usuário clicar no botão "test spectrometer", o espectrômetro será reconectado ao programa (porém com a referência apagada), como apresenta a Figura 18 e será possível visualizar novamente os parâmetros do espectrômetro.

3.6 Funcionalidades do *Software*

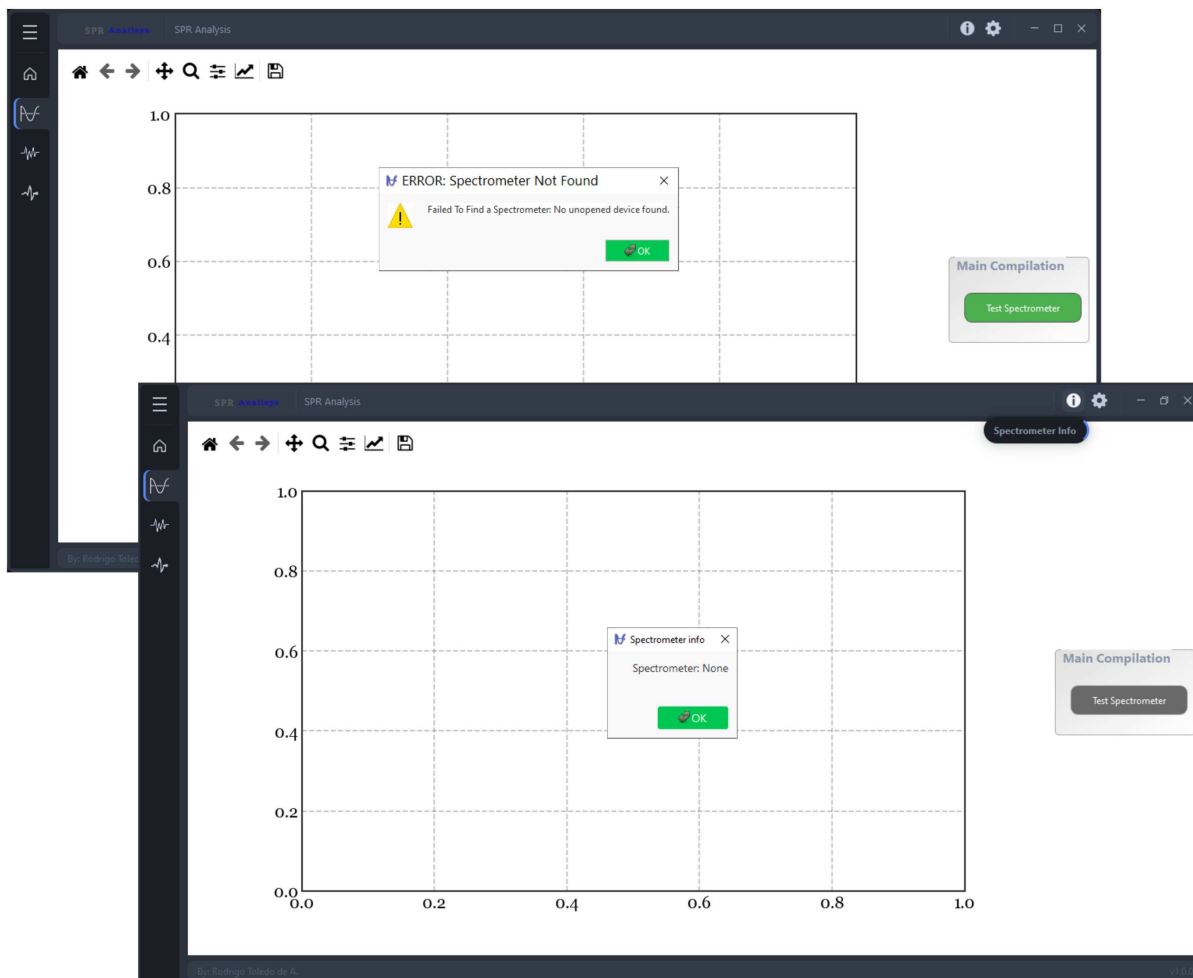
3.6.1 Aba de configurações

As Figuras 19, 20 e 21 apresentam as funcionalidades disponíveis no *pop-up* "Configuration" que surge quando o usuário clica no botão intitulado de "Configuration".

Em 19, é apresentada a transição de telas quando se clica no botão "Configuration", e após no botão "Erase Files" e por fim no botão "Save". Nesse caso, os arquivos presentes nas diretórios especificados em 19 são deletados.

Já em 20, é demonstrada a transição de telas quando se clica no botão "Configuration", e nas caixas de seleção "Metal" ou "Substrate". Neste caso, é possível escolher qual

Figura 16 – Caso em que o espectrômetro não está conectado corretamente ao computador.



Fonte: Autoria própria.

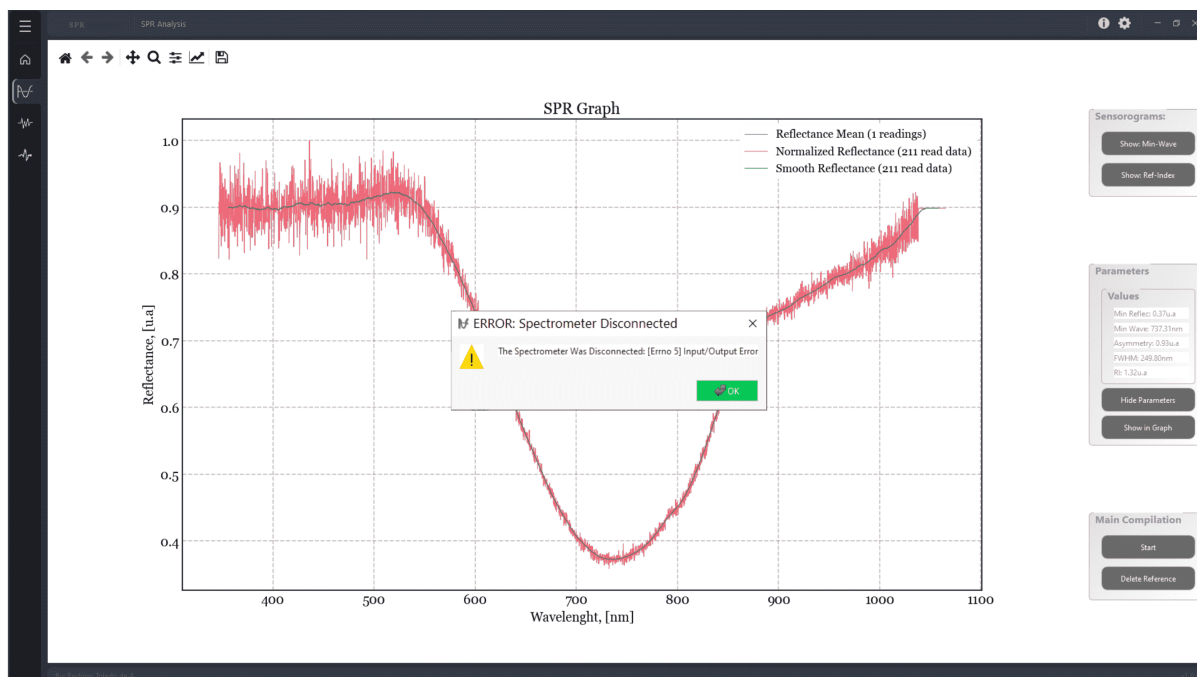
o metal é composta a camada superficial e qual substrato é formado o chip apresentado na Figura 32.

Por fim, em 21, é apresentada a transição de telas quando se clica no botão "Configuration", nas caixas de seleção "Minimum Algorithm" ou "Number of readings" ou "Integration Time". Nesse caso, o algoritmo para calcular o mínimo valor do gráfico, o número de leituras para que o gráfico seja apresentado em tela e o tempo de integração do espectrômetro podem ser configurados.

3.6.2 Aba lateral esquerda

Na Figura 14 é apresentada a tela inicial do programa. Quando o usuário posicionar o ponteiro do *mouse* sobre um dos botões contidos na aba lateral esquerda, sua descrição irá aparecer, indicando a funcionalidade daquele botão, como é apresentado nas Figuras 22, 30 e 31. Além disso, como é apresentado na Figura 14, ao clicar-se no botão "Show Menu", o menu lateral será apresentado, e, com ele, as descrições dos botões contidos na

Figura 17 – Caso em que o espectrômetro foi desconectado enquanto ocorria a coleta de dados.



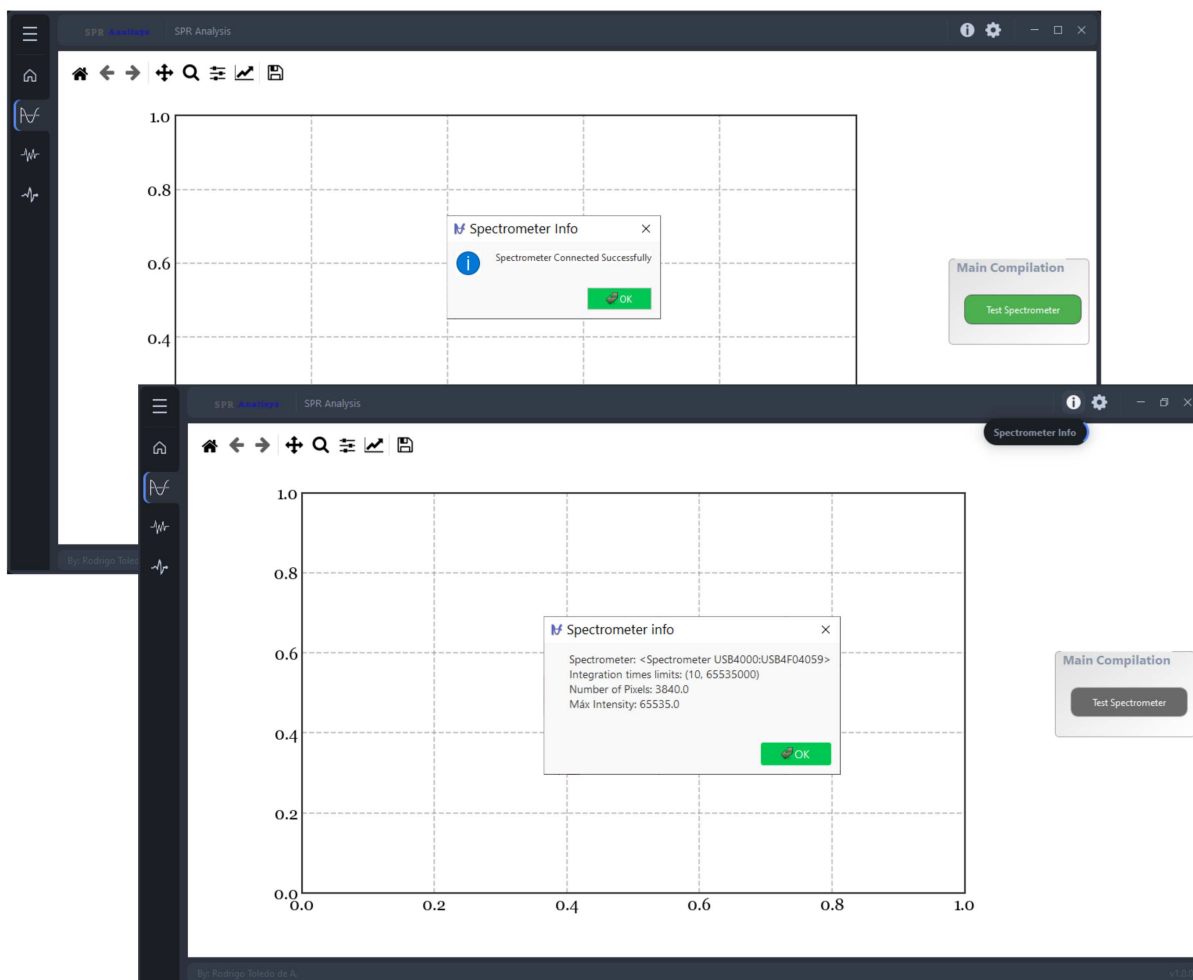
Fonte: Autoria própria.

aba.

