

SISTEMA EMBARCADO, DE BAIXO CUSTO, PARA LIMPEZA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COM UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

Low Cost Embedded System for Cleaning Photovoltaic Modules

Using Rain Water

Robson da Cunha Santos⁸

Carlos Augusto dos Santos Vieira Júnior⁹

Jean Viana Ribeiro¹⁰

João Pedro Henriques¹¹

Resumo: Nos últimos anos observou-se um enorme crescimento na geração de energia solar através da utilização de painéis fotovoltaicos. Em 2015, o Brasil tinha produzido em sua matriz energética apenas 0,0008% em sistemas solares fotovoltaicos, atualmente, ultrapassa 1,00%. Um dos desafios encontrados na obtenção deste tipo de energia é o acúmulo de resíduos nos painéis, ocasionando assim uma difusão da luz solar. Tal difusão pode ocasionar perdas de até 25% de eficiência na geração, dependendo do acúmulo de sujeira nos painéis. A incidência de chuvas consegue diminuir os efeitos do acúmulo de sujeira e restaurar a eficiência para quase 100%. O projeto apresenta o desenvolvimento de um protótipo para limpeza dos módulos fotovoltaicos, para geração de energia, instalados nos telhados, lajes e terrenos de escolas, residências, comércios e indústrias. O funcionamento desse sistema ocorre através da criação de um sistema autônomo para limpar os módulos fotovoltaicos em regiões que ficam sem a incidência de chuvas por um período elevado. Estudos e aplicações do protótipo irão possibilitar a demonstração de um acréscimo significativo na energia produzida, quando comparada à energia gerada por um módulo fotovoltaico sem o sistema proposto. Serão utilizadas tecnologias como programação para Arduino, sensores de chuva, esguichos de água, relés, configurações e confecções de modelos em impressoras 3D. Por fim, o projeto visa capacitar os alunos do IFF e de escolas públicas quanto à instalação de painéis fotovoltaicos, suas limpezas, iniciativa na área de programação e automação industrial com uso da plataforma Arduino.

Palavras-chave: *Painéis fotovoltaicos; protótipo; limpeza; reaproveitamento de água da chuva.*

⁸ Doutorado em Engenharia Civil, subárea Petróleo e Gás COPPE/RJ (2020), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal Fluminense (2000) e graduado em ENGENHARIA ELÉTRICA pela Universidade Católica de Petrópolis (1992). Professor Concursado do Instituto Federal Fluminense (IFF/Macaé)

⁹ Estudante Engenharia. Instituto Federal Fluminense. karlosjunior99@gmail.com. 0000-0003-4739-0141

¹⁰ Estudante Engenharia. Instituto Federal Fluminense / jean.ribeiro@gsuite.iff.edu.br. 0000-0002-2971-677X

¹¹ Estudante Engenharia. Instituto Federal Fluminense / joaopehen98@gmail.com. 0000-0003-3852-8356

Abstract: The last few years have seen an enormous growth in electricity generation from solar panels. In 2015, Brazil had generated only 0.0008% of its energy mix with photovoltaic panels. Currently, that value is over 1%. However, the build up of dust particles and residues on the photovoltaic cells of the biggest challenges faced, as it directly affects the nominal electricity generation capacity. Despite that, rainfall can naturally clean the solar panels and restore their efficiency almost 100% percent. The Project presents the development of autonomous device able to clean photovoltaic modules by utilizing collected rainwater. The device is intended to be used on roofs, slabs, and lands residencies, schools, stores, and industries where rainfall is infrequent. Further Studies And Applications Of The Prototype Will demonstrate a significant increase in the generated Power compared to solar panels with out the proposed system. Technologies like wiring programming for Arduino, rain and water level sensors, water pumps, sprinklers, relays, and 3D printed models Will be used in the project. Lastly, the Project intends to instruct and educate IFF and public schools student regarding the installation of solar panels, their cleaning processes, while also giving an introduction to programming and industrial automation.

Keywords: *Photovoltaic panels; prototype; cleaning; collected rainwater*

Introdução

Segundo Demonti (1998), a forma mais simples de se obter energia elétrica a partir da energia solar é por meio de sua conversão através dos painéis solares. Por meio deles, é possível obter energia de uma forma menos agressiva ao ambiente, diferentemente do caso de usinas termelétricas, por exemplo.

