



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Iara Cristina Martins de Sousa

**Laboratório de Fontes Renováveis de Energia – Universidade
Federal de Campina Grande.**

Relatório de Estágio Supervisionado

Campina Grande – PB
Dezembro - 2019

Iara Cristina Martins de Sousa

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de estágio supervisionado apresentado à Coordenação de Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: João Batista Morais dos Santos

Campina Grande – PB
Dezembro de 2019

Iara Cristina Martins de Sousa

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de estágio supervisionado apresentado à Coordenação de Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em: Campina Grande - PB, / /

João Batista Morais dos Santos, UFCG
Professor Orientador

Benedito Antonio Luciano, UFCG
Professor Avaliador

Campina Grande – PB
Dezembro de 2019

Dedico este trabalho a Deus, que me deu forças diariamente nesta árdua jornada. E acima de tudo agradeço a meus pais e irmão por todo o apoio incondicional.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

Nikola Tesla

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus e a Nossa Senhora por toda interseção e força ao longo de toda essa jornada de formação, sem as suas presenças em minha vida não seria possível concluir essa etapa.

A minha mãe Maria das Graças e meu pai Clovis, sou eternamente grata, pois não mediram esforços para que eu pudesse ter uma educação de qualidade, abdicando de várias coisas para me permitir seguir meus sonhos. Todos os momentos de apoio diante dos obstáculos que enfrentei mostram o quanto sou abençoada por possuí-los como pais.

Ao meu irmão Cássio Levi, por todos os momentos de descontração e de apoio ao longo de todos estes anos e as minhas tias, em especial Gilvanisa, Nalva e Gerlane por também não medirem esforços para me apoiar.

Não poderia deixar de agradecer ao professor João Batista Morais do Santos, por toda ajuda nas etapas da construção deste trabalho.

Deixo também meus agradecimentos aos meus amigos – Matheus, Maura, Laís, Jeovana, Shênia e tantos outros – adquiridos ao longo do curso e da vida. Um obrigado em especial para Melissa, Karen, Nathalia e Fernanda, vocês fizeram mais leves alguns dos momentos mais difíceis pelos quais passei, sou muito grata por tudo meninas.

Por fim, a toda minha família e todos que contribuíram de forma direta ou indireta que não foram citados, explicitamente, mas sem os quais não seria possível concluir essa etapa final.

Resumo

Neste trabalho estão apresentadas as atividades desenvolvidas pela aluna Iara Cristina Martins de Sousa na disciplina Estágio Supervisionado no Laboratório de Fontes Renováveis de Energia na Universidade Federal de Campina Grande. No estágio foram desenvolvidas atividades como a documentação dos equipamentos que compõem o sistema de geração de energia elétrica com uma célula combustível. Foram desenvolvidos diagramas de blocos do sistema completo, como também do painel de controle e do sistema de compressão, a planta elétrica do sistema atual e uma planta elétrica com especificações sugeridas, juntamente com os quadros de carga da instalação. Também foi desenvolvido um manual de operação da célula combustível, com a validação do mesmo com um experimento.

Palavras chave: Célula Combustível, Hidrolisador, Sistema de Compressão, Energia.

Abstract

This academic work presents the activities developed by the student Lara Cristina Martins de Sousa in the Supervised Internship discipline at the Laboratory of Renewable Energy Sources at the Federal University of Campina Grande. The internship included activities such as documentation of the equipment that makes up the electricity generation system with a fuel cell. Block diagrams have been developed for the complete systems, as well as the control panel and compression system. Current and suggested system electrical plans and the load frames of the installation. A fuel cell operating manual was also developed, validating it with an experiment.

Keywords: Fuel Cell, Hydrolyser, Compression System, Energy.

Lista de Figuras

Figura 1 – Instalações e ambiente do laboratório	4
Figura 2 – Instalações e ambiente do laboratório	4
Figura 3 – Instalações e ambiente do laboratório	4
Figura 4 – Representação da eletrólise da água	6
Figura 5 – Esquema de um eletrolisador do tipo PEM	8
Figura 6 – Esquema da célula combustível.....	9
Figura 7 – Fluxograma de blocos das atividades propostas	10
Figura 8 – Google Drive das atividades	13
Figura 9 – Trello	14
Figura 10 – Reator Eletrolítico	15
Figura 11 – Sistema de compressão	16
Figura 12 – Cilindros externos	16
Figura 13 – Célula combustível.....	17
Figura 14 – Painel de controle.....	18
Figura 15 – Válvula de liberação da pressão	19
Figura 16 – Válvula CV003 80	21
Figura 17 – Regulador de pressão	22
Figura 18 – Botão On/Off da célula combustível	22
Figura 19 – Nível de hidrogênio nos cilindros, em L/min.....	24
Figura 20 – Carga ligada com a célula combustível.....	24
Figura 21 – Potência gerada com as placas solares e o sistema com as placas e a célula combustível.....	25
Figura 22 – Valores de tensão e de corrente obtidos no sistema.....	26
Figura 23 – Valores de corrente e de fluxo obtidos no sistema.....	26
Figura 24 – Variação dos valores de corrente e de tensão.....	27
Figura 25 – Nível de hidrogênio ao fim do experimento.....	37

Lista de Quadros

Quadro 1 – Descrição das Atividades	11
---	----

Lista de Abreviações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DR	Disjuntor Residual Diferencial
LABFREN	Laboratório de Fontes Renováveis de Energia
PEM	<i>Proton Exchange Membrane</i>
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

Sumário

1. Introdução.....	2
1.1. Objetivos Gerais.....	3
1.2. Objetivos Específicos.....	3
2. Ambiente do Estágio.....	4
3. Fundamentação Teórica.....	6
3.1. Hidrogênio.....	6
3.2. Eletrólise da Água.....	6
3.3. Eletrolisadores.....	7
3.3.1. Eletrolisador PEM.....	7
3.4. Célula Combustível.....	8
4. Atividades Realizadas.....	10
4.1. Planejamento das Ações.....	10
4.2. Desenvolvimento das Ações.....	12
4.2.1. Início das Atividades.....	12
4.2.2. Funcionamento do Sistema com a Célula Combustível.....	14
4.2.3. Elaboração das Plantas Elétricas.....	19
4.2.4. Manual de Operação da Célula Combustível.....	20
4.2.5. Observações Durante o Funcionamento da Unidade.....	23
4.2.6. Acompanhamento de um Experimento com a Célula Combustível....	23
5. Conclusão.....	28
6. Referências.....	29
Apêndice A.....	31
Anexos.....	33

1. Introdução

Neste relatório estão descritas as atividades que foram desempenhadas na disciplina de Estágio Supervisionado. O estágio teve 180 horas de duração e foi realizado no Laboratório de Fontes Renováveis Energia (LABFREN) - UFCG, durante o período de 26 de agosto de 2019 até 28 de novembro de 2019, sob orientação do professor João Batista Moraes dos Santos e a supervisão do professor Antônio Marcus Nogueira Lima.

O referido laboratório faz parte do Departamento de Engenharia Química da UFCG e alguns de seus projetos estão diretamente relacionados aos temas eficiência energética e energias renováveis. Um destes projetos é sobre a geração (conversão) de eletricidade a partir de uma célula combustível. A maior motivação para a execução desse estágio é o de integração entre os departamentos de engenharia elétrica e o de engenharia química com intuito de atuação conjunta no projeto.

Tendo em vista a demanda crescente por energia, novos meios e fontes de gerar eletricidade precisam ser estudados e analisados. Neste contexto, estudos como os que estão sendo viabilizados no LABFREN precisam de maior visibilidade. A inclusão de alunos de engenharia elétrica é mais um passo para amplificar o potencial do projeto.

Assim, são apresentados neste relatório as atividades que possibilitaram o estudo e entendimento do sistema de conversão de energia a partir de uma célula combustível. Foram feitas análises baseadas em controle analógico/digital, estudo das normas técnicas e apresentação de sugestões para melhoramento do sistema.

1.1. Objetivos Gerais

Estudo, aquisição de dados e apresentação de melhorias sobre o sistema de geração de energia elétrica a partir de uma célula combustível.

1.2. Objetivos Específicos

- Documentação dos equipamentos: manuais e especificações dos equipamentos.
- Desenvolvimento do diagrama de blocos do sistema estudado;
- Desenvolver as plantas elétricas, atual e nova sugerida, baseada nas normas da ABNT: lista dos equipamentos e quadro de cargas da instalação;
- Aprender como operar o sistema: elaboração de um manual de operação para o usuário.

2. Ambiente do Estágio

O Laboratório de Fontes Renováveis de Energia (LABFREN) compreende um ambiente de pesquisas e desenvolvimento no qual são realizadas atividades discentes no nível de graduação e pós-graduação. Este laboratório é um ambiente de testes no qual podem ser realizados experimentos relacionados as disciplinas e pesquisas acadêmicas.

As pesquisas são voltadas para o desenvolvimento em várias áreas da engenharia, incluindo a engenharia elétrica, com a utilização de energias renováveis, projeto de implantação de painéis fotovoltaicos para geração descentralizada, e o projeto de geração de energia a partir de células combustíveis.

O LABFREN conta com vários laboratórios, porém o de interesse para este relatório é o que fica na sala C2. Esta sala contém todo o sistema que foi estudado, que configura em um reator eletrolítico, sistema de compressão e painel de controle, a célula combustível, fonte de tensão e um inversor de tensão.

Nas Figuras 1, 2 e 3 pode-se observar as instalações e o ambiente que compõem o laboratório.