3.6.2.1 Sub menu *SPR Analysis*

Na Figura 22, é apresentada a transição de janelas virtuais quando o botão "*SPR Analysis*" e logo após o botão *Start* são pressionados. A partir do gráfico da intensidade verificado em 22, pode-se, como apresentado na Figura 23, coletar a referência do sinal e obter a curva SPR. Esta curva SPR é formada a partir da análise da água H₂O na plataforma de testes apresentada na Figura 32. Vale ressaltar que no momento em que a referência é coletada, os dados de comprimento de onda, comprimento de onda de ressonância, intensidade, SPR, índice de refração são armazenados em arquivos .txt no diretório do programa. Na janela apresentada na Figura 23, é possível visualizar outros 2 sub menus: "*Sensorgrams*" e "*Parameters*". As Figuras 24 e 25 apresentam as transições de tela ao clicar-se nos botões "*Show Min-Wave*" e "*Show Ref-Index*", respectivamente. A Figura 26 apresenta a transição de tela quando o botão "*Show Parameters*" é pressionado. Nessa Figura é possível visualizar que os parâmetros "*Min Reflec*", "*Min Wave*", "*Asymmetry*", "*FWHM*" e "*RI*", calculados a partir da curva SPR, são apresentados em tela. Ainda no menu "*Parameters*", as Figuras 27 e 28 apresentam as transições de tela quando o botão "*Show in the Graph*" é pressionado quando o é apresentado no menu "*Main Compilation*" o botão "*Stop*" e "*Start*", respectivamente. O que indica que o funcionamento deste botão está atrelado a parada do programa. Por fim, como apresentado na Figura 29, é possível deletar a referência

Figura 18 – Caso em que o espectrômetro foi reconectado com sucesso.



Fonte: Autoria própria.

especificada na Figura 23, para que outra referência seja coletada.

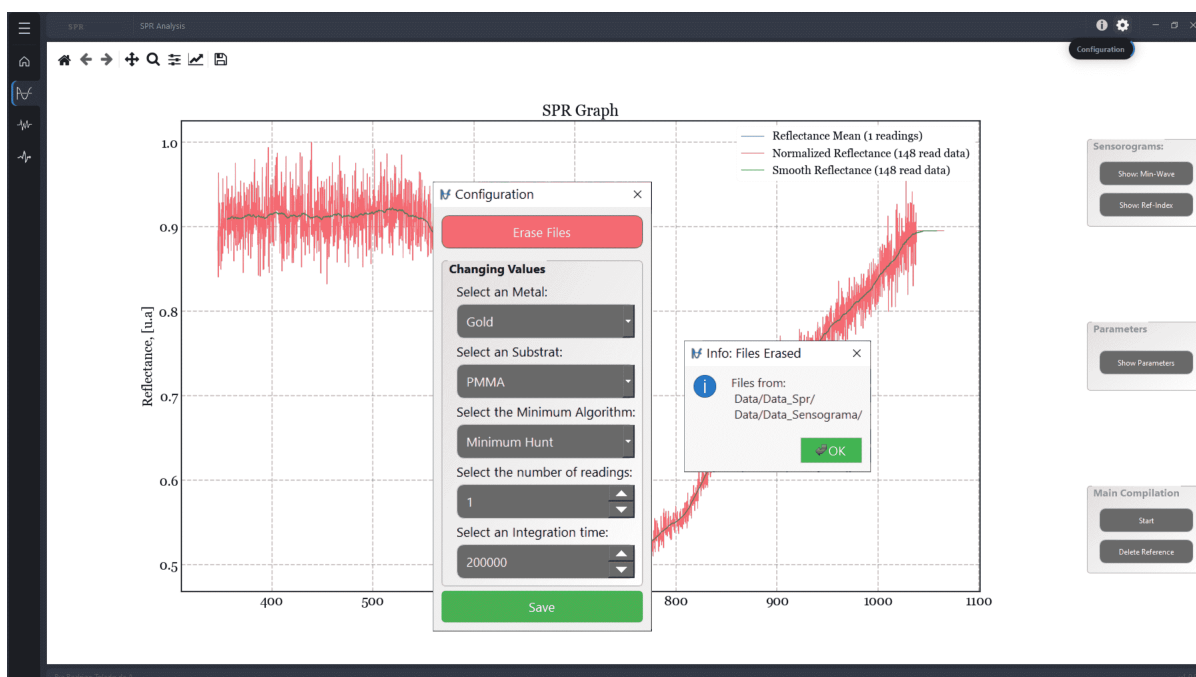
3.6.2.2 Sub-menu *Intensity*

Na Figura 30 é apresentada a transição de janelas virtuais quando o botão "*Intensity*" e "*Start*" são pressionados. Nesse caso, esse gráfico de intensidade corresponderá a intensidade obtida do espectrômetro enquanto é apresentada a curva SPR no sub-menu "*SPR Analysis*". É importante ressaltar que esta aba apenas mostrará um valor atualizado de intensidade enquanto a curva SPR esteja sendo atualizada no sub-menu "*SPR Analysis*".

3.6.2.3 Sub-menu *Sensorograms*

Na Figura 31 é apresentada a transição de janelas virtuais quando o botão "*Sensorograms*" e "*Start*" são pressionados. Nesse caso, estes gráficos de sensograma corresponderão ao dados obtidos de comprimento de onda de ressonância e de IR em relação ao tempo, enquanto é apresentada a curva SPR no sub-menu "*SPR Analysis*". É importante ressaltar

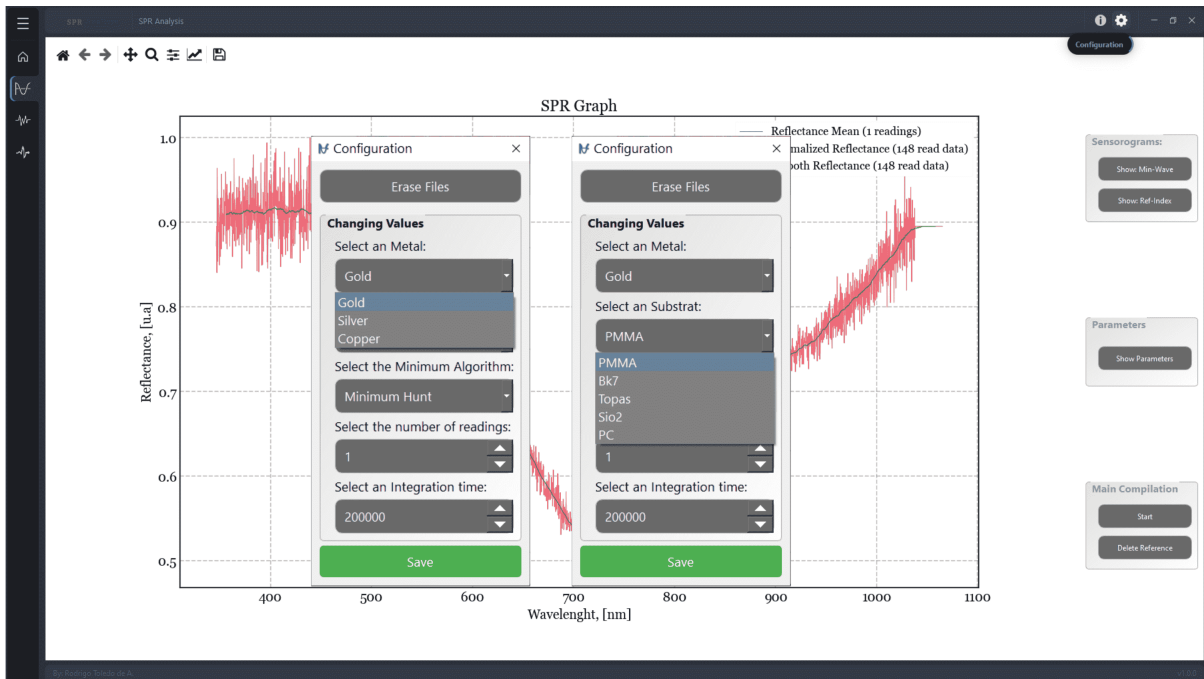
Figura 19 – Demonstração da indicação que aparece no *Software* quando se clica no botão "Configuration", e após no botão "Erase Files" e por fim no botão "Save".



Fonte: Autoria própria.

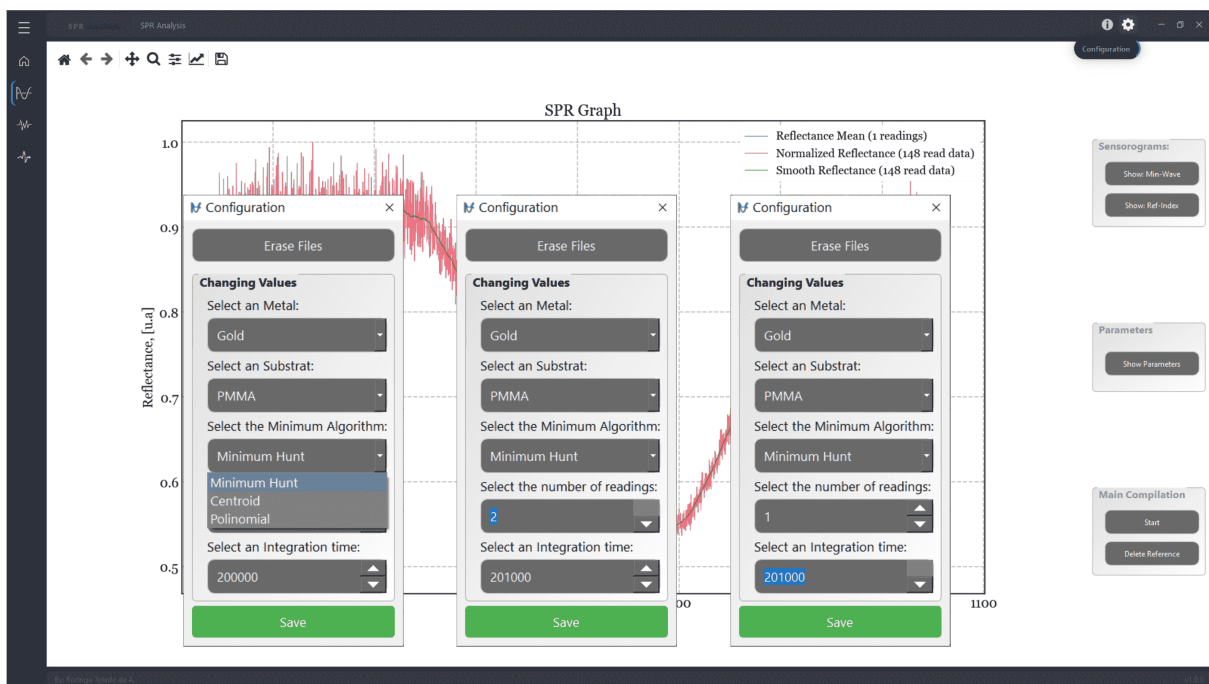
que esta aba apenas mostrará um valor atualizado de comprimento de onda de ressonância e de IR, enquanto a curva SPR esteja sendo atualizada no sub-menu "SPR Analysis".

Figura 20 – Demonstração da indicação que aparece no *Software* quando se clica no botão "Configuration", nas caixas de seleção "Metal" ou "Substrat".



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 – Demonstração da indicação que aparece no *Software* quando se clica no botão "Configuration", nas caixas de seleção "Minimum Algorithm" ou "Number of readings" ou "Integration Time".



