



DESENVOLVIMENTO DE UMA MAQUETE DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA PARA FINS EDUCACIONAIS

DEVELOPMENT OF A MOCKUP OF THE POWER ELECTRICAL SYSTEM FOR EDUCATIONAL PURPOSES

Guilherme Myllena de Sousa Carvalho¹, Cristiano Corrêa Ferreira², Enoque Dutra Garcia³

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v42p288-299.2023

RESUMO: O presente artigo demonstra as etapas de desenvolvimento de uma maquete do Sistema Elétrico de Potência (SEP). Esse sistema permite que diferentes públicos consigam aprender e entender como ocorre a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica até o consumidor final. Para atingir o propósito do trabalho, foi realizada a modelagem 3D do SEP com uso do *software* Solidworks (CAD), prototipagem dos elementos estruturais do sistema em impressora 3D no *software* Ultimaker Cura (CAM) e corte a laser da base em uma máquina CNC com utilização do *software* Autolaser (CAM). Vale destacar que, ao todo, foram modeladas em 3D 11 peças, sendo que, entre as principais, tem-se as usinas geradoras e o transformador representando a subestação. A prototipagem 3D ocorreu em intervalos de tempos variados, sendo que a mais rápida foi impressa em 53 minutos e a mais demorada em 9 horas. Para a base da maquete, foram utilizadas placas de MDF, cortadas na máquina de corte a laser, com o intuito de organizar todo o sistema de transmissão e distribuição em sequência, de modo que o estudante tenha uma percepção clara da sequência dos componentes necessários à geração de energia elétrica. Até o momento, o grupo de pesquisa detectou resultados satisfatórios, pois a maquete já foi apresentada em vários eventos educacionais, bem como serviu para estudos de acadêmicos do curso de Engenharia de Energia.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem 3D; Prototipagem 3D; Maquete; Sistema Elétrico de Potência.

ABSTRACT: This paper shows the development stages of a mockup of the Power Electric System (PES). This system allows different audiences to learn and understand how the generation, transmission and distribution of electrical energy to the final consumer occurs. To achieve the purpose of the work, the 3D modeling of the SEP was done using Solidworks software (CAD), prototyping of the system's structural elements in a 3D printer, using the Ultimaker Cura software (CAM), and laser cutting of the base in a CNC machine, using the Autolaser software (CAM). It is worth noting that, in all, 11 parts were modeled in 3D, where the main ones are the power plants and the transformer representing the substation. The 3D prototyping occurred in varying time intervals, the fastest was printed in 53 minutes and the longest in 9 hours. For the base of the model, MDF boards were used, cut in a laser cutting machine with the intention of organizing the whole transmission and distribution system in sequence, this way, the student will have a clear perception of the sequence of the necessary components to generate electricity. So far, the research group has detected satisfactory results, because the model has already been presented in several educational events, as well as served for studies by students of the energy engineering course.

KEYWORDS: 3D Modeling; 3D Prototyping; Mockup; Power Electric System.

¹ Discente do curso de Graduação de Engenharia de Energia pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), myllenaacarvalho.aluno@unipampa.edu.br

² Professor Dr. Associado II da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), cristianoferreira@unipampa.edu.br

³ Professor Dr. Adjunto da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), enoquegarcia@unipampa.edu.br



INTRODUÇÃO

A construção da maquete do Sistema Elétrico de Potência (SEP) está vinculada a uma componente eletiva de um curso de Engenharia de Energia denominada Modelagem e Prototipagem 3D. Além disso, contou-se com apoio e parceria de pesquisadores de um grupo de pesquisa denominado Grupo de Estudos Avançados de Engenharia de Energia (GrEEn). Vale ressaltar que a confecção dessa maquete física visa permitir que as pessoas visualizem o SEP como um todo, pois assim os estudantes e profissionais da área conseguirão compreender como ocorre todo o processo. Ainda, vale lembrar que a maquete segue uma sequência constituída de um conjunto de instalações e equipamentos relativos à geração, transmissão, distribuição e carga elétrica. De acordo com as informações encontradas no livro *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica* (KAGAN; OLIVEIRA, ROBBA, 2005), o SEP tem uma sequência de partes fundamentais para seu perfeito funcionamento, tais como: geração, subestação elevadora de tensão, sistema de transmissão, subestação abaixadora de tensão, sistema de distribuição e consumidores. Diante dessa condição, foram produzidas cada uma dessas partes.