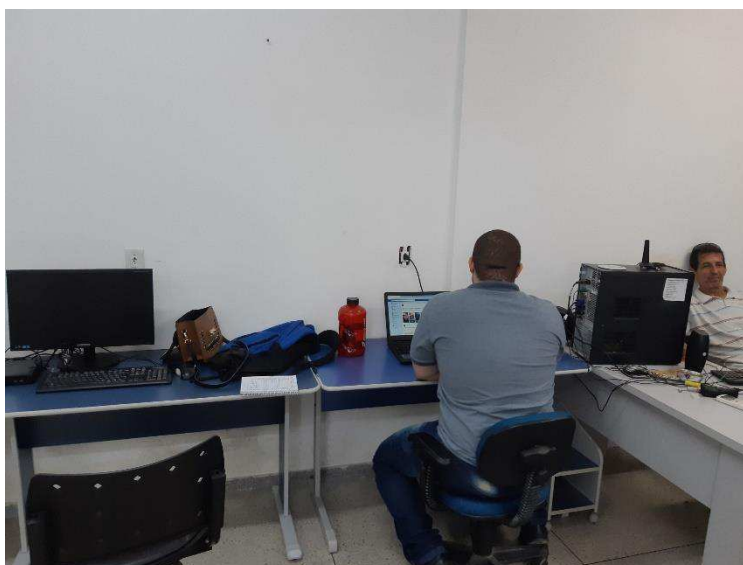


Figura 1 - Instalações e ambiente do laboratório



Figura 2- Instalações e ambiente do laboratório

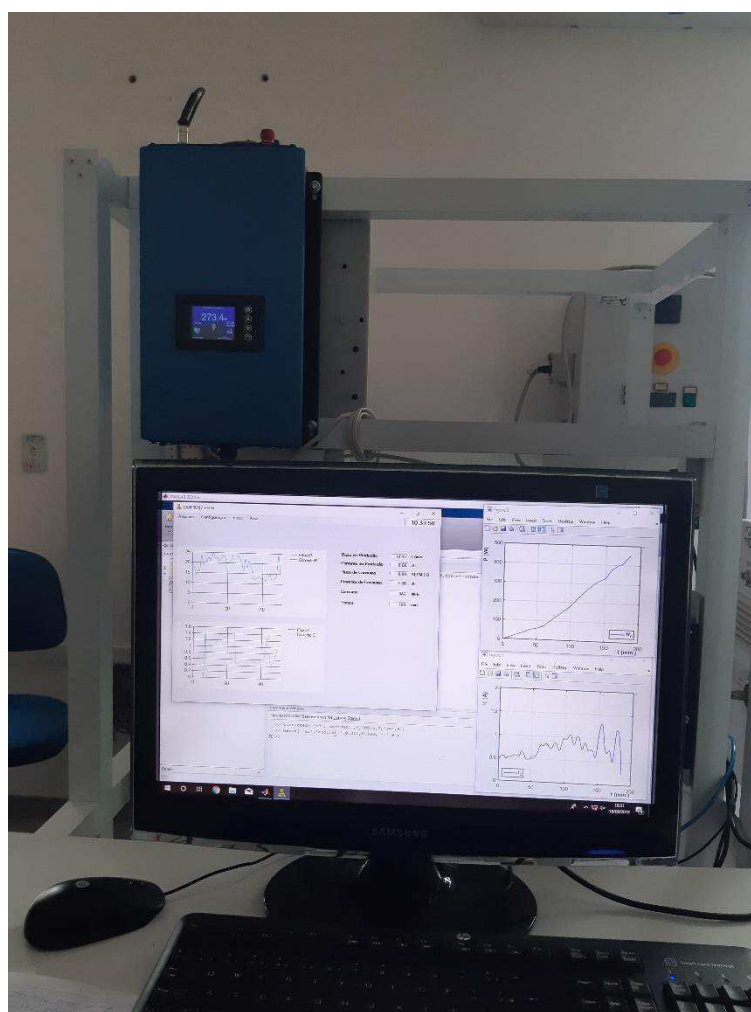


Figura 3 - Instalações e ambiente do laboratório

3. Fundamentação Teórica

3.1. Hidrogênio

O Hidrogênio é o elemento químico mais abundante de todo o universo. De uma forma geral, participa da composição de diversos tipos de substâncias orgânicas e inorgânicas. Quando não participa de substâncias químicas, ele é encontrado exclusivamente na forma molecular (dois átomos de hidrogênio ligados por uma ligação covalente simples), cuja fórmula é H_2 .

Neste contexto, o hidrogênio surge no cenário socioeconômico como uma fonte de energia eficiente, capaz de integrar-se ao sistema energético atual. Assim como a eletricidade, o hidrogênio pode ser produzido a partir de todas as fontes de energia, como a biomassa, energia eólica e solar e combustíveis.

O hidrogênio pode ser caracterizado como uma possibilidade mais limpa e versátil, com a possibilidade de suprir cargas como: iluminação, refrigeração, comunicação, processamento de informação e transporte.

3.2. Eletrólise da Água

De modo simplificado, a eletrólise da água é o processo de dissociação das moléculas da água através da utilização de uma corrente elétrica. Esta corrente passa por dois eletrodos e quebra a molécula da água, tendo como produto gás hidrogênio e oxigênio. Na Figura 4, pode-se observar a representação da eletrólise.

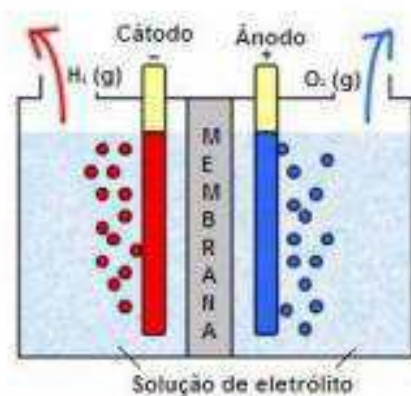


Figura 4: Representação da eletrólise da água.
Fonte: Adaptado de [1].

Uma corrente elétrica com uma força eletromotriz de no mínimo 1,229, que é o potencial ideal de decomposição, ou o potencial reversível da eletrólise. Essa corrente passa do eletrodo negativo para o positivo. Desta forma um fluxo de elétrons é mantido para o cátodo, onde os mesmos são consumidos pelos íons de hidrogênio formando gás hidrogênio. Os elétrons utilizados no cátodo têm origem dos íons hidroxila que são formados no ânodo [2].

3.3. Eletrolisadores

Um eletrolisador é um dispositivo eletroquímico que tem como principal função dissociar as moléculas de água em seus elementos constituintes, os gases oxigênio e hidrogênio. Quanto maior a corrente que percorrer o sistema, maior será o volume de gás produzido. Contudo, deve-se atentar para os limites de saturação da solução do eletrólito, ou limites impostos pelos equipamentos.

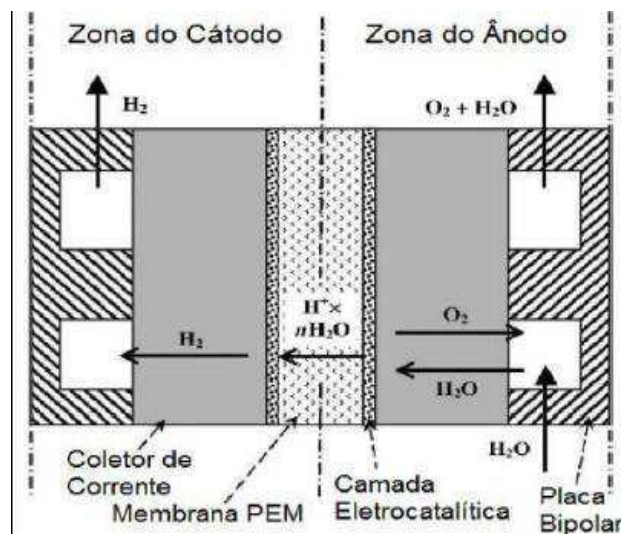
Este equipamento é um dos instrumentos utilizados para obter gás hidrogênio. Atualmente, os eletrolisadores são empregados em sistemas que tem por objetivo serem fontes alternativas de geração de energia e são utilizados em conjunto com células combustíveis. Existem diversos tipos de tecnologia empregados nesse processo, mas a que será abordada neste trabalho é a tecnologia PEM (*Proton Exchange Membrane*).

3.3.1. Eletrolisador PEM

A base típica dos eletrolisadores PEM é a utilização da platina negra, irídio, rutênio e ródio para as camadas catalíticas dos eletrodos e membranas poliméricas finas de Nafion, que servem como um separador de gás [3].

Na Figura 5, está representado esquematicamente um eletrolisador PEM. Nessa tecnologia, a alimentação é feita no ânodo, onde ela é decomposta em oxigênio, prótons e elétrons. Os prótons são transportados por meio de uma membrana que permite a passagem dos mesmos até o cátodo, onde eles são recombinados com os elétrons e tem-se a formação do gás hidrogênio [4].

Figura 5: Esquema para um eletrolisador do tipo PEM.



Fonte: Adaptado de [5].

3.4. Célula Combustível

A primeira célula combustível foi desenvolvida em 1839, pelo físico inglês William Grove. A partir dos conhecimentos eletroquímicos, Grove sabia que ao aplicar uma corrente elétrica na água, era possível isolar hidrogênio e oxigênio. Então concluiu que o processo reverso, poderia gerar água e energia elétrica [5].

Em 1889 os cientistas Ludwig Mond e Charles Langer nomearam este dispositivo de célula combustível, pesquisando aplicações práticas para a mesma, sem obter êxito. A primeira aplicação da célula combustível foi encontrada em 1959, quando Thomas Bacon utilizou a invenção de Grove para alimentar uma máquina de solda de 5 kW. No entanto, as aplicações de maior importância iniciaram-se nos projetos Apollo e Gemini da Agência Espacial dos Estados Unidos, a NASA.