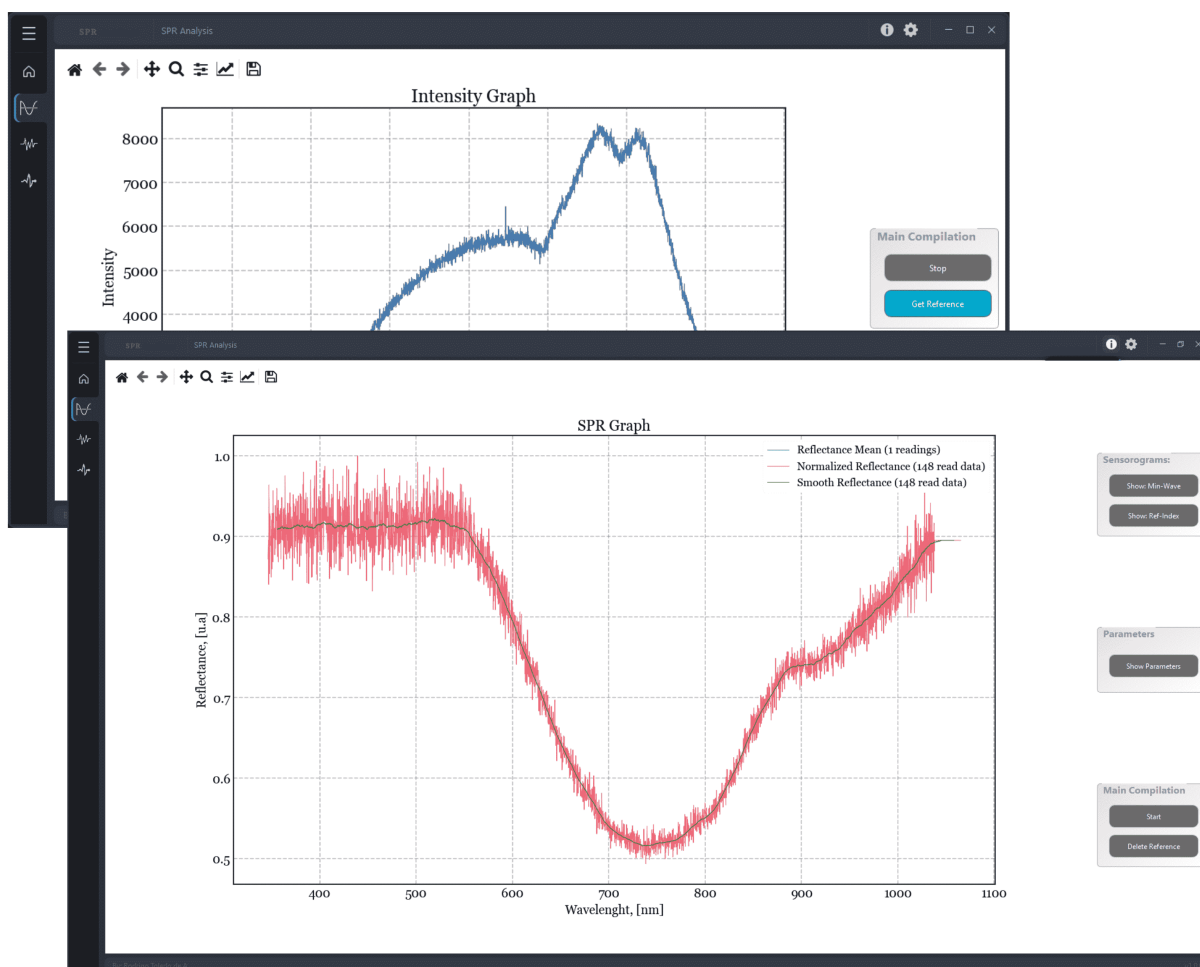
Fonte: Autoria própria.

Figura 22 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "*SPR Analysis*", na aba lateral.



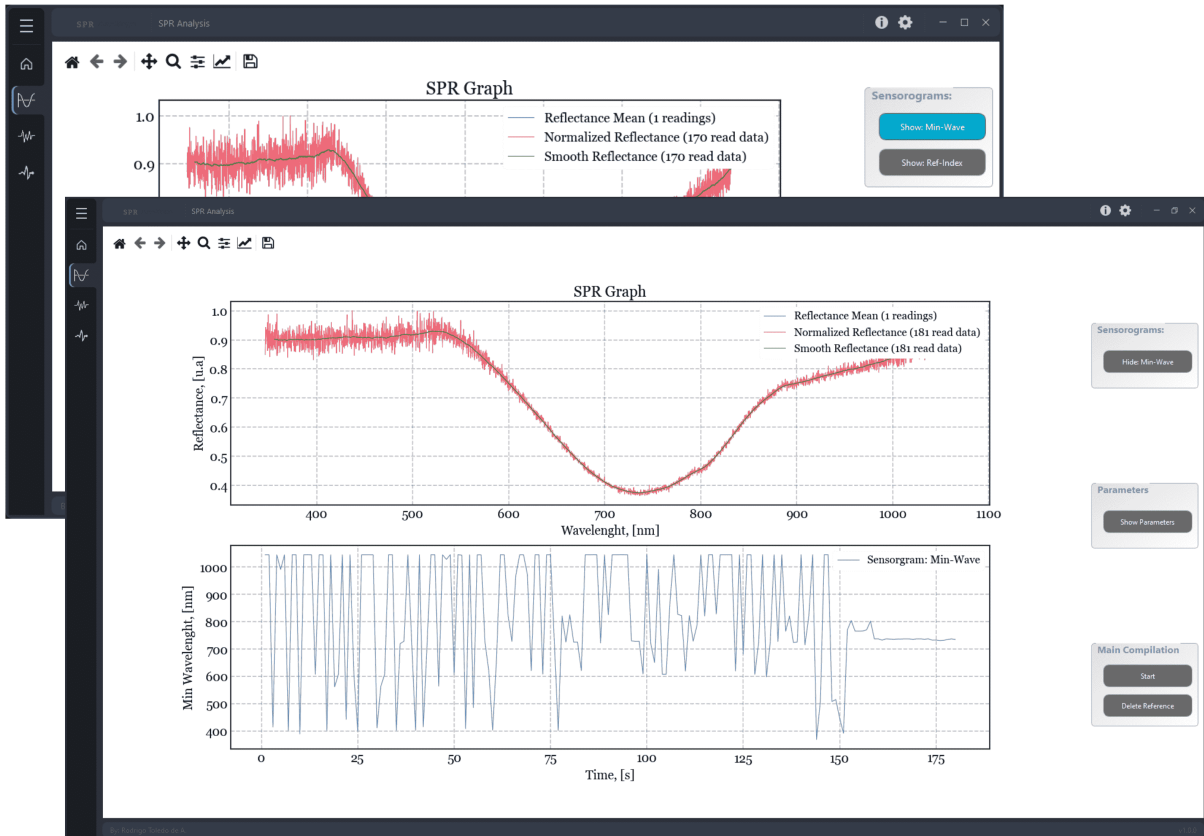
Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Get Reference", no sub-menu "SPR Analysis".



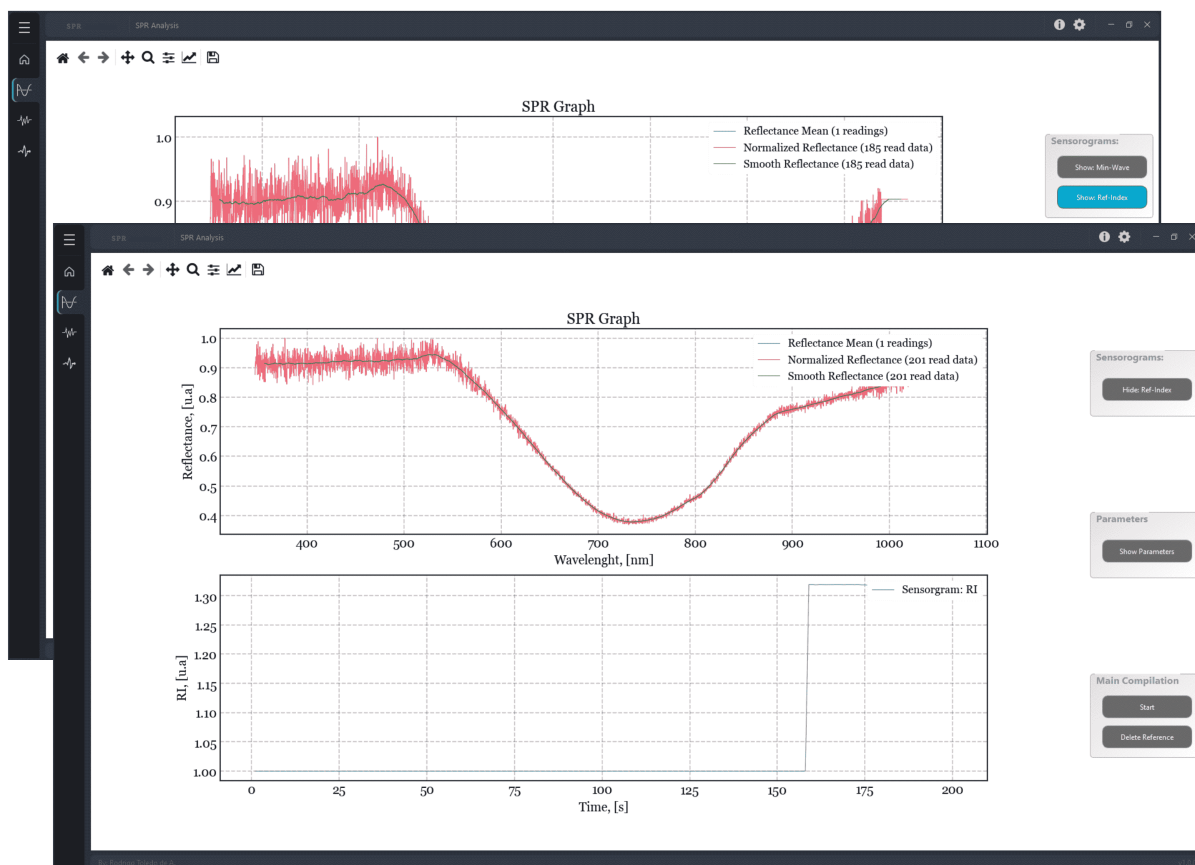
Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Show Min-Wave", no menu "Sensorgrams", que é contido no sub-menu "SPR Analysis".