Além do mais, para que fosse possível implementar essa proposta de atividade, foram realizadas pesquisas bibliográficas em trabalhos científicos sobre o assunto. Entre eles, destaca-se alguns. Morais e Fontenelle (2003) dão ênfase à importância de novas tecnologias no ensino-aprendizagem de engenharia e abordam o caso em que os estudantes desenvolveram maquetes na disciplina de Construção civil I, que foram utilizadas em apresentações nos semestres seguintes. Além disso, os autores destacam como positiva nessa ação a importância de diversificar as ferramentas pedagógicas, assim como possibilitar que o aluno tenha algum tipo de contato com meios que visualizem a atividade profissional.

Por sua vez, Telli, Librelotto e Feroli (2014) destacam que, a partir do modelo físico, mudanças podem ser propostas visando a uma melhor adequação do projeto dentro dos preceitos de sustentabilidade e até mesmo em busca de melhor eficiência do sistema como um todo. Em síntese, os autores destacam que os modelos físicos apresentam parâmetros que auxiliam no lançamento dos projetos arquitetônicos para Habitações de Interesse Social (HIS) e nas suas etapas de desenvolvimento à execução. Portanto, os projetistas precisam estar atentos às ferramentas de estudo e trabalho disponíveis para a elaboração de seus projetos, não devendo se ater somente às pranchetas de desenho e aos programas de



computador, pois estes muitas vezes enrijecem o trabalho e não permitem uma visualização mais aprofundada do projeto que está sendo proposto.

Ainda, vale destacar trabalhos como o de Torres Filho, Vieira e Soares (2013), que apresentaram um estudo no qual desenvolveram cenários em ambientes virtuais tridimensionais voltados para treinamento de subestações elétricas. Embora a investigação tenha ocorrido de forma virtual, o que difere do experimento que aqui está sendo apresentado, as demandas são análogas e, de acordo com os autores, esses cenários podem reproduzir situações de rotina, ou seja, ilustrar e prever o sistema em condições de operação. Além disso, podem, através do modelo virtual e físico, também ser utilizados nos treinamentos e na qualificação de diversos profissionais da área.

Paes (2020) enfatizou, em sua pesquisa, que a modelagem e a prototipagem 3D podem ser utilizadas como meio para construir modelos físicos de objetos e/ou equipamentos. O autor apresentou o exemplo da turbina Pelton, que possibilitou, após impressa, a realização de estudos como da verificação de características dos equipamentos e da simulação computacional com foco na performance. Essas possibilidades podem ser utilizadas como elemento didático para o ensino, por exemplo, na Engenharia Mecânica.

Gutierrez et al. (2019) fizeram uso das técnicas de modelagem e prototipagem 3D em uma componente curricular de engenharia para o desenvolvimento de um material didático que, após confeccionado, foi utilizado para representar o tema de eficiência energética de forma lúdica aos estudantes.