É comum aos painéis solares, como a qualquer outro objeto exposto às ações climáticas, o acúmulo de sujeira. De acordo com Sulaiman et al. (2014), medições realizadas na região de Riyadh, na África do Sul, apontam para uma diminuição na eficiência da performance dos painéis solares na casa dos 30% em um período de oito meses. Além disso, pesquisas conduzidas em laboratório com o intuito de testar tais quedas de performance, expuseram os painéis à areia, talco, poeira e musgo. Essas pesquisas conseguiram observar, para radiação de luz de 310 W/m², diminuições de até 70% quando havia acúmulo de poeira e de mais de 80% em situações em que houve crescimento de musgos.

Estudos foram realizados com o intuito de comparar as várias formas de limpeza e remoção dos resíduos das células fotovoltaicas. Dentre elas, a limpeza natural dos painéis devido a incidência de chuvas foi observada como uma das formas viáveis de restaurar a capacidade de geração de energia dos painéis para quase 100%, segundo Smith et al. (2013). Em regiões onde a incidência de chuvas é infrequente, entretanto, torna-se necessário a limpeza manual dos painéis para restaurá-los, novamente, a plena capacidade.

Materiais e métodos

Os principais materiais presentes na construção do protótipo de limpeza de painéis foram: uma unidade microcontroladora NodeMCU; sensores de chuva e umidade; placa de prototipagem (protoboard); relés; jumpers; uma bomba de 12VDC e 19W e um sensor de nível.

Protótipo Físico

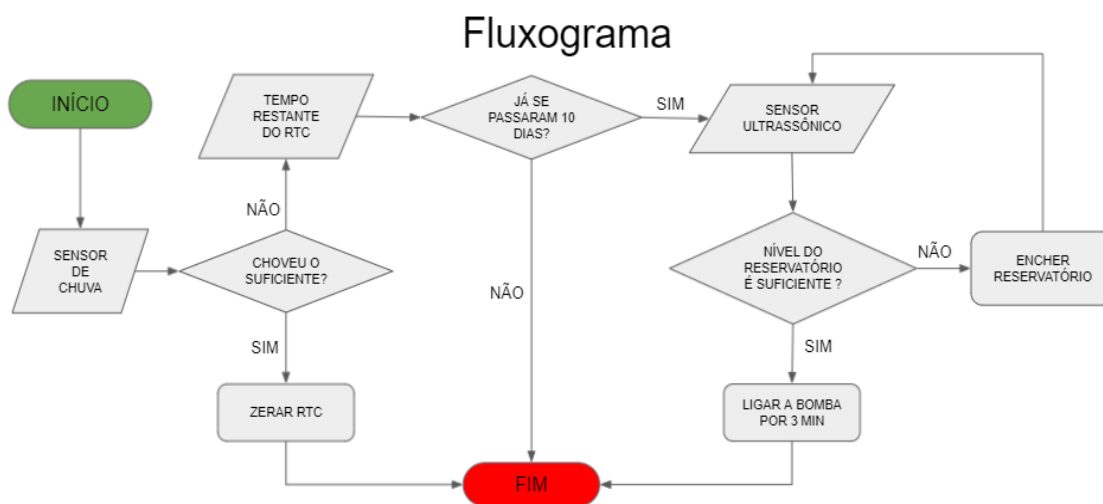
A parte física do projeto é responsável por interligar todos os componentes acima e, junto a lógica de programação implementada, controlar o uso da água, baseando-se em parâmetros medidos do ambiente externo.

Através dos sensores de chuva, é reconhecido o nível de umidade no ambiente e feita uma contagem da duração. Por meio destes parâmetros, são atribuídos valores para determinadas faixas de umidade, utilizados em um sistema de pontuação, necessário para

definir se a chuva foi suficiente para limpar os painéis ou não. Além disso, um sensor de nível é utilizado para verificar se a água presente no reservatório é suficiente.

Caso a chuva não tenha sido suficiente e estando o reservatório cheio, a água é utilizada para limpeza automática dos painéis, utilizando a bomba. No caso de o reservatório estar vazio, é necessário o uso de outra fonte para enchê-lo. Na Figura I, é mostrado o esquema geral de funcionamento.