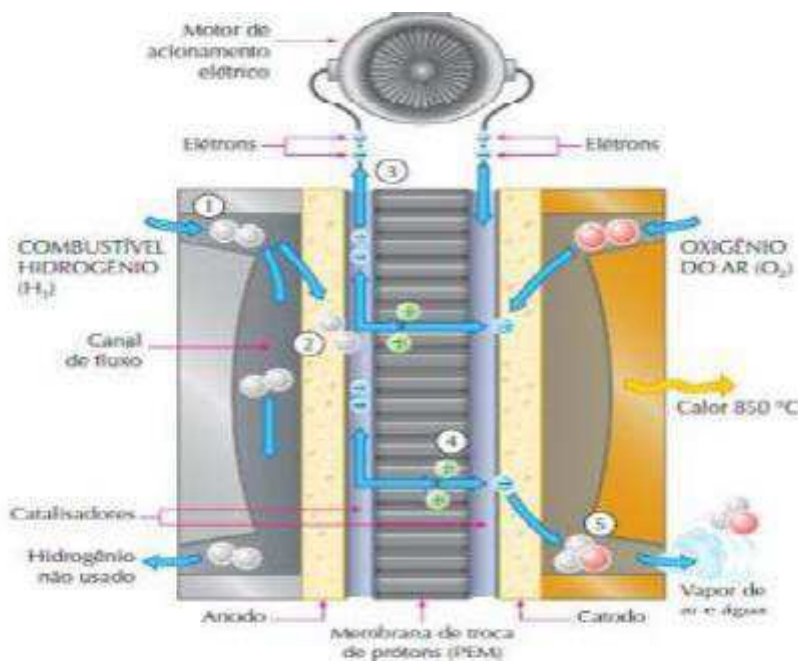
A célula combustível é um dispositivo eletroquímico, no qual realiza-se a transformação da energia química contida no hidrogênio em energia elétrica. Tem-se como resultado desse processo, além de energia elétrica, calor e água deionizada. Contudo é necessário fornecer como insumo, para a célula um

combustível e um comburente, que no desenvolvimento deste trabalho, são hidrogênio e oxigênio, respectivamente [6].

Segundo [2], a elevada eficiência de conversão das células combustíveis torna este elemento químico bastante promissor em comparação com alternativas de geração elétrica baseados em combustíveis fósseis, pois este processo não é só livre de poluentes e gases de efeito estufa, mas também utiliza consideravelmente menos energia primária para produção do mesmo.

Pode-se observar, na Figura 6, representação do esquema de uma célula combustível.

Figura 6: Esquema da célula combustível.



Fonte: Adaptado de [7].

4. Atividades Realizadas

Durante a vigência do estágio diversas atividades foram executadas com o intuito de realizar o que foi proposto nos objetivos específicos. Para tanto, foi desenvolvido um planejamento temporal e impostas metas para realização das atividades.

Algumas ferramentas como fluxogramas foram utilizadas. Realizar um planejamento, mesmo que de forma simplificada, auxilia na obtenção dos resultados desejados e no controle do tempo.

4.1. Planejamento das Ações

Planejamento do Estágio Supervisionado, Figura 7, baseado na execução das atividades no LABFREN.

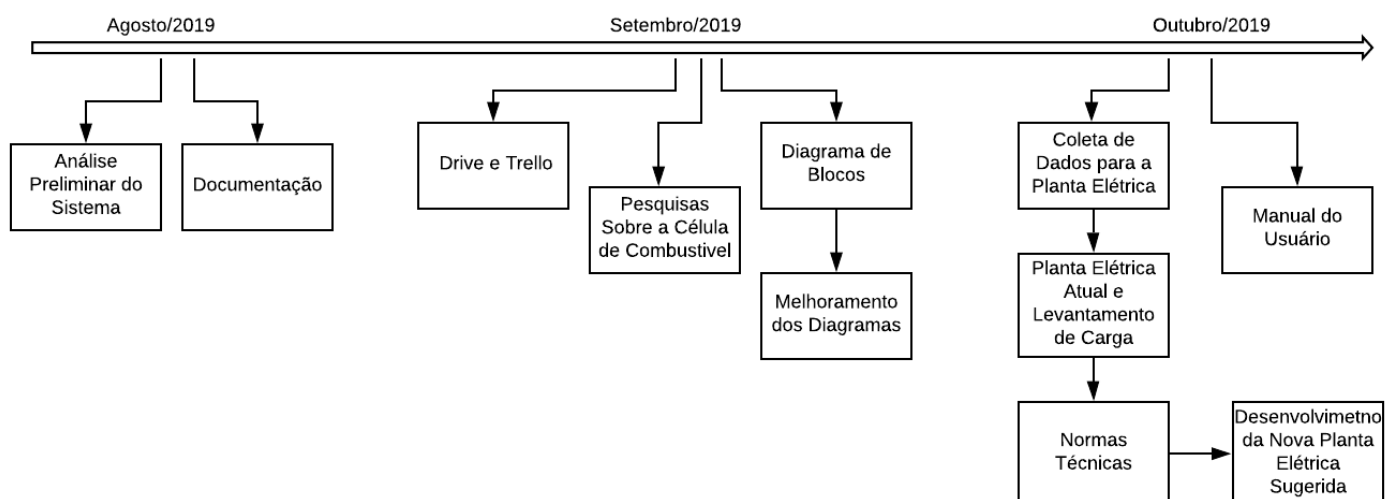


Figura 7: Fluxograma de blocos das atividades propostas.

A descrição de todas as atividades pode ser vista no quadro 1.

Quadro 1 – Descrição de todas as atividades desenvolvidas.

Fonte: Elaboração Própria.

	Descrição das Atividades
Agosto	<ul style="list-style-type: none"> • Análise Preliminar do Sistema: início efetivo das atividades com a familiarização do ambiente de trabalho. • Documentação: levantamento dos dados do sistema e de todos os equipamentos e instrumentos existentes no laboratório: teses, fotografias, especificações e a aquisição dos manuais de cada equipamento.
Setembro	<ul style="list-style-type: none"> • Drive e Trello: depois do levantamento de dados, criação de um espaço para guardar as informações adquiridas no Google Drive [8]. E uso de uma ferramenta para auxílio no cumprimento das atividades propostas, a ferramenta escolhida foi o Trello [9]. • Pesquisas Sobre a Célula de Combustível: leitura de e pesquisa de trabalhos que fundamentem o entendimento da célula. • Diagrama de Blocos: elaboração dos diagramas de bloco associados ao sistema em questão. • Melhoramento dos Diagramas: iniciar pesquisa de novos equipamentos que possam permitir acesso remoto ao sistema.
Outubro	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados para elaboração das plantas elétrica: obtenção das medidas do laboratório e vistoria nas instalações elétricas. • Planta Elétrica Atual e Levantamento de Carga: desenvolvimento da planta elétrica do sistema atual e estudo de carga.

	<ul style="list-style-type: none">• Normas Técnicas: leitura das normas técnicas da ABNT para adequação do ambiente de trabalho.• Desenvolvimento da planta elétrica sugerida: baseado nas normas da ABNT adequar toda a instalação as recomendações normativas, com especificações de segurança e inclusão de novos equipamentos.• Manual do Usuário: elaboração de um manual do usuário para disponibilizar publicamente.
--	--

4.2. Desenvolvimento das Ações

Para o desenvolvimento das atividades foi implantado um processo de acompanhamento no Trello, que pudesse ser realizado de maneira eficaz. Esse processo era atualizado semanalmente e foi compartilhado com o professor orientador, de modo que além de melhorar a comunicação, poderia servir para sanar dúvidas e discutir progressos realizados no decorrer do estágio.

4.2.1. Início das Atividades

No intuito de iniciar as atividades de aprendizado para operação do sistema de geração de energia a partir de uma célula combustível, foram iniciadas as primeiras ações dentro do LABFREN. A atividade inicial foi de familiarização com o ambiente de trabalho por meio de conversas com os técnicos responsáveis pelo laboratório. Em seguida, veio a documentação de todo os equipamentos do sistema e uma análise preliminar de toda a instalação do ponto de vista elétrico.

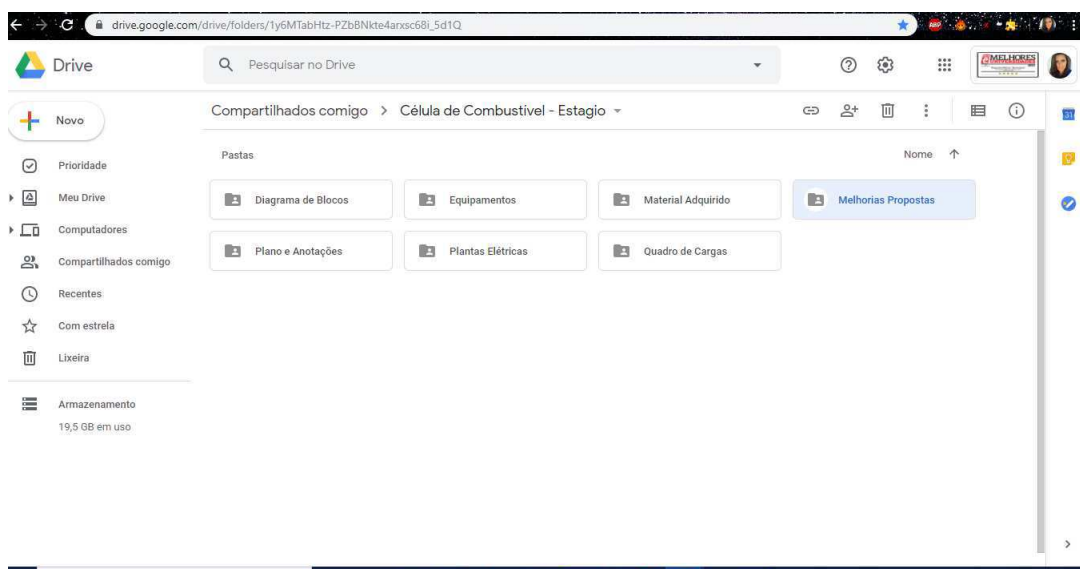
Todos os equipamentos foram documentados de forma fotográfica e posteriormente foi realizado uma pesquisa sobre cada um, com a finalidade de obter os manuais de instrução, o fabricante e todas as funcionalidades oferecidas

pelos mesmos. Todas estas informações podem ser encontradas em uma planilha do Excel disponível no link do Google Drive [8].

Foi necessária a criação de um ambiente onde se pudesse guardar todos os dados coletados, inclusive de material já existente desenvolvido por alunos de graduação e mestrado do curso de engenharia química.