Mais recentemente, Ferreira e Gutierrez (2022) acrescentaram que a prototipagem contribui de forma significativa com o aprendizado e com o engajamento de alunos dos cursos de Engenharia. Como prova disso, os autores apresentaram três projetos que foram desenvolvidos de forma interdisciplinar em uma componente eletiva de um curso de Engenharia: a construção da maquete física de uma turbina Francis; de um boneco para ser utilizado no ensino de eficiência energética; e, por fim, de um aerogerador pequeno. Cabe ressaltar que os autores enfatizaram que o desafio principal dessa ação foi apresentar e fazer uso da prototipagem para incentivar nos alunos a busca pela resolução de problemas de Engenharia. Assim, para se atingir o êxito na ação, foi necessário desenvolver um planejamento para a elaboração de projetos, com o propósito de explorar a criatividade, a dinamicidade e o protagonismo dos discentes. Entre os resultados, verificou-se a viabilidade de implantação da aprendizagem ativa no componente curricular do curso. Além disso, constatou-se que o amplo envolvimento dos discentes despertou interesse sobre prototipagem rápida



também em colegas que não cursaram a componente, pois foram atraídos pela possibilidade de contribuir e ganhar experiência independente da condição de estar ou não matriculado.

Esse modo de trabalho se assemelha muito com a cultura *maker*, conforme Brockveld, Teixeira e Silva (2017), uma vez que focar em projetos coletivos promove empoderamento do aprendiz em prol da resolução de problemas complexos do mundo real, por isso essa tendência visa apresentar e trabalhar os conceitos teóricos através da prática em ambientes assistidos pela tecnologia. Ao final, os autores destacam que é possível desenvolver um espaço que fomente a cultura *maker* sem grandes investimentos, mas deve ser dada especial atenção aos princípios que fundamentam o uso do espaço – estudantes e educadores devem se sentir protagonistas dos seus processos de aprendizagem, e devem utilizar as ferramentas para resolver problemas do mundo real de forma criativa e inovadora.

Um outro aspecto que se levou em consideração no desenvolvimento da maquete foi o uso dos materiais, ou seja, estimulou-se que os alunos não só utilizassem os recursos disponibilizados nas impressoras e sim fizessem uso de materiais que pudessem ser reciclados também, pois, de acordo com Campos e Cavassan (2007), a utilização de materiais recicláveis é uma forma de retardar sua condição de lixo. O uso de materiais recicláveis no ensino, no âmbito formal e informal, pode contribuir no processo de construção do conhecimento, promovendo reflexões e discussões sobre a questão ambiental, à luz de problemas locais e globais.

Da Silva Tiburcio et al. (2019) acrescentam que incentivar o cuidado com o ambiente torna os indivíduos conscientes em relação ao cuidado com a natureza, despertando o senso crítico em relação ao consumismo e estimulando o desenvolvimento de estratégias que evitem o descarte incorreto de lixo. A realidade ambiental, atualmente, é alarmante, e a prática de reutilização e reciclagem é extremamente necessária no processo de reabilitação ambiental.

Nesse contexto, a maquete foi idealizada para demonstrar o panorama do SEP para discentes de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, assim como para alunos de instituições de ensino público e privado da cidade de Bagé e região. Procurou-se, também, aliar as práticas que envolvem tecnologia e educação por serem alternativas potencialmente eficientes em reduzir o distanciamento entre a aprendizagem e a realidade social.



PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa sobre dimensões e observações pertinentes sobre modularidade da maquete com foco na escala gráfica, para que assim se pudesse obter uma configuração em conformidade com o desenvolvimento de atividades lúdicas de montagem para os diferentes públicos aos quais se destina o produto, tais como estudantes de ensino fundamental, médio e superior.

Um exemplo desse contexto aparece descrito no trabalho de Jaramiski, Pacheco e Alves (2022), que destacam que as crianças são curiosas por natureza, assim como suas agilidades e motricidades são estimuladas a todo instante em suas descobertas, o que é fundamental para o seu desenvolvimento cognitivo e intelectual. Por esse motivo, para os autores, compreender o *design* e em consequência o dimensionamento dos elementos do projeto é fundamental para garantir a manipulação e o aprendizado.