Figura I: Fluxograma do protótipo



Fonte: Autoria própria

Inicialmente, os protótipos foram testados de forma unitária, sendo dividido entre testes do NodeMCU com a bomba e testes com o aplicativo/plataforma Blynk (ver próxima seção). A escolha deste dispositivo foi feita no passo em que se tornou necessário a utilização de um dispositivo com capacidade de conexão de rede via WiFi. Tendo em vista essa necessidade, foi considerado a utilização do Arduino em conjunto com um módulo WiFi e posteriormente o NodeMCU, que atendia de forma simultânea, aos dois requisitos (Graça, 2017).

Foram realizadas reuniões entre os membros da equipe, presencial e remotamente, a fim de alinhar novas ideias e metas, bem como, atualizar a todos sobre o desenvolvimento das duas divisões.

Durante a fase de desenvolvimento, certos aspectos foram modificados. Primeiramente, o módulo RTC (*Real time clock*) físico, para a contagem de tempo, foi substituído por um RTC digital, disponibilizado pelos servidores do Blynk, possibilitando uma precisão maior e uma diminuição no custo. Adicionalmente, a bomba foi trocada para uma mais potente nos processos finais do projeto.

A troca da bomba foi baseada nos testes com a primeira, utilizando-se um painel fotovoltaico, com dimensões 2,0 x 1,0 metros, em uma inclinação de 22° com a superfície. A limpeza foi possibilitada por uma mangueira acoplada na parte superior do painel, com 12 furos ao longo dos 100 cm, nos quais a água passava. Para a simulação da sujeira no painel, foi feita uma pesquisa sobre a composição da poeira e, o material escolhido foi pó de tijolo. Ao final dos testes, obteve-se o valor de vazão necessário para uma limpeza eficiente dos painéis. A bomba comprada possui uma vazão de aproximadamente 1,11x maior do que a anterior. Com esta nova bomba, a limpeza pôde ser completa em 1 min. e 30 segundos.

Devido à pandemia houve poucas reuniões presenciais, mas na última reunião da equipe feita nas instalações do IFF, o protótipo comportou as duas partes e se tornou um único produto, pois cada aluno envolvido no projeto estava desenvolvendo separadamente em suas residências.

Aplicativo

Originalmente o projeto visava o desenvolvimento de um *app* utilizando o Flutter, porém, sendo o projeto um protótipo, o BlynkIoT, por ser voltado para projetos como este, apresentou diversas facilidades que possibilitaram um desenvolvimento mais rápido e focado.

A idealização do aplicativo se deu para viabilizar ao usuário a visualização do desempenho do limpador ao longo do tempo, sendo possível identificar o período desde a última limpeza, se há chuva e se a sua intensidade é suficiente para a limpeza do painel. Utilizando a plataforma do Blynk, foi possível desenvolver a conexão de dispositivos por meio da internet. As informações foram passadas pelo microcontrolador escolhido para uso (NodeMCU no caso específico do projeto) ao dispositivo virtual criado no console do Blynk que, por sua vez, estava conectado à interface desenvolvida no aplicativo para celular, disponibilizado pelo próprio Blynk.

Para que a conexão ocorresse foi necessária a adição de linhas de código ao script original do protótipo, contendo a identificação do template, o nome dado ao dispositivo criado pelo celular e o token de autenticação. Durante o projeto, foram realizadas duas refatorações de código, a fim de deixar o programa mais enxuto e otimizado. Em especial, na segunda refatoração, o código já havia sido integrado com o código da outra divisão de grupo, para testes com a bomba.

Git e Github

A fim de promover um desenvolvimento mais rápido e com constante atualização da equipe sobre este, decidiu-se usar o Git, um programa livre e de código aberto para versionamento distribuído de código, em conjunto com o Github, uma plataforma em nuvem para armazenamento de código-fonte e arquivos com controle de versão, utilizando o Git (Tableless, 2012).