A plataforma escolhida foi o Google Drive [8], Figura 8, onde foi possível organizar todo o material adquirido e os desenvolvidos no decorrer do Estágio Supervisionado. A intenção foi guardar tudo que fosse relevante sobre o sistema nesse espaço, para que qualquer aluno que deseje trabalhar ou executar alguma atividade dentro do laboratório possa contar com uma boa base de dados.

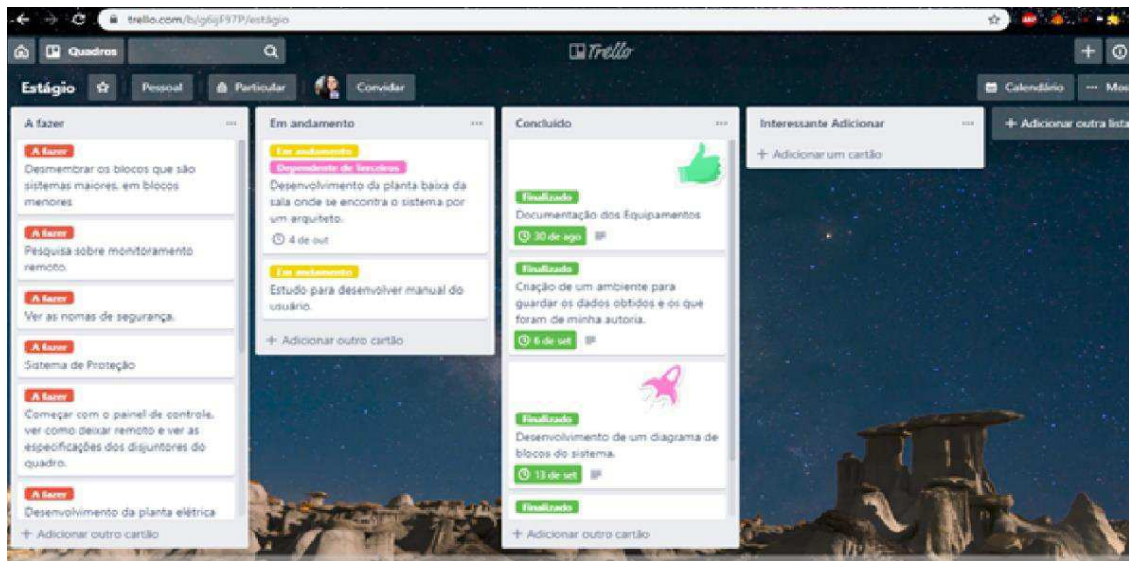
Figura 8: Google drive



Fonte: Elaboração própria

Para a melhor organização das tarefas, foi utilizada a ferramenta organizacional Trello [9]. Esta ferramenta possibilitou organizar a quantidade de tarefas a serem realizadas por semana e na continuidade de cada uma, foi possível dividir o processo em três etapas de execução: atividades que foram concluídas, as que estavam em andamento e as que ainda seriam iniciadas. Essa separação ajudou na fluidez de todo o processo do estágio. Na Figura 9, pode-se ver todo o desenvolvimento na ferramenta.

Figura 9: Trello



Fonte: Elaboração própria.

Com os documentos e manuais adquiridos, foram feitas pesquisas para compreensão do funcionamento da célula combustível. A partir disso foi possível desenvolver os diagramas de blocos explicando a sequência de funcionamento da geração de energia a partir da célula.

4.2.2. Funcionamento do Sistema com a Célula Combustível

O processo é iniciado com a utilização do reator eletrolítico Hy-PEM 024 fabricado pela H2Planet [10]. O eletrolisador é capaz de produzir hidrogênio com elevado grau de pureza e oxigênio como subproduto pela hidrólise da água.

Pode-se observar o reator eletrolítico na Figura 10.

Figura 10: Reator Eletrolítico.



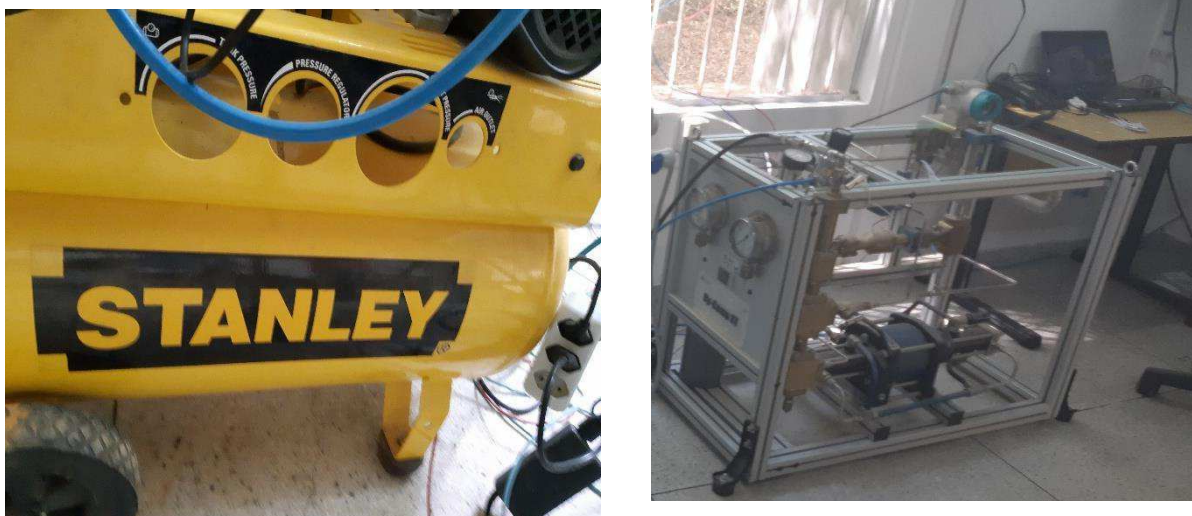
Fonte: Elaboração própria.

Como esse reator é composto por células eletroquímicas, o único líquido que pode ser utilizado é água deionizada, e precisa de monitoramento constante para o caso de necessidade de reposição.

O sistema de compressão usado neste sistema é o Hy – COMP XT [10] fabricado pela H2Planet, e é usado para aumentar a pressão de saída do hidrogênio obtido a partir do hidrolisador para que possa ser armazenado caso necessário.

Três tipos de equipamento são usados no sistema de compressão: um Booster que serve para elevar a pressão de saída do eletrolisador e armazenar o hidrogênio, um compressor para fornecer o ar comprimido para o Booster e um painel de controle que serve para o acionamento do sistema do reator juntamente com o compressor. Na Figura 11, são ilustrados os equipamentos componentes do sistema de compressão.

Figura 11: Sistema de Compressão.



Fonte: Elaboração própria.

Todo o hidrogênio proveniente do hidrolisador passa por um fluxometro, onde são medidos os níveis de pressão do hidrogênio para saber se é possível a realização do experimento. O fluxometro funciona em paralelo com o compressor para poder acionar o sistema de compressão do módulo.

Após o acionamento do sistema de compressão (Booster) uma parte do hidrogênio comprimido é armazenado em cilindros, Figura 12, existentes na parte exterior do laboratório, e é reservado pra utilização posterior, quando o sistema não despuser de água para retirar o hidrogênio necessário. O hidrogênio desses cilindros volta para o sistema em caso de necessidade. A parte restante do hidrogênio passa por um segundo fluxometro e por uma válvula de controle que possibilita expurgar parte do gás se a pressão for maior que a devida.

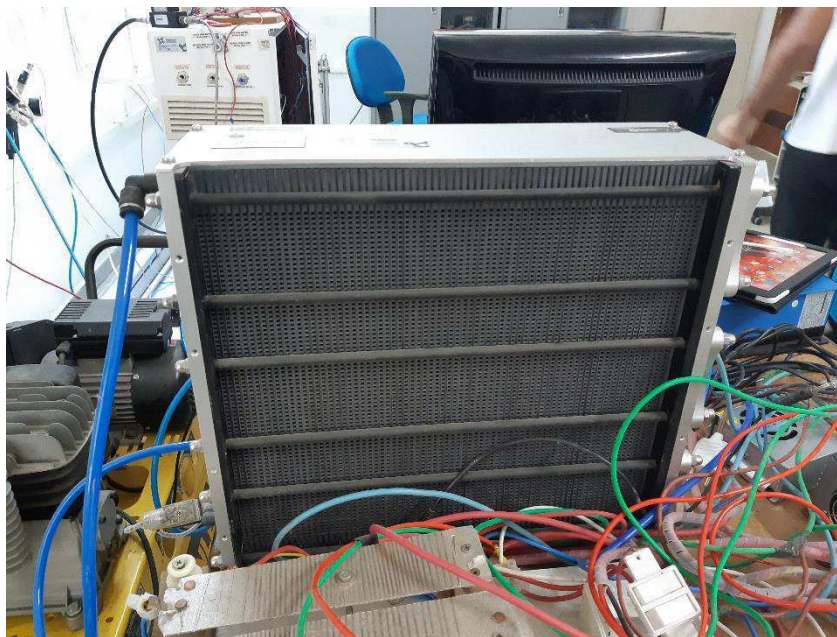


Figura 12: Cilindros externos.

Fonte: Elaboração própria.

Esse hidrogênio que sobra é mandando diretamente para a célula combustível FCS – C3000, Figura 13, que é alimentada por uma fonte e dispõe de um controlador próprio. A célula produz corrente pela combustão eletroquímica a frio do hidrogênio. Neste caso, converte o hidrogênio e o oxigênio em eletricidade, tendo como resíduo final a água, podendo fornecer uma potência de 3 kW quando operada a uma tensão de 43,2 V e 70 A [10].

Figura 13: Célula Combustível.



Fonte: Elaboração própria.

Existe também um inversor de tensão, que está relacionado as placas solares disponíveis no projeto, porém estas placas não geram a energia suficiente para que o modulo seja autossuficiente. Assim, foi possível desenvolver o diagrama de blocos representando o funcionamento do sistema. Pode-se ver este diagrama em anexo.