Detalhamento dos elementos da maquete

A maquete é composta de usinas geradoras de energia, na qual foram selecionados os quatro principais tipos para a representação: hidrelétrica, termelétrica, solar e eólica. Também foram representadas as linhas de transmissão em alta tensão (AT), as linhas de distribuição em média tensão (MT) e baixa tensão (BT). Para representar as subestações de levantamento e abaixamento utilizou-se um transformador. Já para a unidade consumidora (UC), pensou-se em projetar uma casa de forma simbólica e expedita, ou seja, somente a volumetria sem ambientes internos.

Os procedimentos metodológicos relativos à modelagem e prototipagem foram executados do seguinte modo: a modelagem foi feita no *software* SolidWorks, versão 2010; posteriormente, os arquivos foram salvos no formato “.stl” e depois foram abertos no *software* Ultimaker Cura. Esse *software* foi também utilizado no trabalho de Gutierrez et al (2019), em que o “*fatiamento*” das peças levou em consideração aspectos como velocidade de impressão, número de camadas, temperatura de extrusão e mesa conforme o material, entre outros. A seguir, recomenda-se salvar o arquivo no formato “.gcode” e, após, é possível imprimir em uma impressora 3D, modelo GTMax3D Core A3, cuja área de impressão é 30x30x30cm.



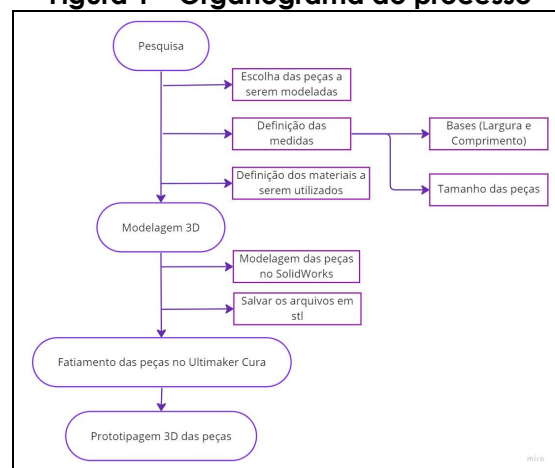
As peças foram feitas com as seguintes configurações do software Ultimaker Cura: qualidade de impressão de 0,3; número de fileiras da parede entre 2 ou 3; preenchimento de 20%; temperatura de impressão 230°C para o filamento ABS; temperatura da mesa de impressão de 110°C, conforme filamento ABS; velocidade de impressão de 40 ou 45 m/s; suporte, dependendo da peça a ser impressa, foram utilizados dois tipos, somente na mesa ou do tipo até a peça; tipo de aderência à mesa. Também foi imprescindível calibrar as configurações do Ultimaker Cura, pois elas serão executadas na impressora 3D e se, por acaso, não for calibrado corretamente, corre-se o risco de o bico extrusor da impressora passar depositando o material muito rápido, em função de uma velocidade aumentada. Com isso, não terá tempo de “secar”, o que compromete a formação da camada seguinte. Sintetizando, provavelmente fará com que a peça fique deformada ao final da impressão.

Após o fatiamento foi realizada a impressão em uma impressora GTMax3D Core A3. Para este projeto, utilizou-se o filamento Acrilonitrila Butadieno Estireno, comumente chamado de ABS, que proporciona a impressão de peças duráveis com uma vida útil longa, ideal para uma maquete 3D.

Foi realizado o projeto de modelagem da base da maquete no SolidWorks. Em seguida, salvou-se o arquivo em “.dxf” para, posteriormente, ser realizada sua impressão na cortadora a laser.

A seguir, para sintetizar o que foi apresentado acima, tem-se o organograma da Figura 1, com as etapas do projeto.