Primeiramente, a equipe pôs-se a estudar conteúdos introdutórios e suficientes para que se pudesse usar o básico desses dois sistemas. Posteriormente, foram criados repositórios no Github, os quais armazenam o código-fonte do módulo de controle de limpeza e do aplicativo que irá se conectar com o mesmo. Após isso, todos os membros foram adicionados aos repositórios como contribuidores, podendo baixar a última versão do código que foi feita, bem como, promover novas modificações e mandá-las ao Github. Em termos mais explícitos, cada repositório possui todo o histórico de desenvolvimento respectivo a cada divisão, estando disponível a qualquer hora e lugar. A Figura II mostra um exemplo de uso do Git.

Figura II - Exemplo de uso do Git

```

dileg@ita:~$ git status
# On branch master
#
# Initial commit
#
# Untracked files:
#   (use "git add <file>..." to include in what will be committed)
#
#   buttons-social-base.jpg
#   buttons-social-black.jpg
#   buttons-social-sidebar.jpg
#   buttons-social-top.jpg
#   buttons-social-white.jpg
nothing added to commit but untracked files present (use "git add" to track)
dileg@ita:~$ git add buttons-social-base.jpg
dileg@ita:~$ git status
# On branch master
#
# Initial commit
#
# Changes to be committed:
#   (use "git rm --cached <file>..." to unstage)
#
#   new file:   buttons-social-base.jpg
#
# Untracked files:
#   (use "git add <file>..." to include in what will be committed)
#
#   buttons-social-black.jpg
#   buttons-social-sidebar.jpg
#   buttons-social-top.jpg
#   buttons-social-white.jpg
dileg@ita:~$
  
```

- 1 Arquivos UNTRACKED, ou seja, ainda não controlados pelo Git.
- 2 Usei o comando git add para controlar um arquivo.
- 3 Agora ele está tracked, esperando para ser commitado.
- 4 Estes arquivos ainda não estão controlados pelo Git. Untracked.

Fonte: Tableless (2012)

Projetos de Micro Usinas

A equipe estudou sobre as possibilidades de instalações de micro usinas em alguns locais onde a equipe do professor Doutor Bruno Barzellay fez estudos de eficiência energética.

A equipe adquiriu a planta de toda Cidade Universitária para estudo, planejamento e identificação da possibilidade de instalação de uma micro usina fotovoltaica no telhado do Bloco A.

Pela figura III a seguir, pode ser identificado o bloco A e o posicionamento do telhado. Com esta imagem é possível calcular e planejar a instalação de um micro usina no local. Também foi visualizado e identificado a direção dos telhados em relação ao Norte geográfico,

onde seria o melhor posicionamento dos módulos. Ainda pode se observar a representação do Norte Geográfico e a orientação para instalação dos módulos fotovoltaicos (FV). Em detalhe na figura, está o arranjo dos módulos fotovoltaicos, que foram calculados e projetados para uma possível instalação no local. Fica a observação que este seria o melhor local para se instalar módulos fotovoltaicos com maior eficiência energética e geração distribuída.

Figura III: Representação do Norte Geográfico e Orientação para os Módulos FV



Fonte: Autoria Própria.

Foram calculados e planejados uma instalação com: 170 módulos de 545 W; uma potência instalada de 92,65 kWp; geração média mensal de 11,5 MWh; uma economia de R\$ 12.734,00 mês e R\$ 41.460.780,00 em 25 anos. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE,2021), a média de consumo nas residências brasileiras foi de 162 kWh/mês, dessa forma, a instalação no Bloco A da Cidade Universitária seria suficiente para suprir 70 residências.

Outro estudo, projeto e cálculo ocorreu na Escola M. de Educação Infantil Mai Carmen de Jesus França para instalação de uma micro usina fotovoltaica no telhado da mesma. A equipe adquiriu a planta da escola para estudo, planejamento e identificação da possibilidade da instalação. Na figura IV estão representados o Norte Geográfico e a orientação para instalação dos módulos fotovoltaicos (FV).No detalhe da figura, está o arranjo dos módulos fotovoltaicos, calculados e projetados para uma possível instalação no local. Fica a observação que este seria o melhor local para se instalar módulos fotovoltaicos com maior eficiência energética e geração distribuída.

Figura IV: Norte Geográfico, Orientação e Arranjo dos Módulos FV



Fonte: Autoria Própria.