O painel de controle dispõe de vários disjuntores, fusíveis, contactares e temporizadores. Observando a Figura 14, pode-se perceber que existem vários fusíveis para proteção do sistema, juntamente com dois dispositivos residuais diferenciais, os DR's. os temporizadores estão associados a execução de certas ações do sistema de compressão. As recomendações do fabricante, no manual de instruções, são de que estes temporizadores sejam mantidos no padrão de fábrica.

Figura 14: Painel de controle.



Fonte: Elaboração própria.

Os diagramas de blocos do sistema de compressão e de painel de controle podem ser encontrados em anexo.

A intenção nesta etapa do trabalho, foi de tentar inserir equipamentos com conexão remota à instalação. Alguns dos equipamentos já possuem ligação com a nuvem, porém sem utilização dessa possibilidade no atual sistema. O inversor do sistema possui WiFi, o fluxometro da marca Aalborg possui acesso Bluetooth.

Nas pesquisas para automatização da válvula de pressão, Figura 15, usada para expurgar parte do hidrogênio quando a pressão for maior que a permitida por norma, forma encontradas certas dificuldades. Não foi possível encontrar uma válvula que já possuísse acesso remoto. Por sugestão do professor Antônio Carlos Sales Vasconcelos, é preciso que se faça um estudo das normas específicas para o desenvolvimento de um equipamento capaz de substituir o atual e poder automatizar o processo, que hoje é manual e feito pelos utilizadores do sistema.

Figura 15: Válvula de liberação de pressão.



Fonte: Elaboração própria.

Um detalhe importante sobre o desenvolvimento deste controle é a prevenção de centelhamento, pois o hidrogênio comprimido é altamente inflamável.

4.2.3. Elaboração das Plantas Elétricas

Na etapa inicial deste estágio, quando foi feita a análise preliminar das instalações do ponto de vista elétrico, pode-se perceber que o laboratório se encontrava fora dos padrões exigidos pelas normas da ABNT.

Tendo em vista que neste laboratório se trabalha com gases altamente inflamáveis e equipamentos de considerável potência, foi vista a necessidade de normatizar as instalações, adequando-as as demandas exigidas pelas normas reguladoras. No apêndice A, estão dispostas as recomendações de segurança baseadas nas normas reguladoras adequadas a cada atividade.

Como não foi possível encontrar a planta elétrica do prédio onde está localizado o laboratório, foi necessário medir toda a instalação, documentar todos os pontos de tomadas e iluminação e a instalação do sistema da célula combustível. Assim foi possível elaborar a planta elétrica atual da sala C2.

Foi constatado que não existem tomadas baixas no local, as tomadas perto de áreas molhadas estão a menos de 30 cm de distância do ponto

molhado, não existe tomadas para uso específico, no caso do ar condicionado e do próprio sistema da célula combustível e não existem medidores do nível de hidrogênio no ar, equipamento importante para prevenção de explosões.

Tomando a norma NR10 [11] como base, foram propostas as seguintes mudanças na planta elétrica atual do sistema: adição de pelo menos 3 tomadas baixas, as tomadas próximas de pontos molhados serem realocadas para 30 cm de distância do ponto molhado, os circuitos do ar condicionado e do sistema de compressão serem separados do de tomadas e adicionar um dispositivo de medição de nível de hidrogênio ao ambiente. As plantas elétricas feitas a partir dos dados obtidos nas medições e documentação e a nova planta propostas se encontram em anexo.

A partir da elaboração das plantas elétricas foi possível fazer o levantamento de carga do laboratório. Os quadros de carga da instalação atual e da planta proposta se encontram em anexo.

4.2.4. Manual de Operação da Célula Combustível

É recomendado que toda e qualquer ação realizada no LABFREN seja acompanhada pelo professor Antônio Carlos Sales Vasconcelos ou por algum dos técnicos responsáveis pelo laboratório.

Existem etapas que precisam ser verificadas e muitas vezes feitas somente por eles, para realização de qualquer experimento utilizando este sistema, tanto na parte de controle da célula como do sistema de compressão.

Também é recomendado que toda a parte que envolve o sistema de compressão seja previamente organizada pelos responsáveis do laboratório, pois conta com etapas que precisam de experiência sólida com vários temas relacionados a química e estes conceitos não são comuns aos alunos da graduação de engenharia elétrica.

Sabe-se que o combustível usado para a conversão de energia elétrica é o hidrogênio que foi produzido e armazenado pelos equipamentos da

H2Planet. Para tanto, alguns requisitos básicos devem ser cumpridos antes de operar a célula combustível [10].

1. A pressão de entrada da célula combustível deve ser entre 0,45 – 0,55;
2. Procurar se certificar que o gás hidrogênio que irá alimentar a célula tenha uma pureza superior a 99,995%;
3. Ver se toda água da pilha, caso tenha sido injetado água na mesma, foi retirada;
4. Mantenha o equipamento resfriado com ventilação constante quando o sistema estiver em funcionamento.

Sendo todos os pré-requisitos estabelecidos cumpridos, a unidade pode ser colocada em operação seguindo o seguinte algoritmo [10]:

1. Desconectar o tubo de hidrogênio caso a pressão não esteja ajustada em 0,5 bar;
2. Abrir as válvulas dos cilindros onde está armazenado o gás hidrogênio ou a válvula GV001, caso a alimentação da célula combustível seja proveniente do eletrolisador;
3. Abrir a válvula GV003, Figura 16.

Figura 16 - Válvula GV003 80



Fonte: Adaptado de [10].

4. Ajustar a pressão para 0,5, utilizando o regulador de pressão, Figura 17. Em seguida reconectar o tubo de hidrogênio;

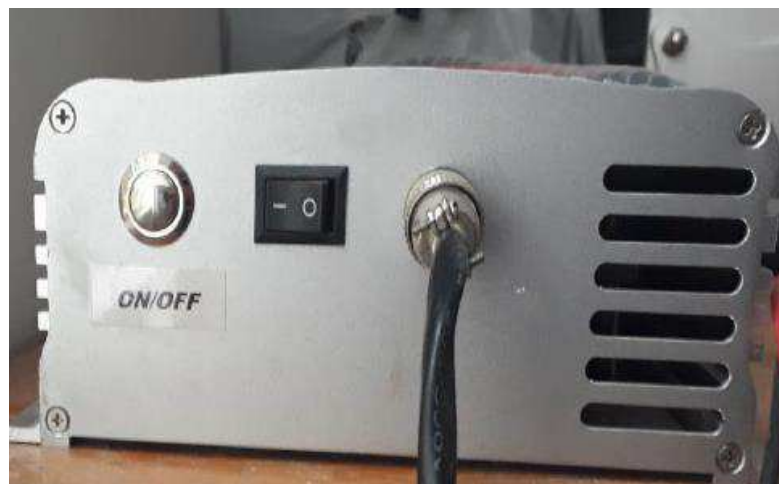
Figura 16 - Válvula GV003 80



Fonte: Adaptado de [10].

5. Ligar a célula combustível através do botão “On/Off” localizado no controlador eletrônico, Figura 18. Deve-se pressionar o botão até ouvir um beep de 2 segundos.

Figura 18 - Botão On/Off da célula combustível



Fonte: Adaptado de [10]

6. Manter o botão de SCU sempre ligado. Somente quando sua carga estiver operando com dificuldade, desligue o SCU. Este botão pode ser visualizado na imagem anterior.

7. Ligar as cargas gradativamente para consumo da energia que está sendo fornecida pela célula combustível.

4.2.5. Observações Durante o Funcionamento da Unidade

Alguns aspectos sobre o funcionamento deste sistema de conversão de energia devem ser do conhecimento dos usuários que posteriormente desejem realizar algum ensaio:

1. Não é possível operar por muito tempo a célula combustível tendo sua alimentação direta do reator eletrolítico. O consumo de hidrogênio é maior que a capacidade de produção fazendo com que a pressão interna do eletrolisador caia;
2. Durante o funcionamento deste equipamento não foi possível atingir sua potência máximo;
3. Na estrutura atual a parte metálica onde a maioria dos equipamentos está alocada não dispõe de aterramento adequado. Logo, é necessário que se teste a estrutura todas as vezes que se desejar realizar algum experimento.

4.2.6. Acompanhamento de um Experimento com a Célula Combustível

Para validação do manual descrito no tópico anterior, no dia 25 de novembro de 2019, às 10 h da manhã, juntamente com o professor Antônio Carlos Sales Vasconcelos foi possível acompanhar a realização de um experimento com a célula combustível.

Como já haviam sido realizados ensaios na semana anterior, o sistema já contava com hidrogênio guardado nos cilindros, assim não precisou colocar água deionizada no hidrolisador para poder iniciar o processo.

Para efeito de registro, na Figura 19, é apresentado o nível de hidrogênio existente nos cilindros. Ao fim do ensaio outro registro foi feito e posteriormente os resultados serão comparados.

Figura 19 – Nível de hidrogênio nos cilindros, em L/min.



Fonte: Elaboração Própria.

Depois de cumprir todos os requisitos exigidos nos tópicos 4.2.4. e 4.2.5. o sistema foi iniciado e foram colocadas cargas, neste caso lâmpadas incandescentes.

Na Figura 20, pode-se observar a carga funcionando a partir da energia gerada pela célula combustível.



Figura 20: Carga sendo suprida pela célula combustível.
Fonte: Elaboração própria.

Neste ponto do ensaio a carga estava sendo suprida apenas pela célula combustível. Posteriormente, o sistema funcionou em conjunto com as placas solares que o laboratório dispõe.

Na figura 21, pode-se ver o a potência e que as placas solares estavam injetando na rede e a potência que se estava injetando quando o sistema passou atuar em conjunto.

Figura 21: Potência gerada (a) placas solares (b) sistema com as placas solares e a célula combustível.



(a)



(b)

Fonte: Elaboração Própria.