Figura 1 – Organograma do processo

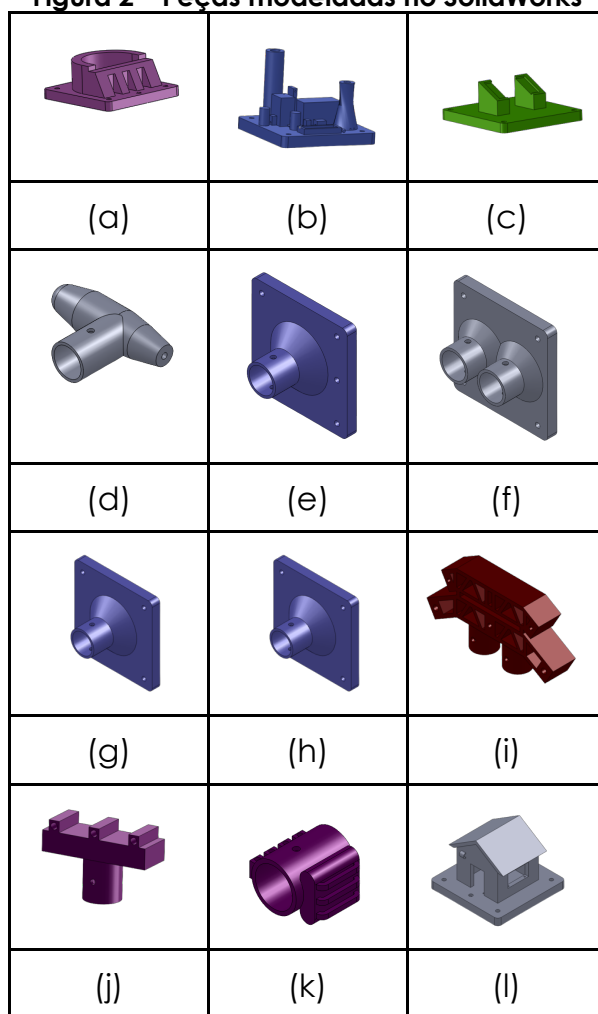


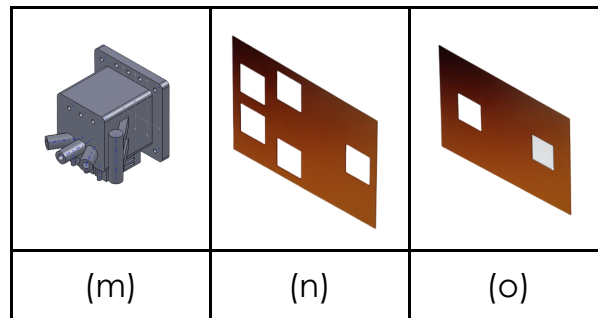
Fonte: elaborada pelos autores.

RESULTADOS

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos na modelagem e na prototipagem das peças. Na Figura 2 (a, b, c), tem-se a representação das usinas de geração hidrelétrica, termelétrica e solar, respectivamente. Na Figura 2 (d, e), tem-se o conjunto que compõe a usina eólica. Na Figura 2 (f, g, h, i, j, k, l), tem-se o conjunto de peças do sistema de transmissão e distribuição. A Figura 2 (l) representa os consumidores finais, enquanto a Figura 2 (m), o transformador, representa a subestação de elevação e abaixamento. Na Figura 2 (n, o), tem-se a base de MDF modelada no SolidWorks.

Figura 2 – Peças modeladas no SolidWorks



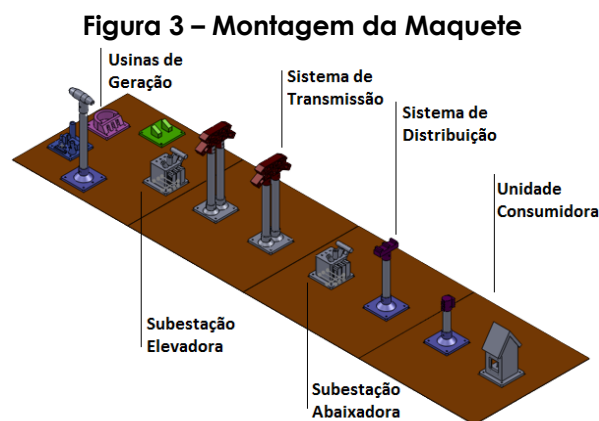


Fonte: elaborada pelos autores.