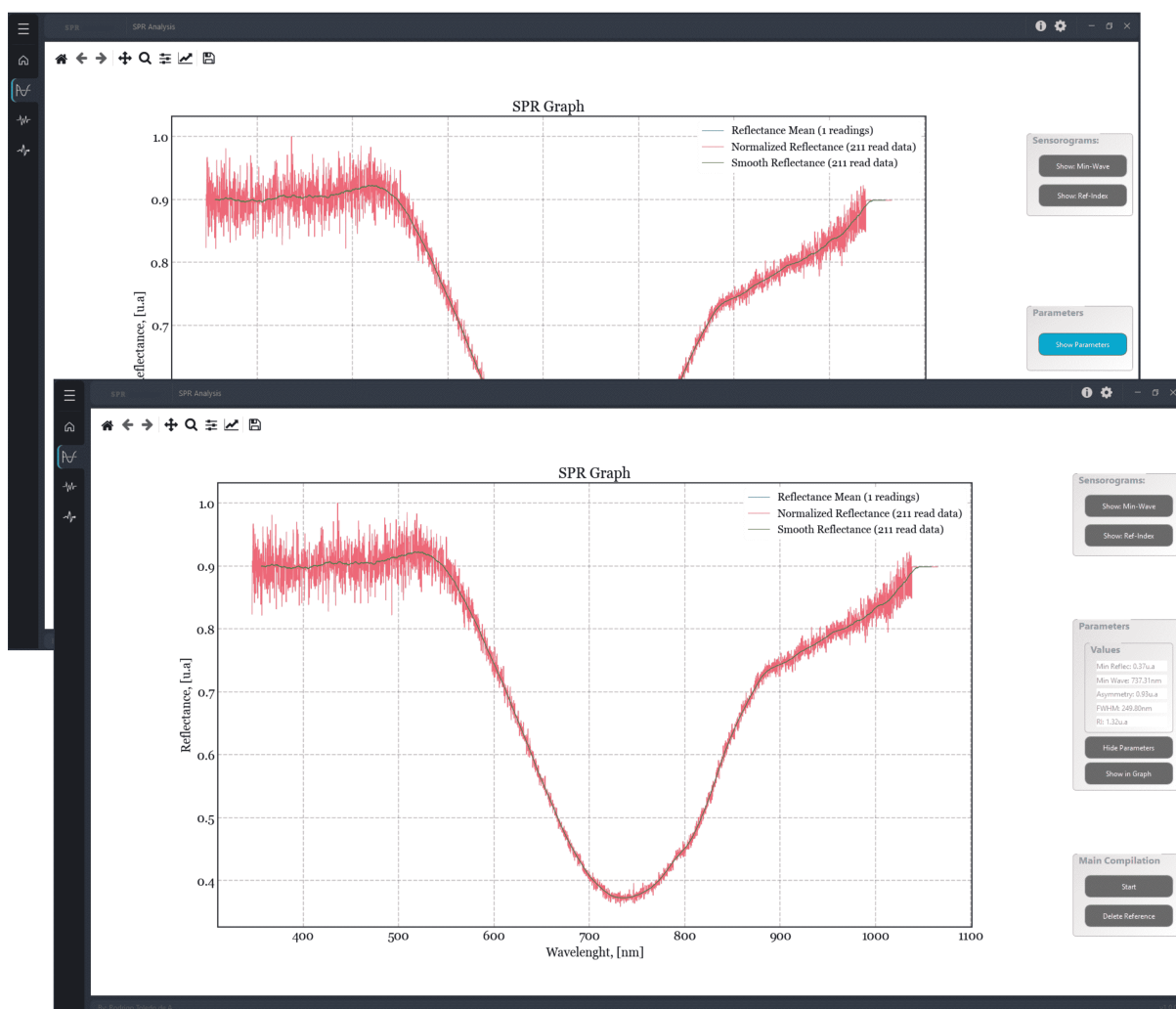
Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Show Ref-Index", no menu "Sensorgrams", que é contido no sub-menu "SPR Analysis".



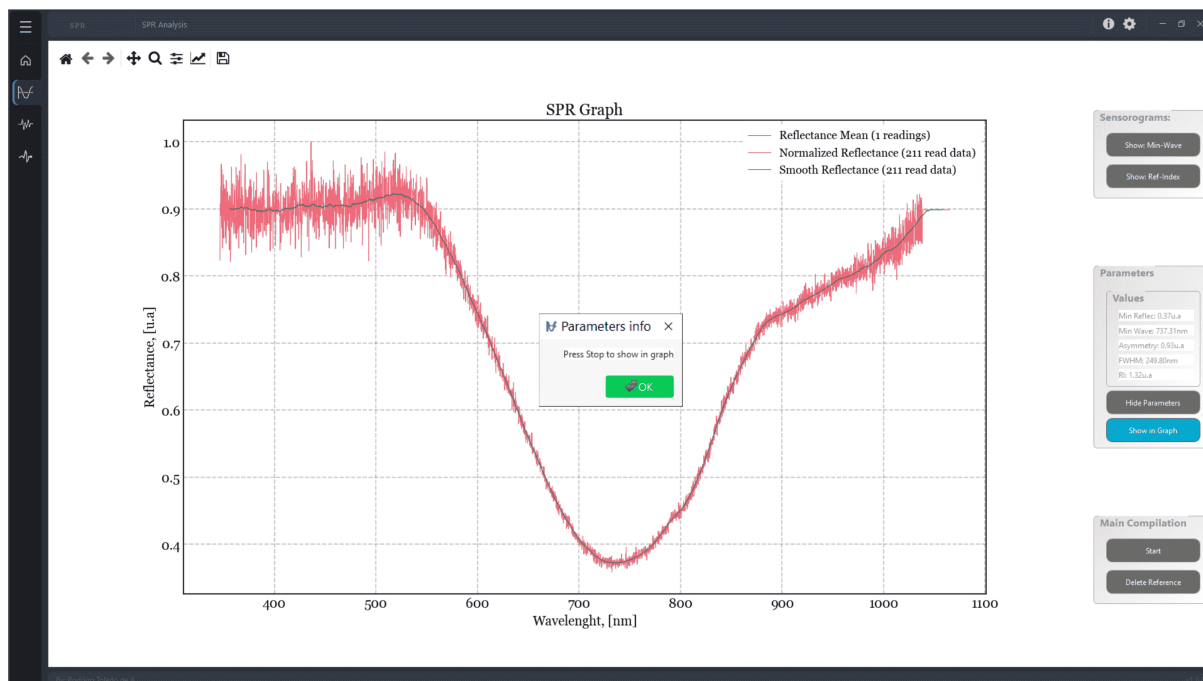
Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Show Parameters", no menu "Parameters", que é contido no sub-menu "SPR Analysis".



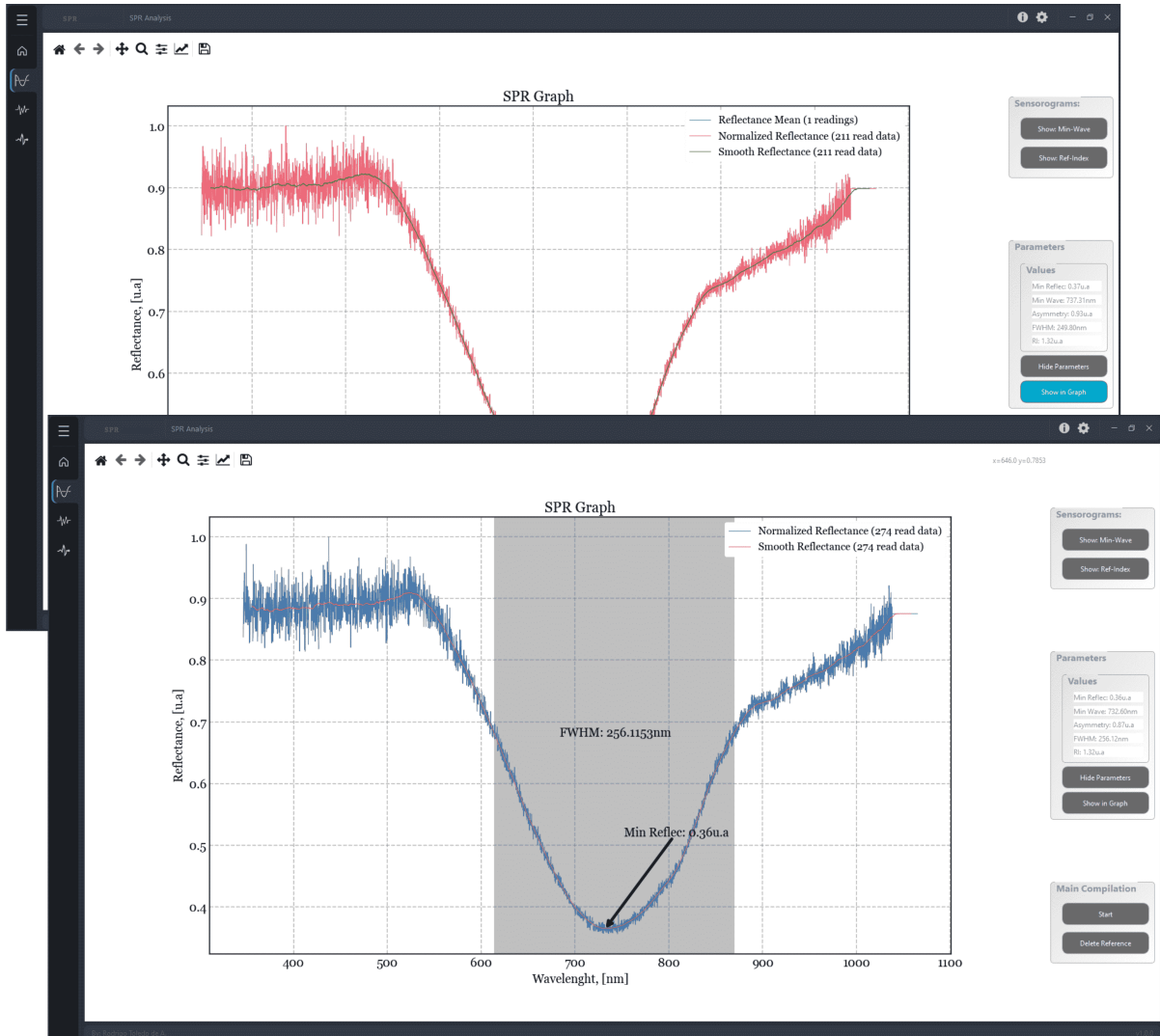
Fonte: Autoria própria.

Figura 27 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Show in Graph", no menu "Parameters", que é contido no sub-menu "SPR Analysis", quando é apresentado no menu "Main Compilation" o botão "Stop".



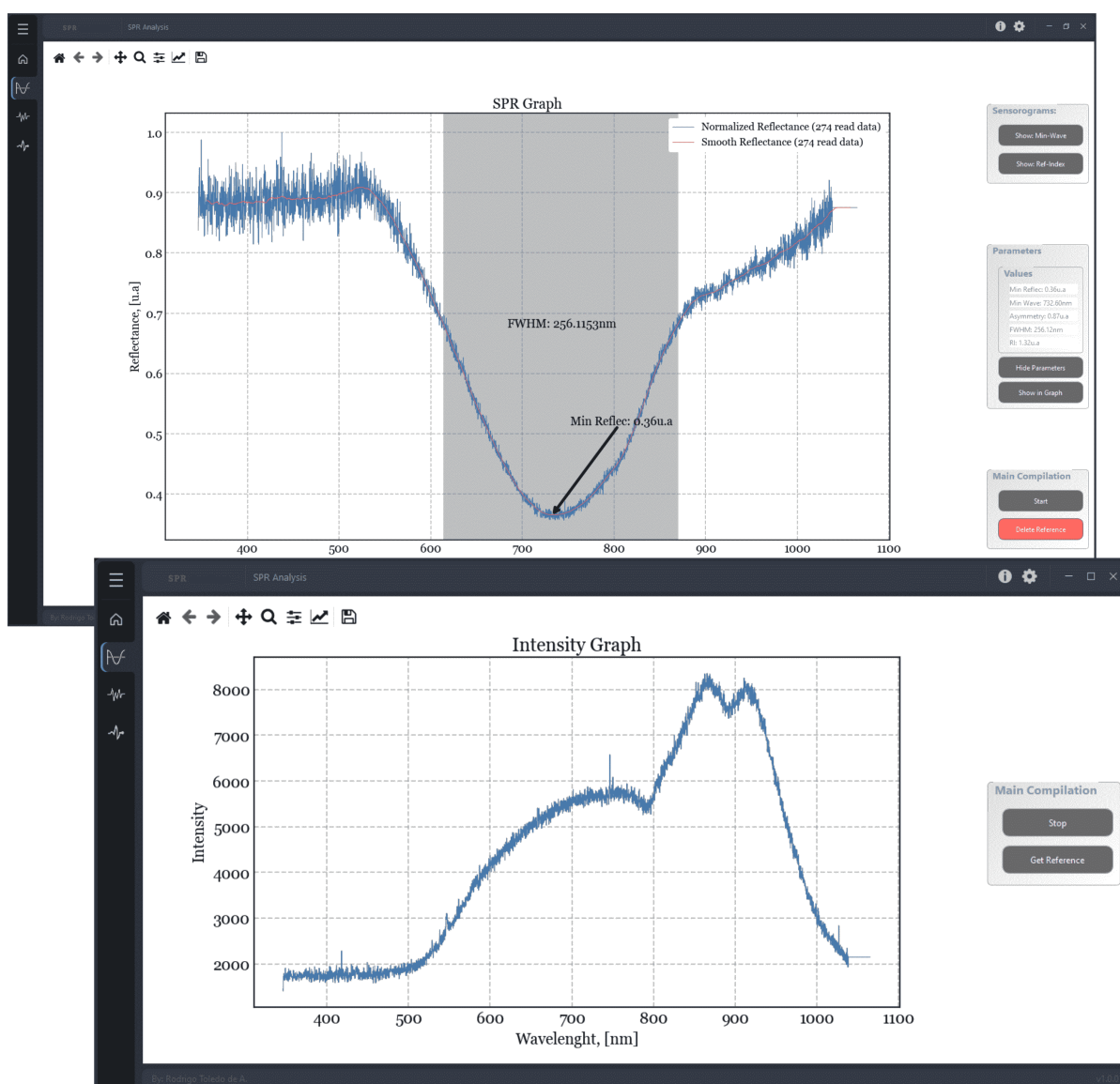
Fonte: Autoria própria.