A partir destes valores de potência foram obtidos dados de tensão e corrente do sistema com as placas solares e a célula combustível atuando em conjunto. Na Figura 22, são apresentados estes resultados.

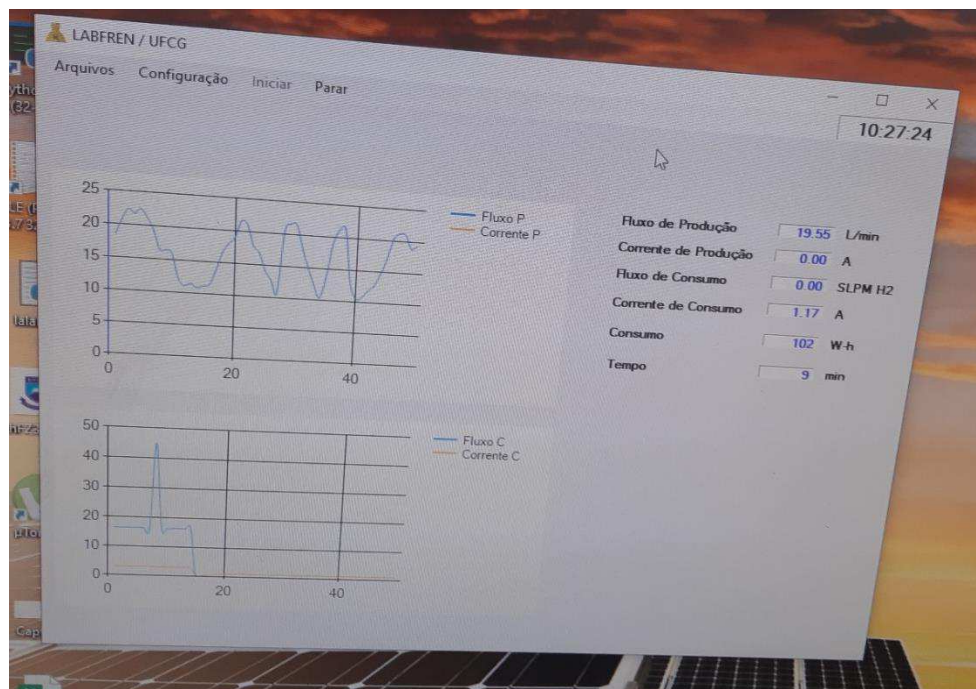
Figura 22: Valores de tensão e corrente obtidos no sistema.



Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura 23, são apresentados os gráficos de corrente e fluxo do sistema funcionando em tempo real.

Figura 23: Valores de corrente e fluxo obtidos no sistema.



Fonte: Elaboração Própria.

Também é possível analisar o gráfico de corrente gerada por todo o tempo em que estava sendo realizado o ensaio. Nos 15 minutos que foi feito o experimento, os acréscimos e retiradas de equipamentos podem ser vistos na Figura 24.

Figura 24: Valores de corrente no sistema.



Fonte: Elaboração Própria.

Ao fim do ensaio foi verificado os valores de hidrogênio nos cilindros, foi constatado que estes valores diminuem muito rapidamente, fazendo com que o sistema não seja tão eficiente quanto necessário. Na figura 25, pode-se observar o nível do hidrogênio em L/min.

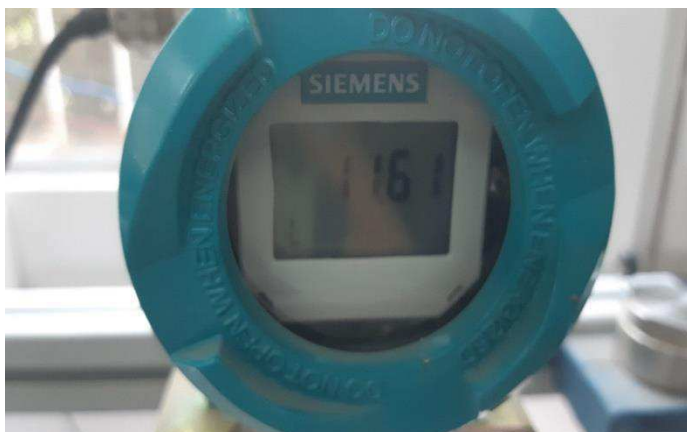


Figura 25: Nível de hidrogênio ao fim do experimento.

Fonte: Elaboração própria.

5. Conclusão

Esta experiência de estágio permitiu que se pudesse utilizar, na prática, diversos tópicos vistos no decorrer do curso de engenharia elétrica.

Foi possível utilizar vários conceitos de controle analógico e digital para elaboração dos diagramas de bloco que compõe o sistema e na sugestão de conectar os equipamentos existentes com a nuvem.

Também foram explorados conhecimentos na área de instalações elétricas. Foi feita a planta elétrica atual do laboratório e foi preciso consultar as normas técnicas da ABNT para fazer as modificações cabíveis e apresentar a sugestão de uma nova planta dentro dos padrões normativos. Com os dados obtidos nesta etapa foi feito o levantamento de carga, tanto para o sistema atual como para o proposto.

A colaboração com outro curso de graduação também foi uma experiência bastante válida. Serviu como incentivo para explorar temas como os processos que acontecem em algumas reações químicas e são capazes de converter energia química em energia elétrica.

6. Referências

- [1] GUERRA, L. F. S. “*Eletrólise da água para produção de gás de síntese*”. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL, 2015.
- [2] KNOB, D. “*Geração de Hidrogênio por Eletrólise da Água Utilizando Energia Solar Fotovoltaica*”. Dissertação de Mestrado, 2013.
- [3] BICÁKIVÁ, O.; STRAKA, P. “*Production of Hydrogen from Renewable resources and its effectiveness*”. International Journal of Hydrogen Energy, v.37, n.16, p.11563-115786, 2012.
- [4] BRAGA, G. G. A. “*Aspectos Técnicos, Econômicos e de Sustentabilidade de Produção de Hidrogênio Renovável*”. 2015.80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2015.
- [5] GRIGORIEV, S.; POREMBSKY, V.; FATEEV, V. “*Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy*”. International Journal of Hydrogen Energy, v. 31, n. 2, p. 171–175, 2006.
- [6] SANTOS, J. E. Controle e Automação de um Sistema de Geração de Energia Elétrica Renovável: Avaliação da Célula a Combustível H₂/ar Tipo PEMFC.2013.120f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal de Campina Grande.
- [7] CÉLULA COMBUSTÍVEL. Veículos Elétricos, 2013. Disponível em: <<http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2013/06/como-uma-celula-combustivel-e-o.html>>.
- [8] Google Drive: Célula Combustível. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/1y6MTabHtzPZbBNkte4arxsc68i_5d1Q>
- [9] Trello. Disponível em: <<https://trello.com/b/g6ijF97P/est%C3%A1gio>>
- [10] DAMASCENO, A. S. “Produção de Energia Elétrica Utilizando Hidrogênio como Combustível.” Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande – 2017.

[11] NR10. SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE. Ministério do Trabalho e Emprego, 2016.

[12] NR06. EQUIPAMANENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI. Ministério do Trabalho e Emprego, 2016.

[13] NR15. ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES. Ministério do Trabalho e Emprego, 2014.

Apêndice A

Todas as recomendações aqui listadas foram baseadas nas normas reguladoras adequadas a cada atividade. Todas serão citadas e devidamente referenciadas para posterior consulta em caso de atualização da norma.

1. Das recomendações da NR10 [11]

- 10.2.3 As empresas estão obrigadas a manter esquemas unifilares atualizados das instalações elétricas dos seus estabelecimentos com as especificações do sistema de aterramento e demais equipamentos e dispositivos de proteção.

Não foi possível encontrar os esquemas enquanto fazia a pesquisa sobre as instalações, segundo a norma é necessário que elas estejam disponíveis e atualizadas sempre.

-10.3.3.1 Os circuitos elétricos com finalidades diferentes, tais como: comunicação, sinalização, controle e tração elétrica devem ser identificados e instalados separadamente, salvo quando o desenvolvimento tecnológico permitir compartilhamento, respeitadas as definições de projetos.

Segundo os técnicos do laboratório, na sala C2 onde se encontra o sistema em estudo, existem 2 circuitos de alimentação. Uma fase para as luminárias e uma fase para as tomadas de uso geral. Porém, existem equipamentos que precisam de tomadas de uso específico e segundo a norma precisam ter circuitos diferentes.

-10.9.4 Nas instalações elétricas de áreas classificadas ou sujeitas a risco acentuado de incêndio ou explosões, devem ser adotados dispositivos de proteção, como alarme e seccionamento automático para prevenir sobretensões, sobrecorrentes, falhas de isolamento, aquecimentos ou outras condições anormais de operação.

Como no laboratório existe a compressão de hidrogênio e este é um gás potencialmente explosivo é necessário a sinalização (proibido fumar e outros) assim como a presença de extintores de incêndio na localidade.

2. Das recomendações da NR15 [12]

ANEXO N.º 1: LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA RUÍDO CONTÍNUO OU INTERMITENTE

Entende-se por Ruído Contínuo ou Intermitente, para os fins de aplicação de Limites de Tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto. Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

Por dispor de um compressor de uma potência relativamente elevada e este estar inserido dentro do laboratório é necessário que se faça o estudo de caso para saber qual o tempo máximo de exposição ao ruído, segundo a norma, sem prejudicar os frequentadores do laboratório. Em caso de níveis acima dos aceitáveis a recomendação seria ver a norma NR06 ou providenciar um espaço externo para o compressor.

3. Das recomendações da NR06 [13]

Esta norma é bastante importante para segurança dos utilizadores de toda instalação que envolve algum risco, de qualquer natureza. Recomenda-se a leitura e atualização dos equipamentos de segurança a ela relacionadas sempre que necessário.

Anexos

Diagramas de blocos do sistema completo.