Na modelagem de todas as peças foram utilizados, majoritariamente, os comandos de extrusão e corte do *software* Solidworks. Vale ressaltar que se trabalhou, também, com planos paralelos para desenvolver certas partes das peças, como no caso do transformador, que demandou mais tempo para a sua modelagem.

Para evitar que os estudantes se machucassem, foi feito o arredondamento das bases que se encaixam nas placas de MDF, assim como, para estimular o aprendizado, procurou-se desenvolver peças similares às reais e que fossem resistentes ao manuseio do público. Também, pensou-se seguir uma sequência que leva em consideração os estágios da geração de energia (geração, transmissão, distribuição e consumo). Esse mecanismo permite propiciar, também, um maior entendimento por parte dos usuários. Ações como essas foram fundamentadas nos trabalhos de autores como Gutierrez et al. (2019) e Jaramiski, Pacheco e Alves (2022).

A Figura 3 mostra a projeção das peças no ambiente de montagem do *software* Solidworks. Esse procedimento permitiu avaliar e verificar se todo o conjunto apresentava conectividade e condições para a efetivação das etapas seguintes

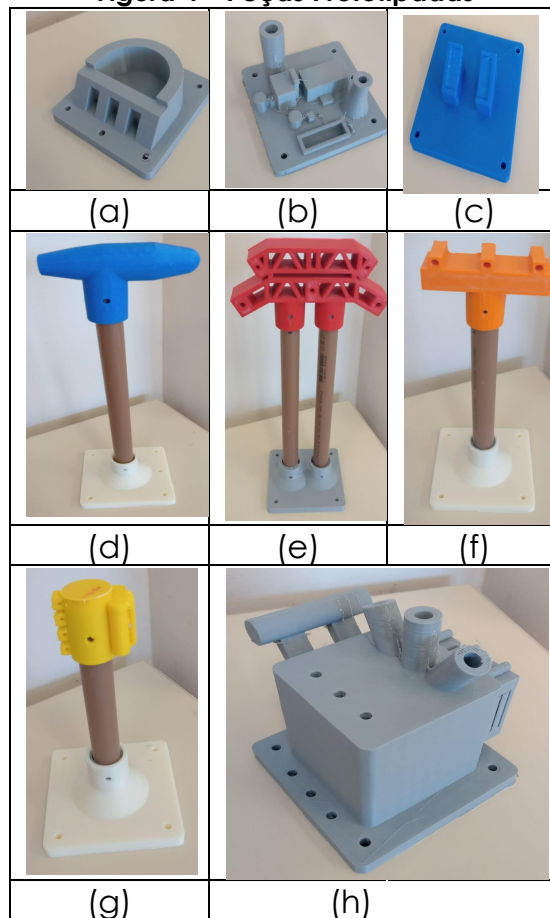


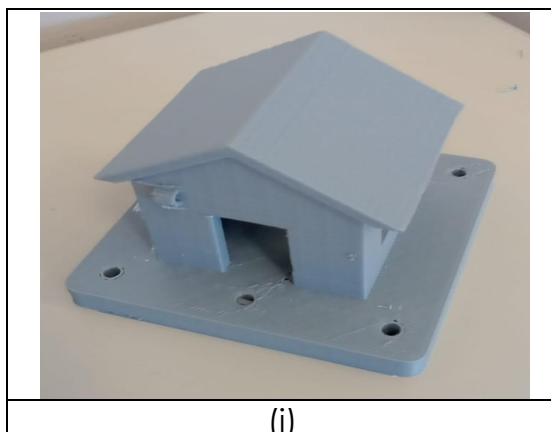
Fonte: elaborada pelos autores.