Figura 28 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Show in Graph", no menu "Parameters", que é contido no sub-menu "SPR Analysis", quando é apresentado no menu "Main Compilation" o botão "Start".



Fonte: Autoria própria.

Figura 29 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "*Delete Reference*", no sub-menu "*SPR Analysis*".



Fonte: Autoria própria.

Figura 30 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "Intensity", na aba lateral.



Fonte: Autoria própria.

Figura 31 – Demonstração da janela virtual que aparece no *Software* quando se clica no botão "*Sensorograms*", na aba lateral.



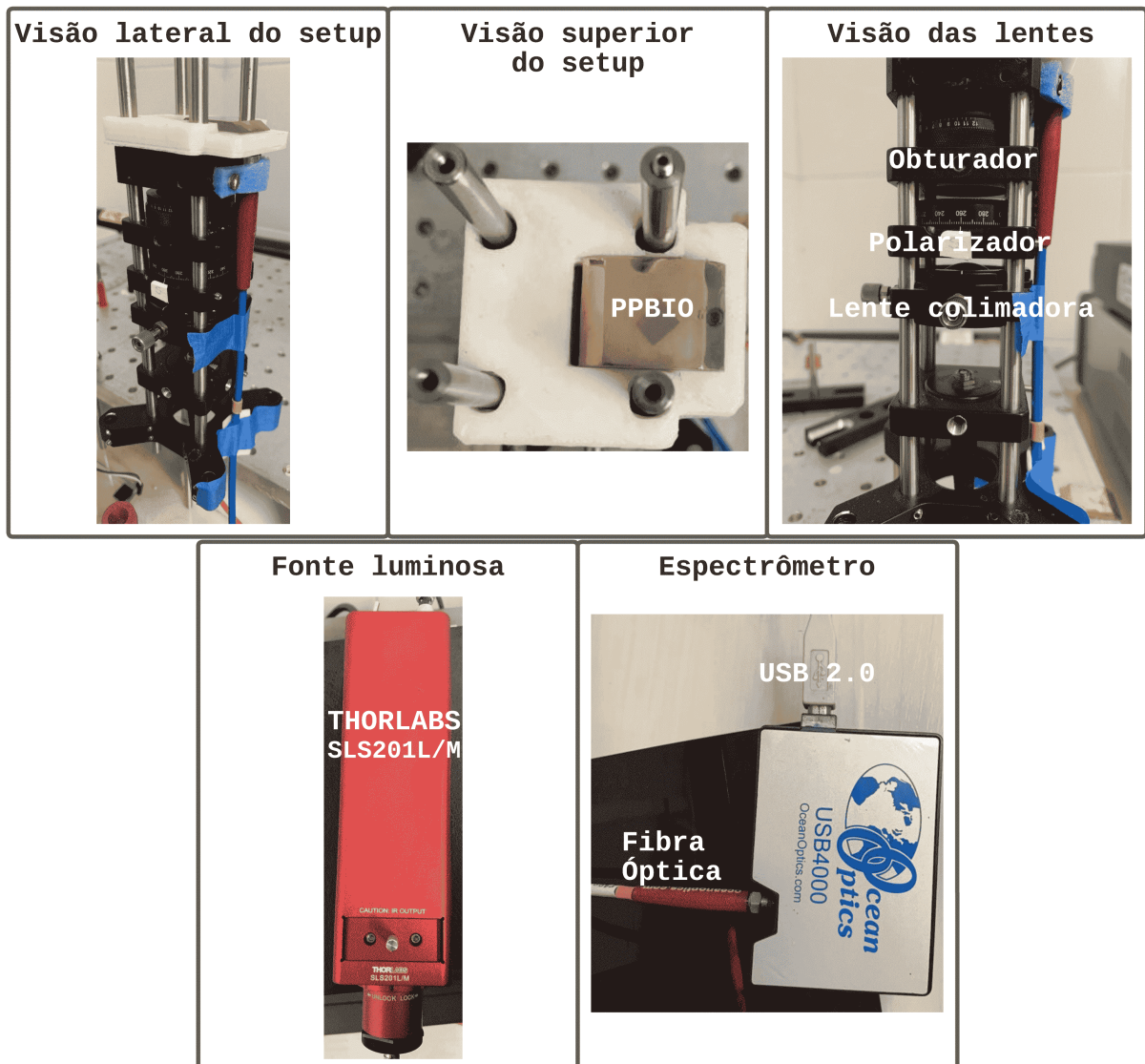
Fonte: Autoria própria.

4 Testes Experimentais com o *software* SPR *Analysis*

4.1 *Setup* experimental

Na Figura 32, é apresentado o *setup* experimental utilizado para validação do *software* SPR *Analysis*.

Figura 32 – *Setup* experimental utilizado para validação do *software* SPR *Analysis*



Fonte: Autoria própria.

4.2 Procedimentos experimentais

As etapas do procedimento experimental estão apresentadas no diagrama de blocos da Figura 33 e podem ser listadas da seguinte forma:

1. **Coleta da referência:** Nesta etapa, ocorre a coleta da intensidade luminosa de referência utilizada no restante do experimento. A Figura 34 apresenta a referência coletada neste experimento.
2. **Testes do PPBIO para diferentes analitos:** Esta etapa é sub-dividida em 4 itens:
 - a) Coloca-se água no chip e se espera um tempo para que a resposta no sensograma varie pouco. A Figura 35 que apresenta um exemplo de preenchimento de chip.
 - b) Em seguida, a coleta de dados é pausada ao clicar-se no botão "Stop" e então retira-se a água do chip. Logo em seguida, a coleta de dados é restabelecida e o chip é preenchido pela substância PBS-5X e espera-se um tempo para que a resposta no sensograma varie pouco.
 - c) Em seguida, a coleta de dados é pausada ao clicar-se no botão "Stop" e então retira-se o PBS-5X. Logo em seguida, a coleta de dados é restabelecida e o chip é preenchido pela substância PBS-10X e espera-se um tempo para que a resposta no sensograma varie pouco.
 - d) Em seguida, a coleta de dados é pausada ao clicar-se no botão "Stop" e então retira-se o PBS-10X. Logo em seguida, a coleta de dados é restabelecida e o chip é preenchido por água. Novamente espera-se um tempo para que a resposta no sensograma varie pouco e o experimento está concluído.
3. **Geração dos resultados:** Após a segunda etapa, tem-se acesso aos gráficos dos sensogramas em relação tempo, para diferentes substâncias.

4.3 Resultados Experimentais

A partir dos procedimentos apresentados na Seção 4.2, os gráficos das curvas SPR para as diferentes substâncias podem ser apresentados nas Figuras 36, 37. E o gráfico do sensograma final é apresentado na Figura 38.

Figura 33 – Procedimento experimental utilizado para validação do *software SPR Analysis*

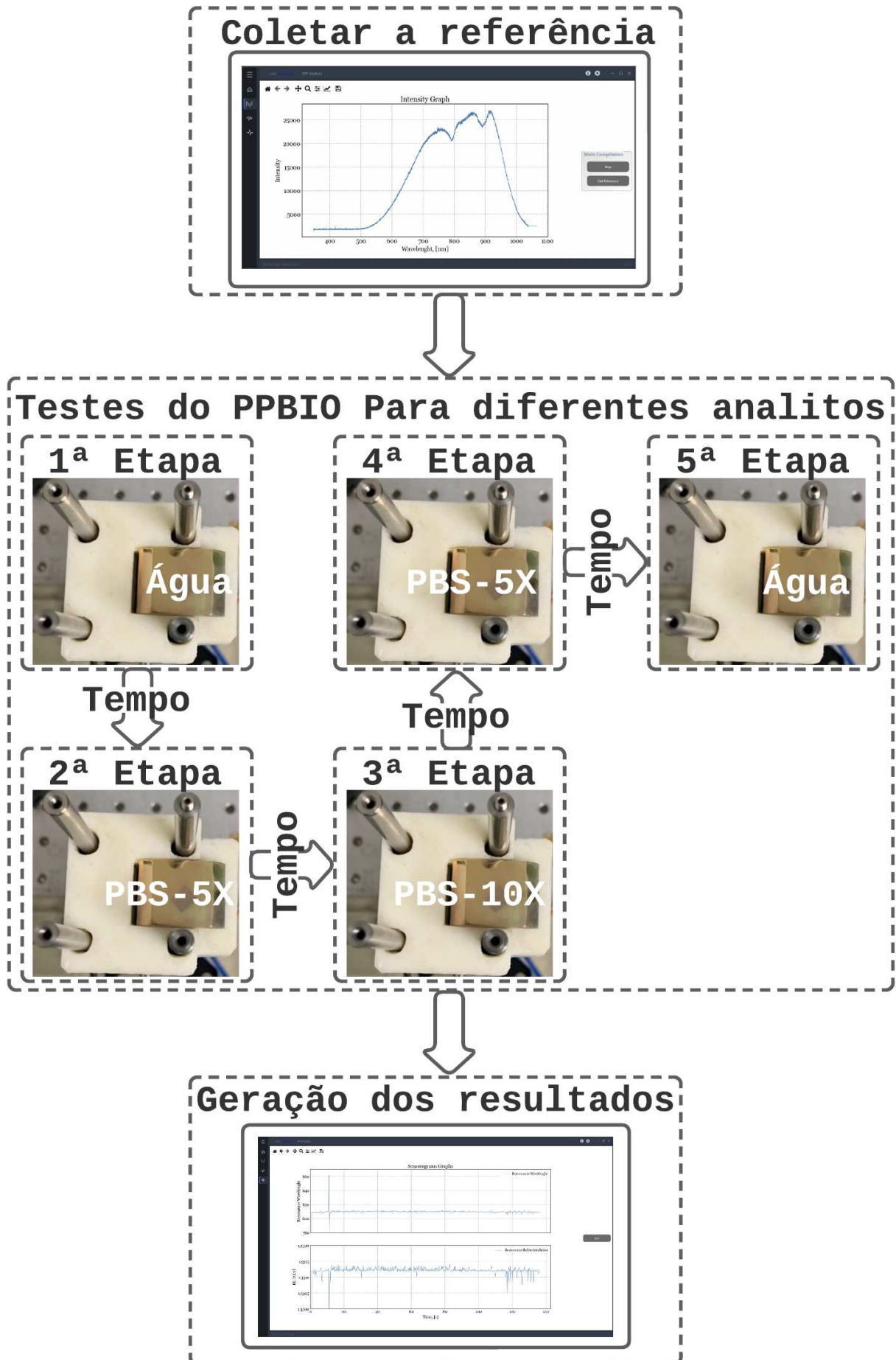
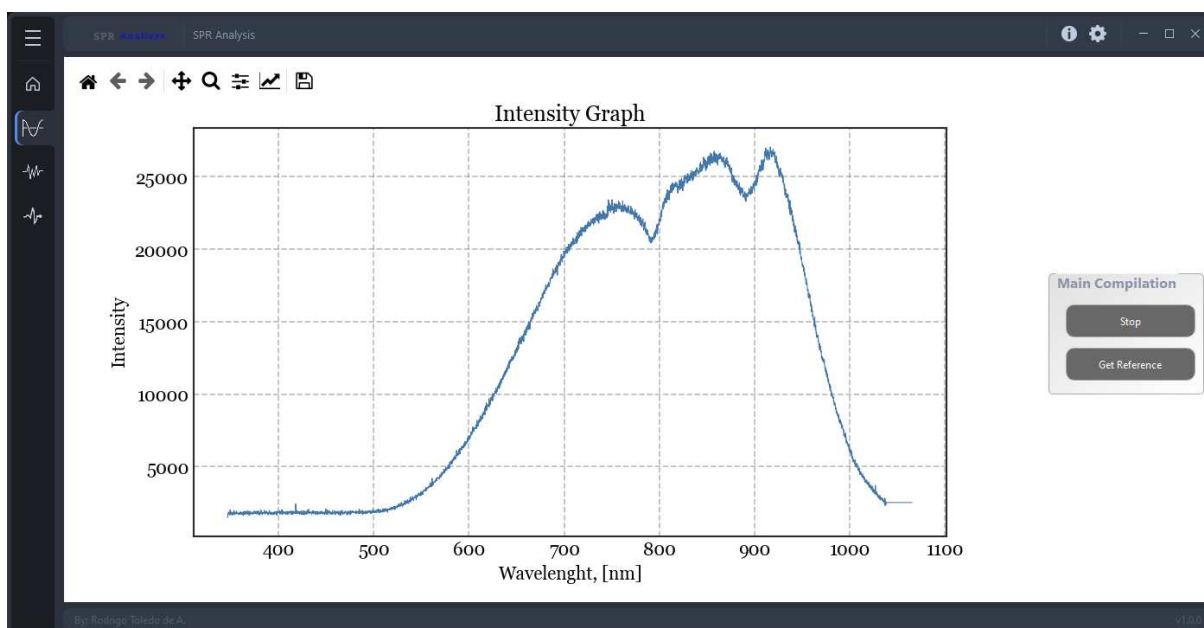
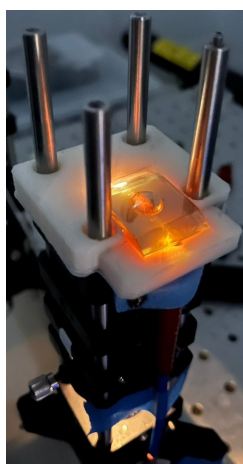