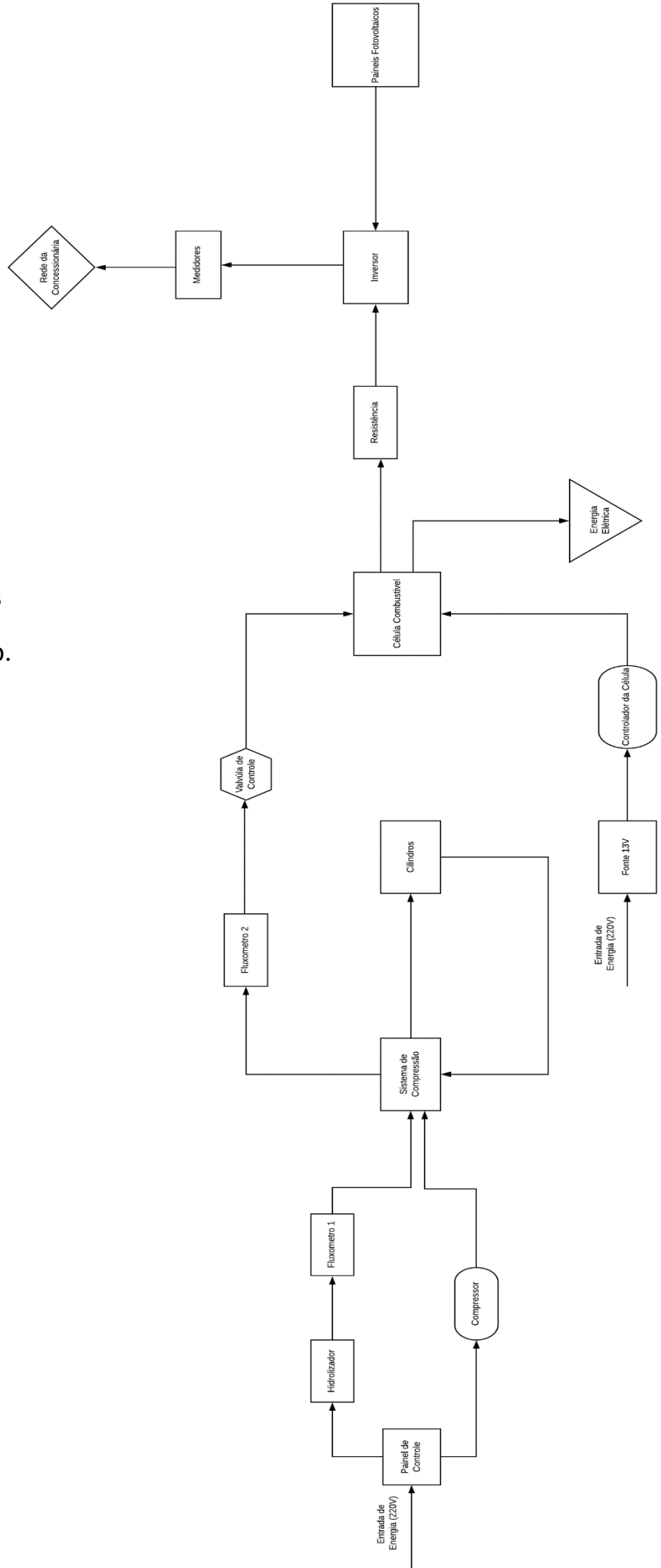


Diagrama de blocos do sistema de compressão.

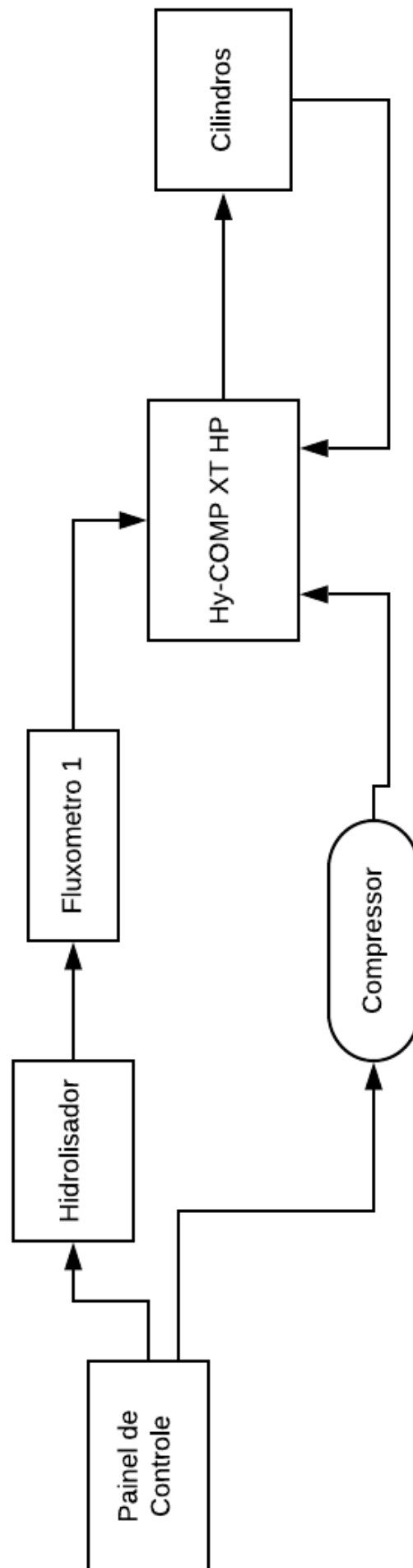
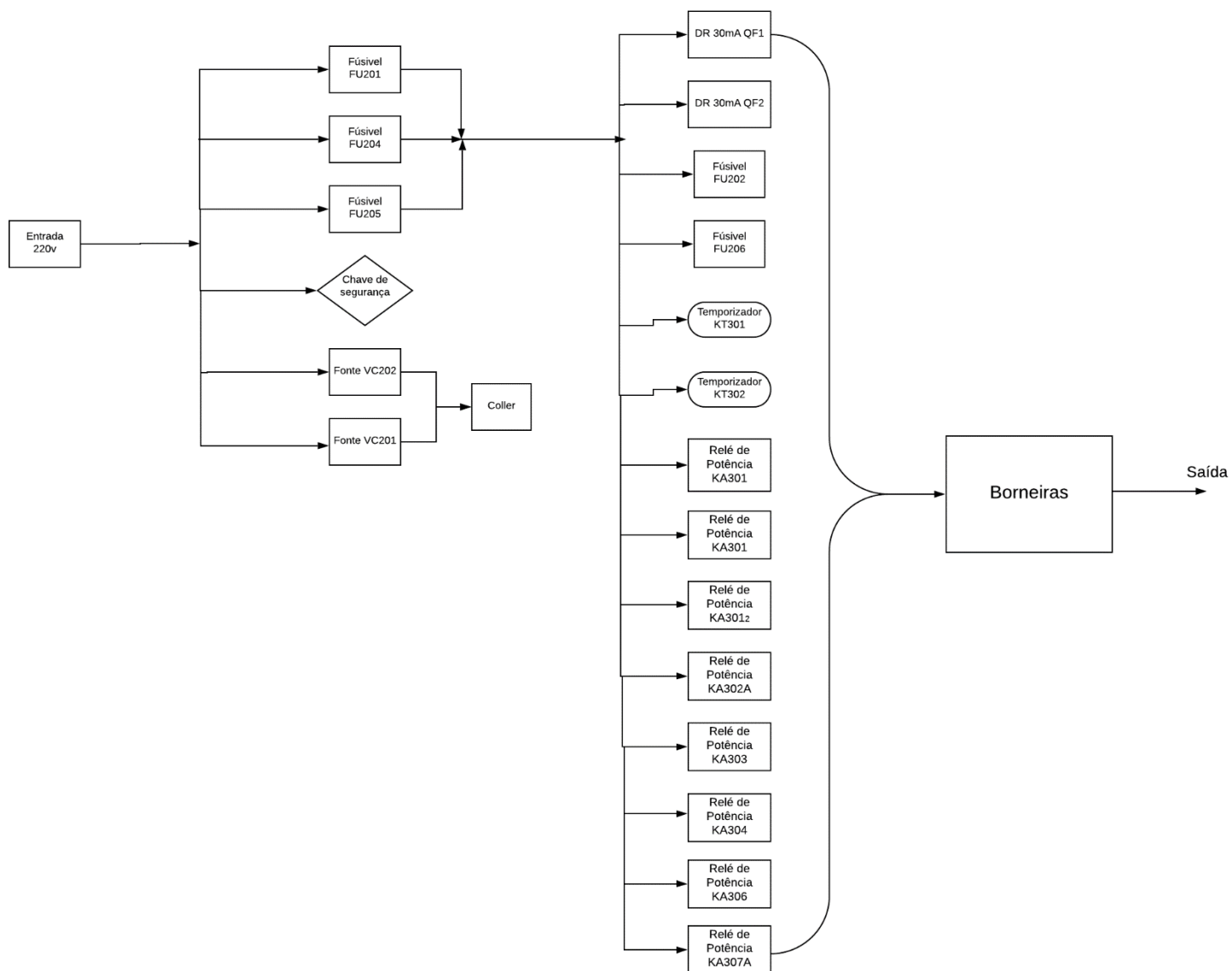
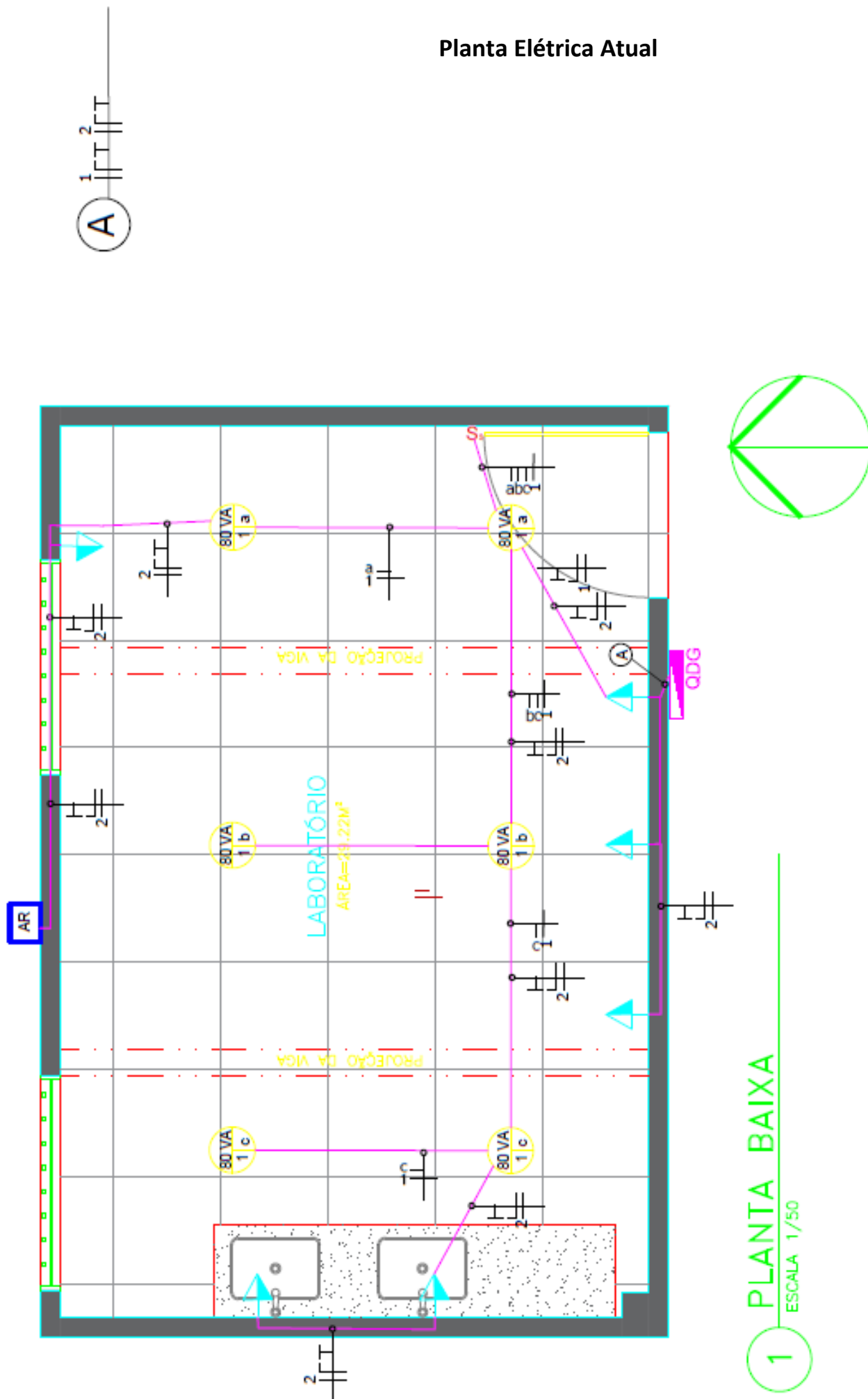