Bem à esquerda da Figura 3 estão posicionadas as quatro usinas de geração e a subestação elevadora. Na sequência, aparece o sistema de transmissão em alta tensão. Após, é ilustrada a subestação abaixadora e a linha de distribuição em média tensão e, por fim, a linha de distribuição em baixa tensão e a unidade consumidora.

Na Figura 4 (a, b, c, d), é possível visualizar as peças impressas que compõem as usinas de geração de energia elétrica. Na Figura 4 (e, f, g), tem-se as peças que compõem as linhas de transmissão em alta tensão (AT) e as linhas de distribuição (MT e BT). Na Figura 4 (h), tem-se o transformador que representa as subestações que elevam e abaixam a tensão. Por sua vez, na Figura 4 (i), tem-se a casa que representa os consumidores.

Figura 4 – Peças Prototipadas

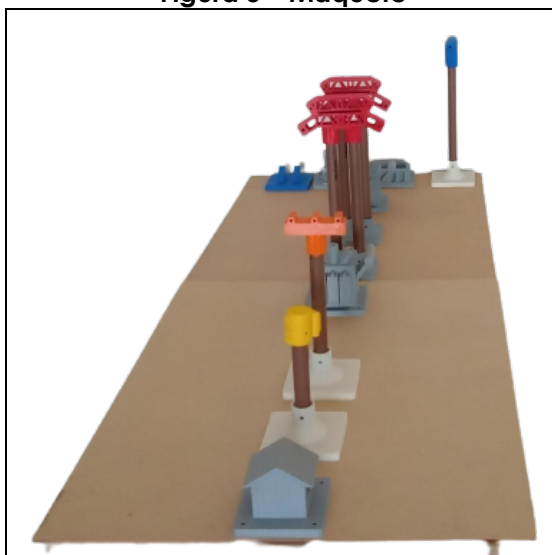




Fonte: elaborada pelos autores.

A seguir, tem-se a Figura 5, com visão de todo o sistema.

Figura 5 – Maquete



Fonte: elaborada pelos autores.

As configurações utilizadas no software *Ultimake Cura* foram apresentadas anteriormente, na parte de “Detalhamento dos elementos da maquete”. O tempo de impressão de cada peça foi: 3 horas e 32 minutos para usina solar; 1 hora e 30 minutos para usina eólica; 3 horas e 32 minutos para usina hidráulica; e 3 horas e 32 minutos para usina termelétrica. Cada transformador levou 9 horas e 2 minutos para ser impresso e casa levou 4 horas e 52 minutos. Vale enfatizar que cada base dos postes de AT, MT e BT demorou em torno de 2 horas e 40 minutos. Já o suporte dos fios AT foi impresso em 5 horas e 19 minutos; o suporte dos cabos para MT levou 1 hora e 16 minutos e o suporte do poste BT 53 minutos.



Cabe ressaltar que, na componente eletiva, o docente responsável recomendou aos alunos não somente prototipar peças, mas também reutilizar materiais, em conformidade com os trabalhos de Campos e Cavassan (2007) e de Da Silva Tiburcio et al. (2019), que indicam que o lixo está presente no dia a dia e em todos os lares. Por isso, ele é muito utilizado de diversas formas em práticas educativas por meio da reutilização e reuso. Na componente, foi estimulada a reutilização de materiais com o propósito de reciclar.

Nesse sentido, algumas peças não foram prototipadas, tais como o poste, que foi substituído por cano PVC de 22 mm² como material alternativo, as hélices do aerogerador de plástico e os fios de alumínio e cobre que representam a rede elétrica.

Ao final, vale ressaltar o que preconizam Gutierrez et al (2019) e Paes (2020), os quais afirmam que as maquetes auxiliam no aprendizado, pois é possível visualizar o sistema físico; pode-se tocar, ver a sequência do sistema elétrico e sua composição. Além disso, é possível perceber que cada parte depende da outra para o seu perfeito funcionamento.