Figura 34 – Referência coletada no para a realização do experimento



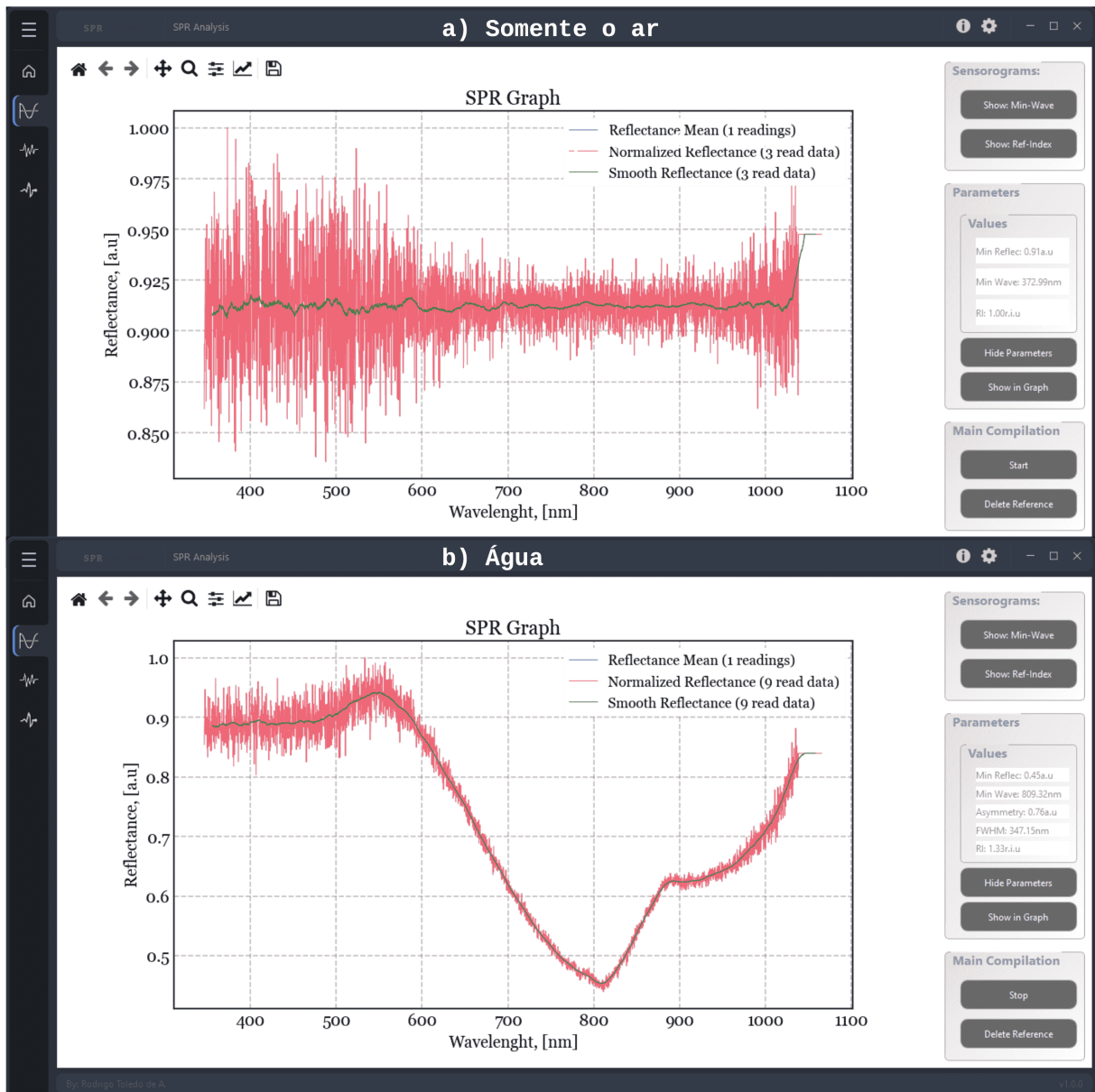
Fonte: Autoria própria.

Figura 35 – Exemplo de teste do PPBIO para um analito qualquer, realizado no experimento.



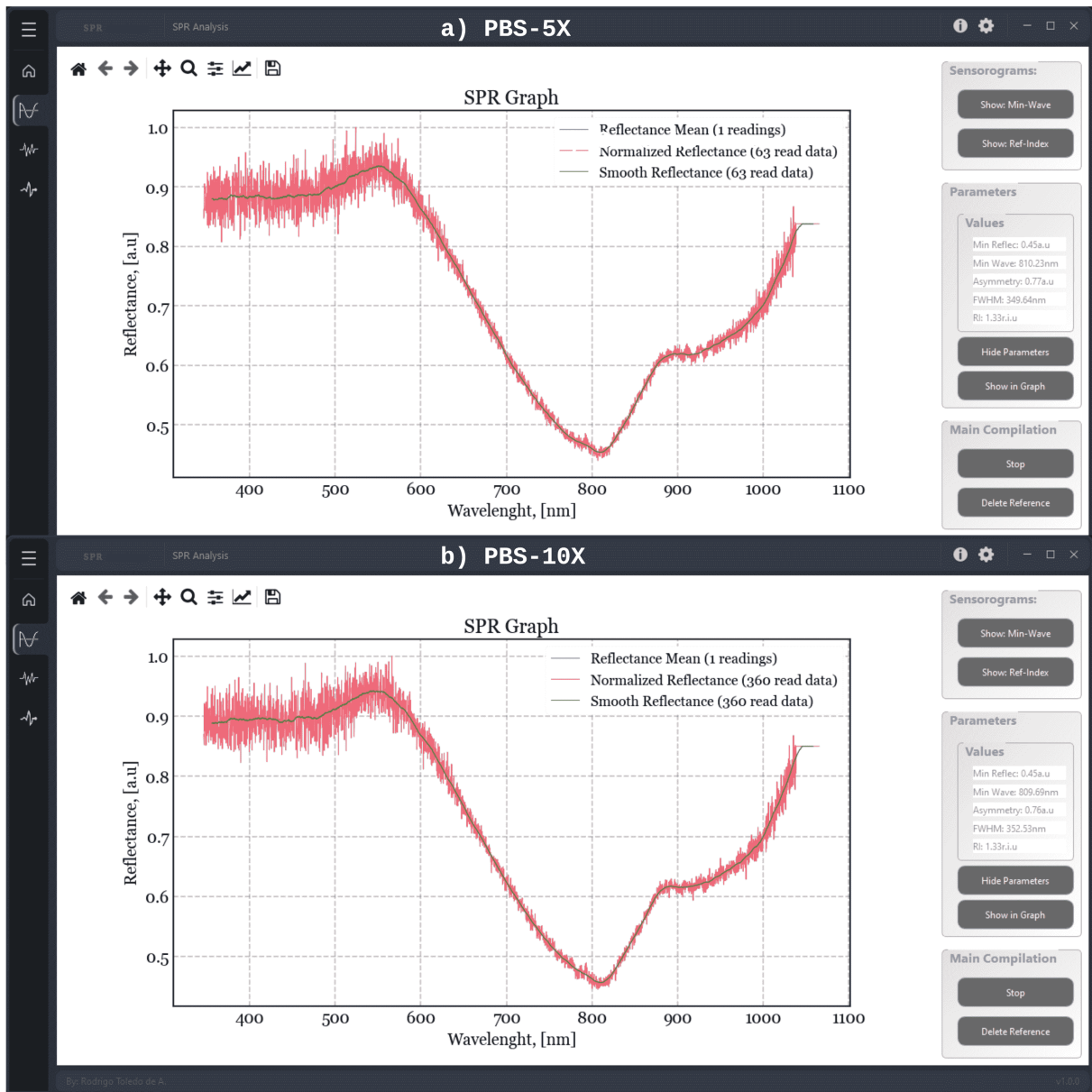
Fonte: Autoria própria.

Figura 36 – Gráfico da curva SPR para apenas o ar e a água.



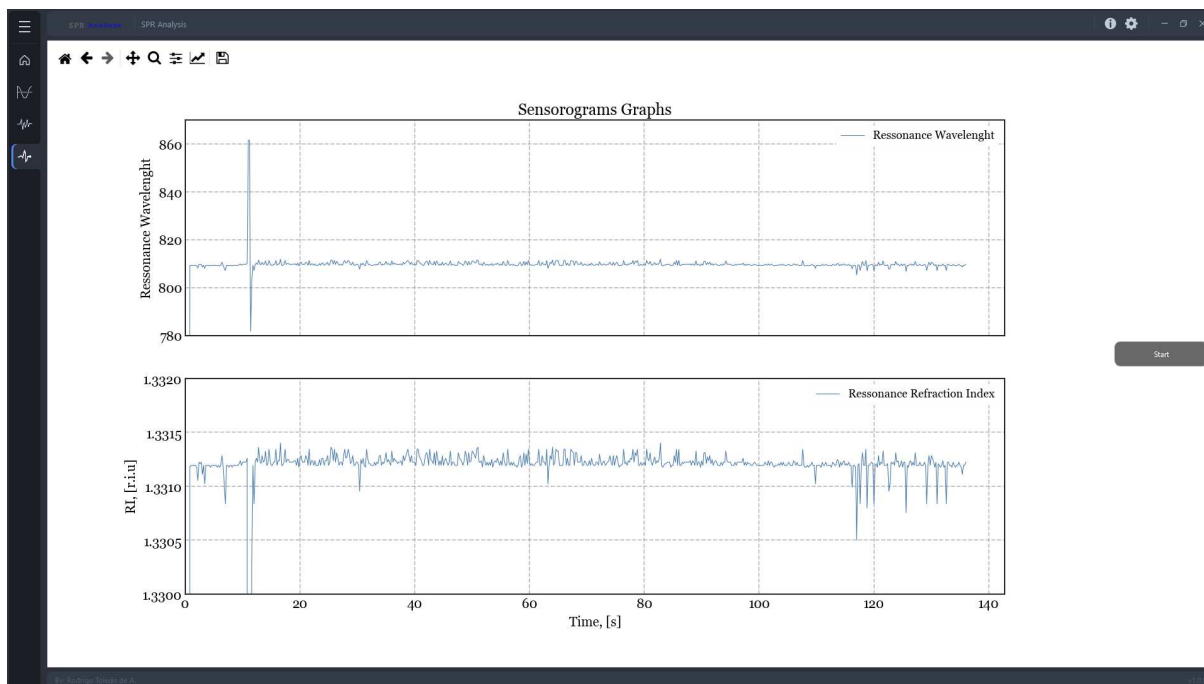
Fonte: Autoria própria.