Diagrama de blocos do painel de controle.

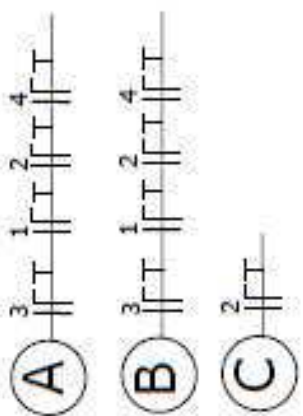
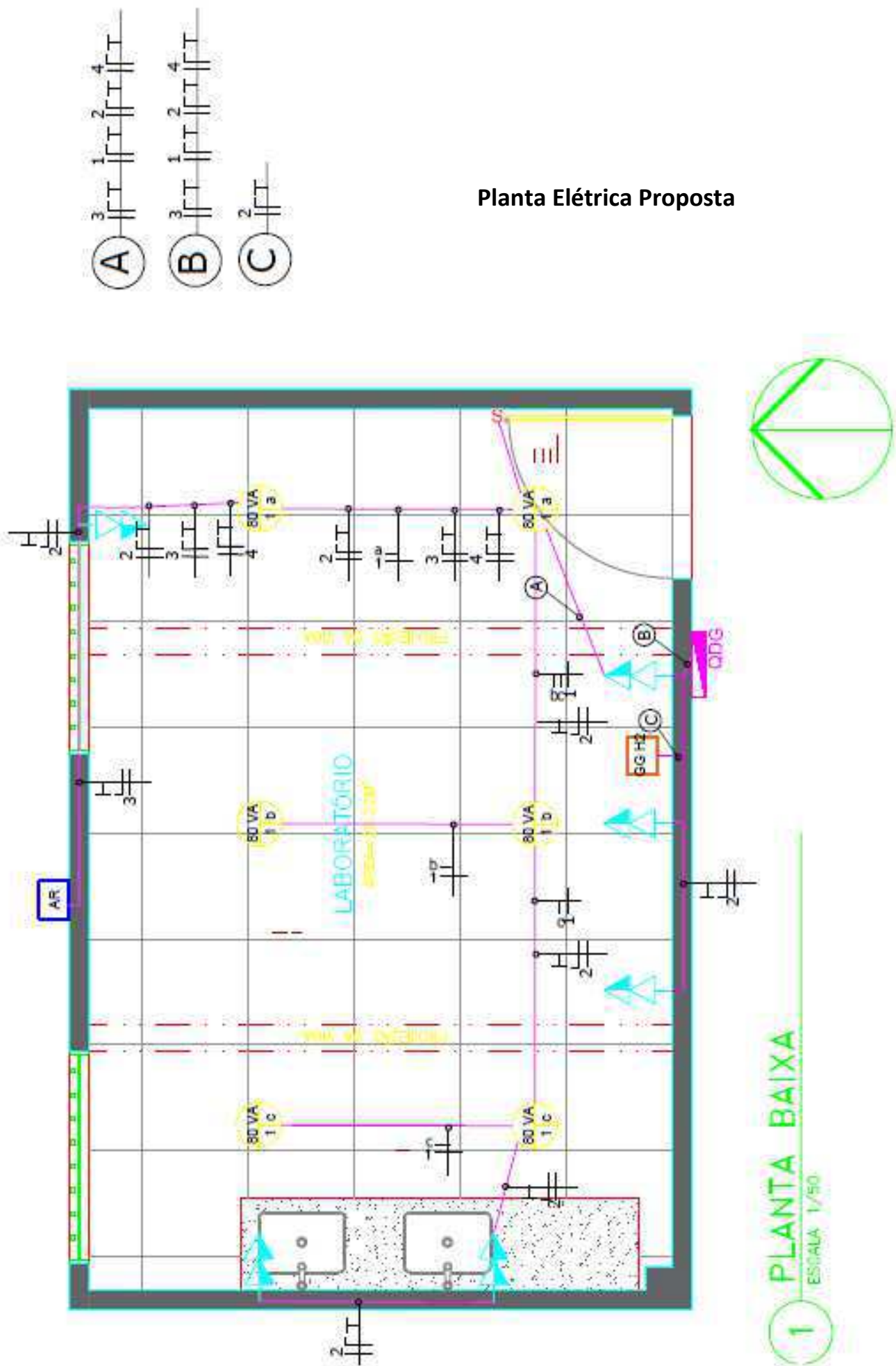


Planta Elétrica Atual



1 PLANTA BAIXA
ESCALA 1/50

Planta Elétrica Proposta



1 PLANTA BAIXA
ESCALA 1/50

QUADRO DE CARGAS DO CIRCUITO ATUAL DO LABFREN – SALA C2

Nº do Circuito	Lâmpadas (W)			TUGs (VA)			TUEs (VA)			TOTAL		T. Nominal	Corrente (A)		Condutores S(mm²)		I _{Dis}	Função	Carga
	20	2x20	85	100	600	700	824	4.500	W	VA	I _{Carga}		I _{Trans.}	VIVOS	PE	A			
1	-	12	-	-	-	-	-	-	480	521,7	220	2,37	2,96	1,5	1,5	10	Ilum.	LABFREN	
2	-	-	-	9	-	-	-	-	828	900	220	4,09	5,11	2,5	2,5	25	TUG	LABFREN	
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
Total	-	12	-	9	-	-	-	-	1046	1137,4	220	5,17	5,17	-	-	-			
(TOTAL*0,80) = DEMANDA PREVISTA									1046	1137,4	220	5,17	5,17	-	-	-			QUADRO DE CARGAS

*CONSIDERANDO FATOR DE POTENCIA 0,92

**CONSIDERANDO O FATOR DE MULTIPLICAÇÃO DA CORRENTE TRANSITORIA 1,25]

QUADRO DE CARGAS DO CIRCUITO PROPOSTO PARA O LABFREN – SALA C2

Nº do Circuito	Lâmpadas (W)		TUGs (VA)			TUES (VA)		TOTAL		T. Nominal	Corrente (A)		Condutores S(mm²)		I _{Dis}	Função	Carga
	20	2x20	85	100	600	700	824	4.500	W		VA	V	I _{Carga}	I _{Trans.}			
1	-	12	-	-	-	-	-	480	521,7	220	2,37	2,96	1,5	1,5	10	Ilum.	LABFREN SALA C2
2	-	-	-	11	2	-	-	2116	2300	220	10,45	13,10	2,5	2,5	16	TUG	LABFREN SALA C2
3	-	-	-	-	-	-	1	758,1	824	220	3,74	4,68	2,5	2,5	16	TUE	AR
4	-	-	-	-	-	1	-	644	700	220	3,18	3,97	2,5	2,5	16	TUE	Sistema de Compressão
5																	
6																	
7																	
Total	-	12	-	11	2	1	1	3198	3476,6	220	15,80	15,80	-	-	-		QUADRO DE CARGAS
(TOTAL *0,80) = DEMANDA PREVISTA																	

*CONSIDERANDO FATOR DE POTENCIA 0,92

**CONSIDERANDO O FATOR DE MULTIPLICAÇÃO DA CORRENTE TRANSITORIA 1,25