Para esta escola, foram calculados e planejados uma instalação com: 50 módulos de 545 W; uma potência instalada de 27,25 kWp; geração média mensal de 3,4 MWh; uma economia de R\$ 3.645,00 mês e R\$ 10.700.000,00 em 25 anos. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE,2021), a média de consumo nas residências brasileiras foi de 162 kWh/mês, dessa forma, a instalação em um dos telhados da Escola seria suficiente para suprir 21 residências populares.

A equipe foi consultada sobre a possibilidade de um projeto na empresa Vox2you no centro de Macaé. Houve um estudo, projeto e cálculo na empresa, indicada pelo professor Bruno Barzellay da equipe de eficiência energética para instalação de uma micro usina fotovoltaica para melhorar o aquecimento na entrada do escritório. Através de uma possível análise termo-energética o professor identificou que seria interessante ter uma pequena varanda na entrada. Por este motivo, foi proposto uma varanda com painéis fotovoltaicos bifaciais. Dessa forma, a instalação dos módulos, além de gerar energia e suprir o consumo, vai servir para sombrear a fachada do prédio, de forma que os ganhos térmicos provenientes da radiação solar vão diminuir, reduzindo a necessidade de acionamento do condicionamento de ar.

Pela figura V a seguir, pode ser identificado o local para ser instalada a pequena cobertura em módulos fotovoltaicos. Com esta imagem é possível calcular e planejar a instalação de um micro usina no local. Também foi visualizado e identificado a direção da varanda em relação ao Norte geográfico, onde seria o melhor posicionamento dos módulos.

Na mesma figura, estão representados o Norte Geográfico e a orientação para instalação dos módulos fotovoltaicos (FV). Como pode ser observado, os módulos não estarão diretamente voltados para Norte, por este motivo podem perder cerca de 15% da sua eficiência se estivesse para Norte.

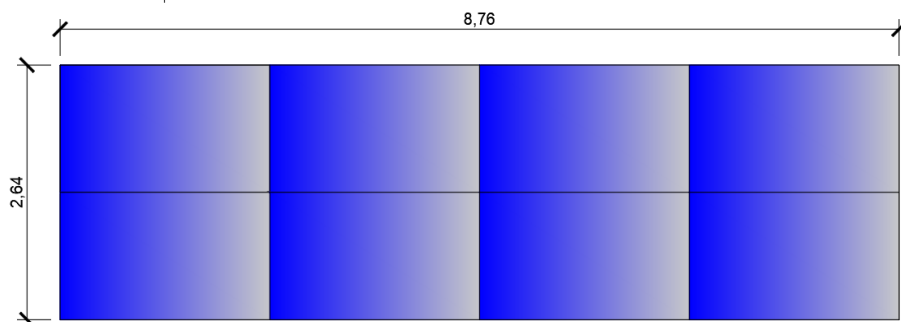
Figura V: Imagem de Satélite e orientação – Empresa Vox2you



Fonte: GoogleMaps, 2021

Na figura VI, está o arranjo dos módulos fotovoltaicos que foram calculados e projetados para uma possível instalação no local. Fica a observação que este seria o melhor local para se instalar módulos fotovoltaicos com maior eficiência energética e geração distribuída.

Figura VI: Arranjo dos Módulos



Fonte: Autoria Própria.

Já na figura VII, um modelo como poderia ficar a varanda com os módulos bifaciais. Esses módulos podem gerar até 30% a mais do que um módulo comum.

Figura VII: Exemplo de uma varanda com módulos bifaciais



Fonte: Portal Energia, 2021.

Foram calculados e planejados uma instalação com: 8 módulos de 590W – bifaciais; uma potência instalada de 4,72kWp; geração média mensal de 767kWh; uma economia de R\$ 843,00 mês e R\$ 1.436.870,00 em 25 anos e um pay-back de 32 meses.

Resultados

Os resultados obtidos nos testes unindo o app e o protótipo foram satisfatórios. O módulo ficou completamente limpo em pouco tempo. Com o devido investimento, o projeto pode se tornar bem mais sofisticado, sendo uma opção eficiente e barata, comparada a produtos semelhantes que temos no mercado de energia fotovoltaica. Observou-se também, o devido funcionamento do processo de limpeza ao integrar o dispositivo de limpeza com o módulo de controle, os resultados obtidos foram coerentes com a lógica da programação fornecido pelos outros integrantes do grupo.