CONCLUSÃO

Em função do que foi apresentado acima, deve-se enfatizar que, até o momento, o resultado tem sido satisfatório, pois a maquete já foi utilizada em atividades do Grupo de Estudos Avançados de Engenharia de Energia (GrEEEn) nas escolas públicas de Bagé. Na ocasião, os estudantes gostaram de visualizar o Sistema Elétrico de Potência (SEP), pois puderam ver como funciona o sistema e a sequência de elementos que se tem desde a geração de energia até o consumidor final.

Além disso, os estudantes que participaram da construção da maquete tiveram a oportunidade de acompanhar todas as etapas do processo de desenvolvimento. Vale ressaltar, também, que as próximas etapas preveem o detalhamento das subestações como transformador, para raio, disjuntores, religadores entre outros.

Agradecimentos

À bolsa do PDA de "Inserção da prototipagem 3D no processo de desenvolvimento de produtos para profissionais da educação", assim como ao



projeto Balanço Energético da Metade Sul – Bioma Pampa no contexto da Transição Energética (BEMSPampa), em que a maquete vai ser aplicada, pois permitiram o aprimoramento e aplicação dos conhecimentos relacionados ao SEP, modelagem e prototipagem. Agradece-se, também, ao Edital AGP (Apoio a Grupos de Pesquisa), que possibilitou a compra de insumos para a maquete, tais como filamentos de diversas cores da marca GTMax3D e a Fapergs pelo apoio na compra da máquina CNC através do Edital 21/2551-0000512-2.

REFERÊNCIAS

- BROCKVELD, M. V. V.; TEIXEIRA, C. S.; SILVA, M. R. A Cultura Maker em prol da inovação: boas práticas voltadas a sistemas educacionais. **Anais...** Conferência ANPROTEC, 2017.
- CAMPOS, S. S. P.; CAVASSAN, O. A oficina de materiais recicláveis no ensino de ciências e nos programas de educação ambiental: refletindo sobre a prática educativa. **Anais...** VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), p. 27-01, 2007.
- DA SILVA PAES, T.; NETO, W. M. G.; DA SILVA, L. S. Projeto, modelagem e fabricação via impressora 3d de um modelo reduzido do rotor de uma Turbina Pelton para uso didático. **Exatas & Engenharias**, v. 10, n. 29, p. 13-14, 2020.
- DA SILVA TIBÚRCIO, N. M. et al. Resignificando objetos: a importância da confecção de brinquedos com materiais recicláveis no processo educativo infantil. **Humanidades & Inovação**, v. 6, n. 2, p. 207-223, 2019.
- FERREIRA, C. C.; GUTIERRES, L. F. F. Aprendizagem ativa por meio da prototipagem rápida em um Curso de Graduação em Engenharia de Energia. **Revista Thema**, v. 21, n. 3, p. 776-795, 2022.
- GUTIERRES, L. F. F. et al. Prototipagem 3D na componente curricular de tópicos especiais como apoio às ações extensionistas em escolas de Bagé. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 38, n. 1, 2019.
- JARAMISKI, S. I.; PACHECO, W. C. S.; ALVES, M. M. O Design e os materiais de manipulação na Educação Infantil. **Arcos Design**, v. 15, n. 1, p. 106-123, 2022.
- KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B.; ROBBA, E. J. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2005.
- MORAIS, T. A.; FONTENELLE, M. A. M. Alternativas tecnológicas para melhoria do ensino na disciplina de construção civil I. In: **Anais...** XXXI-Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Rio de Janeiro: UFRJ. 2003.
- TELLI, F. H.; LIBRELOTTO, L. I.; FERROLI, P. C. A importância da confecção de modelos físicos para a concepção de projetos de Habitações de Interesse Social (HIS). 2014.
- TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. F. Q.; SOARES, W. L. F. Processo para o desenvolvimento de cenários de treinamento para ambientes Virtuais 3D. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI). Fortaleza. CE, 2013.