Figura 37 – Gráfico da curva SPR para o PBS-5X e o PBS-10X.



Fonte: Autoria própria.

Figura 38 – Gráfico do sensograma após a conclusão do experimento.



Fonte: Autoria própria.

5 Manutenções e Monitoramentos

5.1 Manutenção de computadores

O serviço envolveu a manutenção de três computadores. Nesses computadores, os problemas identificados foram relacionados às fontes de alimentação, às memórias RAM e os HDs em que os sistemas operacionais estavam instalados. Dois dos computadores necessitaram da substituição da fonte de alimentação, enquanto todos eles precisaram ter suas memórias RAM trocadas e seus sistemas operacionais reinstalados.

A primeira etapa desse serviço foi identificar os computadores com defeito e diagnosticar a origem dos problemas. Após uma análise minuciosa, em conjunto com o técnico, Manoel, do DEE (Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG), constatou-se que os computadores estavam apresentando falhas devido às fontes de alimentação defeituosas. A solução para esses casos foi a substituição das fontes por modelos novos e de maior capacidade, garantindo assim um fornecimento de energia estável e adequado.

Além disso, todos os computadores passaram por uma atualização nas memórias RAM, pois a maioria apresentava defeito e não permitia o *boot* do computador. Além disso, essa medida foi tomada para melhorar o desempenho geral das máquinas, permitindo que os usuários pudessem executar suas tarefas de forma mais eficiente. A substituição das memórias RAM foi cuidadosamente realizada, garantindo a compatibilidade com cada computador e instalando módulos de memória com maior capacidade e velocidade.

Entretanto, para o terceiro computador, além das substituições descritas anteriormente, foi necessário remodelar o gabinete para acomodar todos os componentes de forma adequada. A Figura 39 apresenta o gabinete a ser remodelado e processo de remodelação. Esse processo envolveu 4 etapas para a adaptação de uma tampa. Após a remodelação, o computador estava pronto para receber o sistema operacional.

Nesse caso específico, foi decidido instalar o sistema operacional Ubuntu Linux, que é conhecido por sua estabilidade, segurança e facilidade de uso. A instalação foi feita de forma cuidadosa, configurando corretamente as opções e garantindo que todos os drivers e pacotes necessários estivessem presentes. Após a conclusão da instalação, o computador estava pronto para ser utilizado com o Ubuntu Linux.

Já nos outros dois computadores, decidiu-se realizar a instalação de um sistema operacional dual boot, permitindo que os usuários pudessem escolher entre o Ubuntu Linux e o Windows durante o processo de inicialização. Essa configuração foi implementada com sucesso, garantindo que ambos os sistemas operacionais estivessem prontos para uso. A Figura 40, apresenta a tela de opção de *dual boot* ao ligar o computador.

Após a conclusão de todo o serviço de manutenção, os três computadores foram testados para verificar se todos os problemas foram solucionados. As Figuras 41, 42 e 43 apresentam a configuração final dos computadores no laboratório.

5.2 Monitoramento de máquinas

5.2.1 Gerador

Durante o período de estágio, além das atividades citadas anteriormente, foram realizados testes em um gerador responsável por alimentar dois freezers em caso de falta de energia elétrica. Esse procedimento foi conduzido por um técnico experiente, Edgar, e o professor Antonio Marcus, enquanto eu desempenhei o papel de auxiliar e registrar os resultados. As Figuras 44 e 45 apresentam o gerador e o prédio em que ele está localizado, respectivamente.

O objetivo principal desses testes era verificar se o gerador era acionado de forma adequada quando ocorria a interrupção do fornecimento de energia elétrica. Para simular essa situação, o técnico desligava intencionalmente o disjuntor responsável pela alimentação dos freezers, gerando uma falta de energia. A partir desse momento, era observado o funcionamento do gerador para confirmar foi ou não acionado corretamente.

Além do teste de acionamento, outros testes foram realizados para verificar o tempo de resposta do gerador. Nessas situações, o técnico programava interrupções de energia elétrica em intervalos específicos e cronometrava o tempo necessário para o gerador entrar em funcionamento e fornecer energia novamente aos freezers. Esses testes permitiam avaliar a capacidade de resposta do gerador diante de falhas elétricas e a sua eficiência em restabelecer o fornecimento de energia em um tempo aceitável.

Durante todos os testes, cada resultado era anotado, garantindo a precisão das informações e facilitando a análise posterior. Também mantinha um registro detalhado das condições de teste, como a data, horário, duração da falta de energia e qualquer observação relevante.

Foi constatado que o gerador passou em todos os testes realizados. Ele foi acionado prontamente em todas as situações de falta de energia elétrica simulada, fornecendo energia aos freezers sem interrupções significativas. Além disso, o tempo de resposta do gerador foi considerado satisfatório, garantindo a proteção dos produtos armazenados mesmo diante de falhas elétricas breves.

5.2.2 Freezer

Ainda no período de estágio, um dos freezers alimentados pelo gerador em casos de falta de energia apresentou um defeito. Esse freezer em particular é um ultra freezer, capaz

de atingir temperaturas extremamente baixas, chegando a -85 graus Celsius. No entanto, foi observado que a temperatura alcançada pelo freezer estava em torno de -40 graus Celsius, o que não era suficiente para atender às necessidades das amostras armazenadas, que exigiam temperaturas mais baixas. A Figura 46 apresenta um exemplo de amostras armazenadas no ultra freezer.

Diante dessa situação, foi decidido solicitar a visita de técnicos especializados para verificar a integridade do freezer e resolver o problema. Nesse sentido, como atividade do estágio, fez-se necessário acompanhar essa visita e aprender com os procedimentos realizados pelos técnicos.

Os técnicos avaliaram minuciosamente o freezer e identificaram a necessidade de levá-lo para reparo em sua loja especializada. Após um período de tempo, os técnicos retornaram com o freezer reparado, mas, infelizmente, constatou-se que o problema persistia, e a temperatura não estava sendo alcançada conforme necessário. Diante disso, foi solicitado que os técnicos retornassem para encontrar uma solução definitiva.

Os técnicos retornaram em alguns dias e realizaram modificações adicionais no freezer na tentativa de resolver a questão. No entanto, mesmo após as modificações, o freezer continuava sem funcionar adequadamente, e a temperatura não atingia os níveis necessários. Diante dessa nova constatação, os técnicos decidiram levar o freezer novamente para a loja, com o objetivo de realizar um reparo mais aprofundado. A Figura 47 apresenta uma destas visitas dos técnicos ao laboratório.

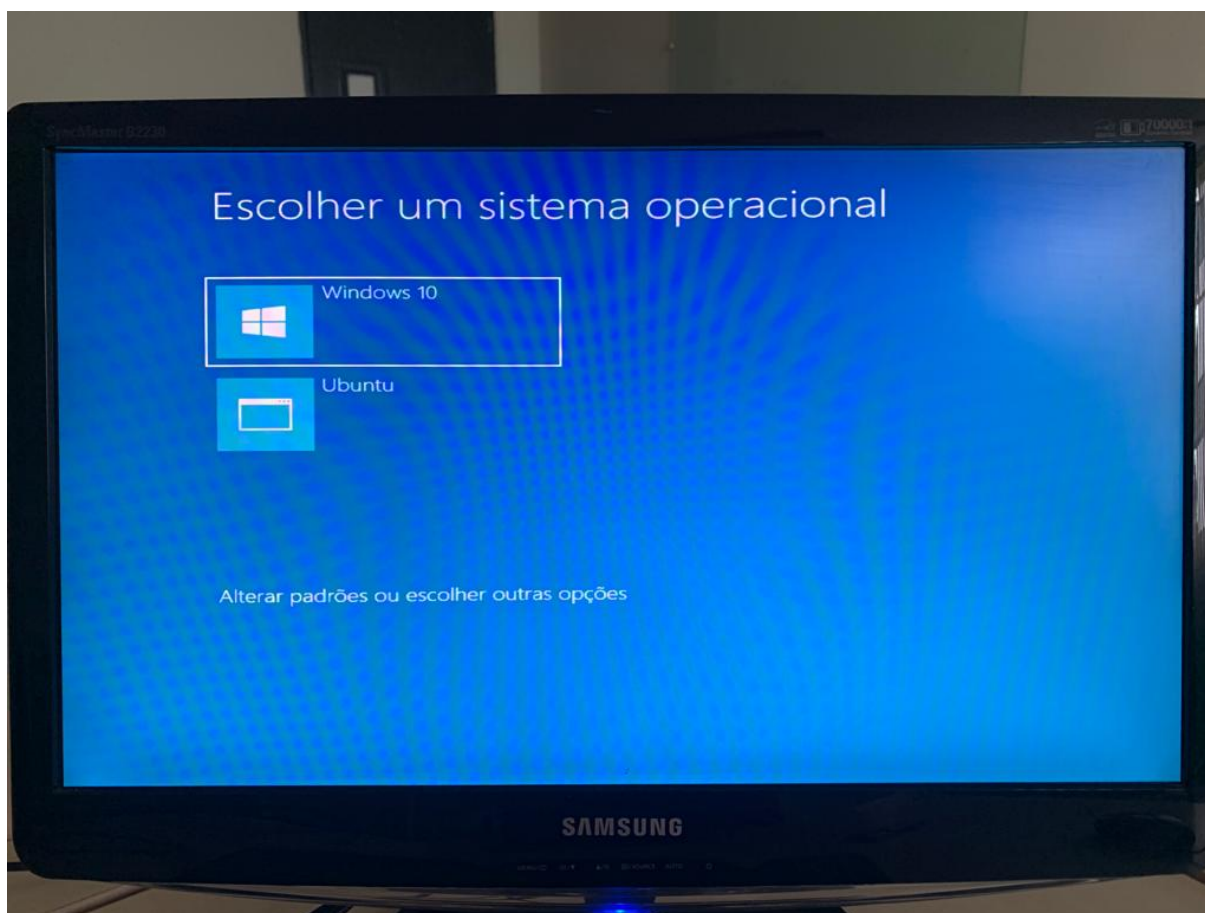
Embora o problema do freezer não ter sido solucionado até o momento o fim do período de estágio, essa situação ressaltou a importância de contar com técnicos especializados e a necessidade de explorar todas as opções para resolver problemas complexos.

Figura 39 – Diagrama de blocos do processo de remodelagem de uma tampa para computador.