Quanto aos cálculos e planejamentos na Cidade Universitária (Bloco A); na Escola M. de Educação Infantil Mai Carmen de Jesus França e a empresa Vox2you no centro de Macaé, podem ser facilmente aplicados aos estabelecimentos, pois foram realizados com dados reais. De forma, a eficiência energética em cada um dos locais aumentará e haverá uma economia de energia considerável.

Discussão

Algumas dificuldades apareceram durante a elaboração do projeto. Devido ao período de pandemia, dificuldades inerentes ao tipo de projeto se sobressaíram. Por conta do distanciamento social, os membros da equipe tiveram que realizar testes unitários em suas

residências, a fim de desenvolver cada tecnologia utilizada no projeto, tendo apenas um deles, contato com todos os componentes eletrônicos e um painel fotovoltaico, assim, aumentando o tempo de desenvolvimento e *delay* na troca de informações.

Nesse sentido, o uso do *Git* e *Github* foi essencial para diminuir o efeito deste fato, podendo cada membro visualizar e modificar o código de cada um, a qualquer momento e lugar. Porém, ainda assim foram necessárias reuniões presenciais, a fim de avançar o projeto mais rapidamente e encaminhar aos processos finais. A reunião de junção de códigos foi provavelmente um marco nesse aspecto, pois todos os envolvidos puderam agregar informações de forma conjunta.

Outro dado marcante foi a compra da nova bomba para a montagem do protótipo final, foi possível realizar os testes finais para refinar o sistema de pontuação e avaliar o desempenho de limpeza. Nos testes, utilizando um reservatório de 20L, o painel pôde ser limpo com 1 minuto e 30 segundos, aproximadamente, de atividade da bomba. Teste realizado com sucesso.

Considerações finais

Durante a execução desse protótipo, houve bastante aprendizado em diversas tecnologias. A construção de um sistema IoT permitiu aprimorar e elevar o conhecimento dos alunos sobre microcontroladores, podendo ainda, conhecer uma nova plataforma (Blynk) amplamente utilizada no mercado. Um ganho no conhecimento sobre energia fotovoltaica, módulos fotovoltaicos, projeto de instalação, cálculo de instalação, dentre outros. Se trata de uma tecnologia em alta e que pode ser uma fonte de energia elétrica principal nas escolas, casas e indústrias.

Referências:

DEMONT, R. **Sistema de Co-Geração de Energia a Partir de Painéis**

Fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em dez.2021.

GRAÇA, Pedro Cannavale. **Sistema de aquisição de dados utilizando o módulo ESP8266 NodeMCU**. 2017. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/156909> - acesso em out. 2021.

MATTHEW, S. et al (2013). **Effectsof Natural and Manual CleaningonPhotovoltaic Output**. Journalof Solar Energy Engineering. 135. 034505-034505. 10.1115/1.4023927. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/guia/flutter/40713>>. Acesso em out. 2021.

PORTAL ENERGIA - Painéis solares de dupla face ameaçam painéis solares tradicionais. Disponível em

<https://www.portal-energia.com/paineis-solares-dupla-face-ameacam-paineis-solares-tradicionais-148160/>. Acesso em 27 de Dez. de 2021.

SMITH, M. et al (2013). **Effectsof Natural and Manual CleaningonPhotovoltaic Output**. **Journalof Solar Energy Engineering**. 135. 034505-034505. 10.1115/1.4023927. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/262300214_Effects_of_Natural_and_Manual_Cleaning_on_Photovoltaic_Output>. Acesso em out. 2021.

SULAIMANA, S. A. et al. **InfluenceofDirtAccumulationon Performance of PV Panels**. Selectionandpeer-review underresponsibilityofthe Euro-MediterraneanInstitute for SustainableDevelopment (EUMISD). doi: 10.1016/j.egypro.2014.06.006

TABLELESS. **Iniciando no GIT – Parte 2**. Disponível em:

<<https://tableless.com.br/iniciando-no-git-parte-2>>. Acesso em 26 de dez. 2021.