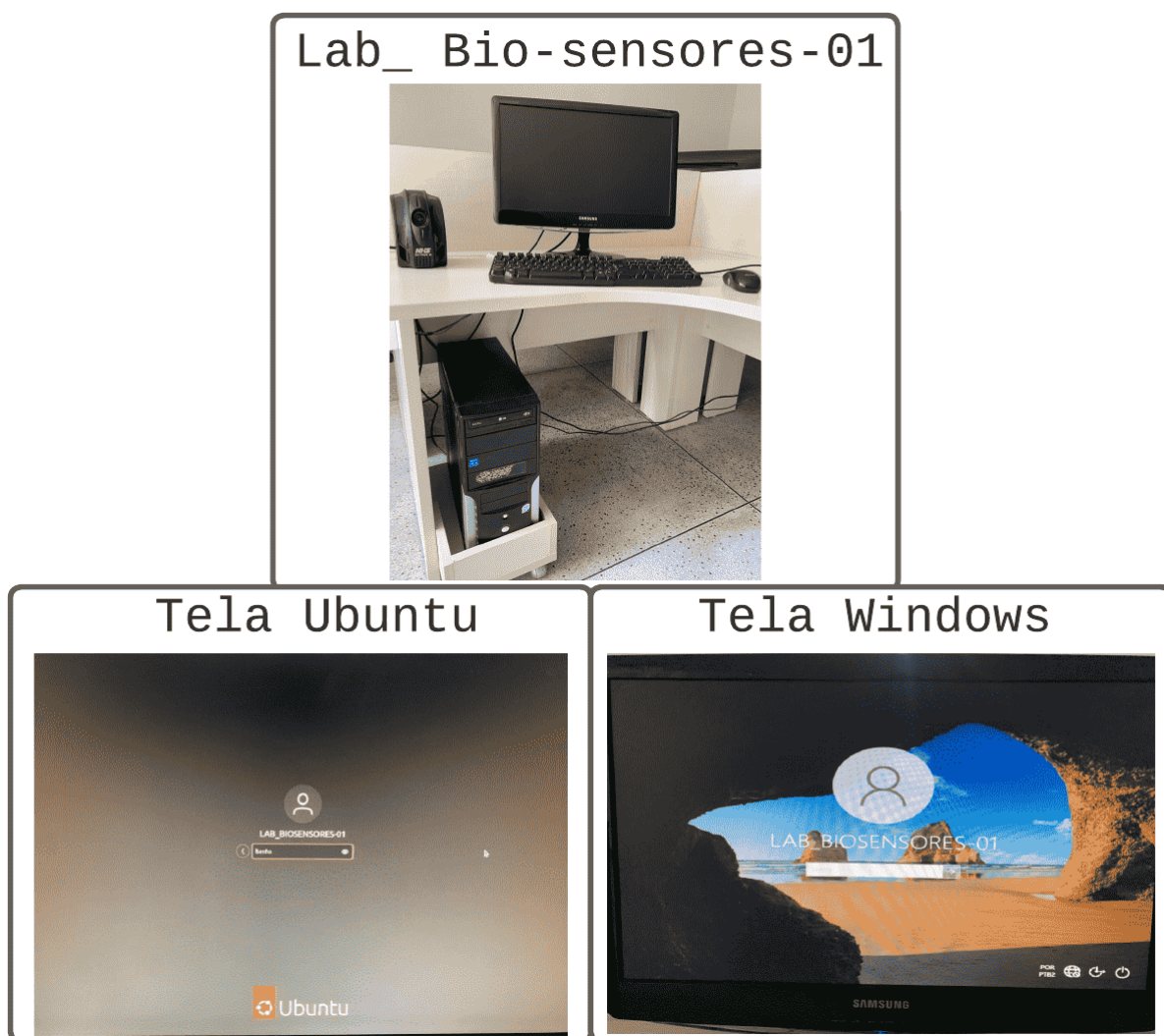
Fonte: Autoria própria.

Figura 40 – Tela inicial ao ligar-se o computador. Esta é utilizada para escolher entre os sistemas operacionais: *Windows* ou *Ubuntu Linux*.



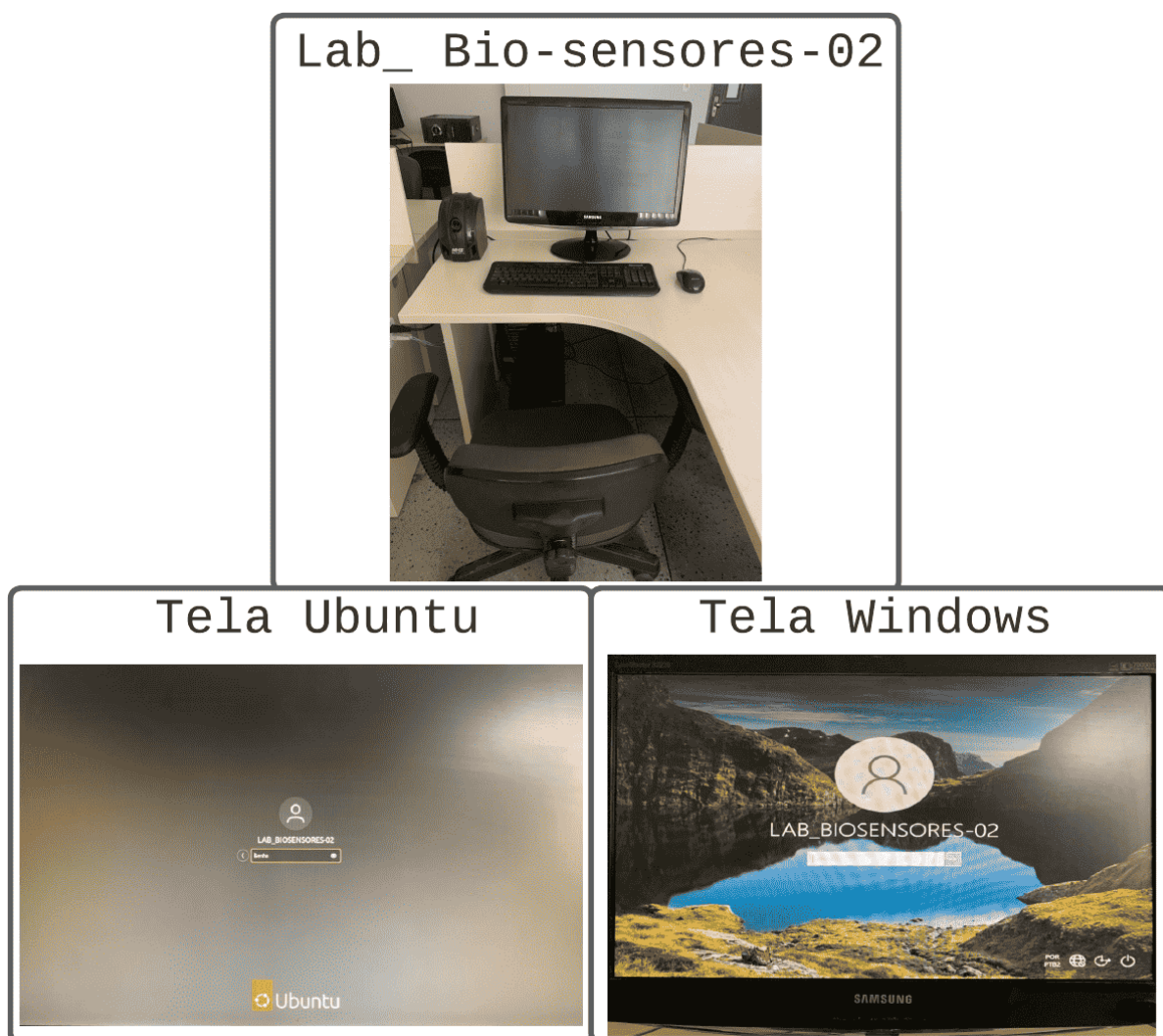
Fonte: Autoria própria.

Figura 41 – Configuração final do computador com usuário intitulado de "lab-biosensores-01".



Fonte: Autoria própria.

Figura 42 – Configuração final do computador com usuário intitulado de "lab-biosensores-02".



Fonte: Autoria própria.

Figura 43 – Configuração final do computador com usuário intitulado de "lab-biosensores-03".



Fonte: Autoria própria.

Figura 44 – Gerador e seu sistema de controle.



Fonte: Autoria própria.

Figura 45 – Foto do prédio em que o gerador está localizado.



Fonte: Autoria própria.

Figura 46 – Exemplo de amostras armazenadas no ultra freezer.



Fonte: Autoria própria.

Figura 47 – Visita dos técnicos ao laboratório.



Fonte: Autoria própria.

6 Considerações Finais

O presente documento contempla as atividades realizadas durante o estágio supervisionado, componente curricular do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Alcançando os objetivos específicos e principal propostos, o estágio tem como resultado o *software* de análise do fenômeno SPR, além do conjunto de manutenções e monitoramentos em computadores, equipamentos e máquinas presentes no laboratório e-BIOS.

O *software*, possuindo uma interface gráfica de fácil utilização, permite que os futuros usuários realizem aferições e análises do fenômeno SPR para diferentes analitos e configurações experimentais.

A partir dos resultados obtidos na Seção 4, infere-se que o *software* desenvolvido permite a aquisição dos dados por meio do espectrômetro, e a análise desses dados para diferentes configurações experimentais, gerando-se, assim, resultados satisfatórios de curvas SPR, sensogramas e parâmetros de interesse, como o RI.

A experiência de manutenção em três computadores, permitiu o aprimoramento de habilidades técnicas e expertise em solucionar problemas relacionados a hardware e software, visto que os computadores foram devolvidos aos usuários finais em perfeito estado de funcionamento, prontos para atender às suas necessidades diárias.

Ao realizar-se o processo de testes do gerador, pode-se verificar a importância de um gerador de energia em situações críticas. Foram desenvolvidas habilidades de observação e registros precisos, bem como a relevância de documentar todas as etapas de um procedimento de teste. Essa experiência mostrou-se um aprofundamento de cunho profissional no campo da manutenção e segurança elétrica.

A partir da experiência do acompanhamento da manutenção do freezer, permitiu-se compreender a complexidade envolvida na manutenção de equipamentos especializados, bem como a importância de persistir na busca por soluções efetivas.

Por fim, espera-se que o projeto motive novas implementações e contribua para o estudo nas áreas de Bio-sensores, processamento da informação e desenvolvimento de software.

Referências

- FALQUETO, A. *Estudo e implementação de um biossensor de Ressonância de Plásmons de Superfície baseado em smartphone*. Dissertação (Mestrado), 2019. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- FILHO, C. A. de S.; LIMA, A. M.; NEFF, H. Smartphone based, portable optical biosensor utilizing surface plasmon resonance. In: IEEE. *2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*. [S.l.], 2014. p. 890–895. Citado na página 19.
- HOMOLA, J.; YEE, S. S.; GAUGLITZ, G. Surface plasmon resonance sensors. *Sensors and actuators B: Chemical*, Elsevier, v. 54, n. 1-2, p. 3–15, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- MOREIRA, C. d. S. et al. Projeto e realização de um biochip óptico para aplicações biológicas baseado no princípio de ressonância de plásmons de superfície. Universidade Federal de Campina Grande, 2010. Citado na página 20.
- OLIVEIRA, L. C. *SISTEMA COMPUTACIONAL PARA BIOSSENSOR BASEADO NA RESSONANCIA DE PLASMA DE SUPERFICIE*. [S.l.], 2011. Acesso em: 14 jun. 2023. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/7493>>. Citado 4 vezes nas páginas 19, 20, 22 e 23.
- OLIVEIRA, L. C. et al. *Surface plasmon resonance sensors: a materials guide to design and optimization*. [S.l.]: Springer, 2015. Citado na página 19.
- OLIVEIRA, L. C. et al. *Surface plasmon resonance sensors: a materials guide to design, characterization, optimization, and usage*. [S.l.]: Springer, 2019. v. 70. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.
- PEREIRA, E. G. et al. Improved data extraction algorithm for biosensors utilizing surface plasmon resonance sensing. In: IEEE. *2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*. [S.l.], 2014. p. 1105–1110. Citado na página 18.
- THÉVENOT, D. R. et al. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Analytical Letters*, Taylor & Francis, v. 34, n. 5, p. 635–659, 2001. Citado na página 19.