



Gateway de comunicação Sunspec Modbus para inversores fotovoltaicos

SunSpec Modbus communication gateway for photovoltaic inverters

João Paulo Ferreira Neto¹,

Gustavo Weber Denardin²

RESUMO

O aumento da adoção da energia fotovoltaica está estimulando a presença de múltiplos fornecedores e produtos no mercado. Conforme mais pessoas e empresas adotam sistemas solares, diferentes fornecedores entram em cena, oferecendo uma ampla gama de opções para atender às crescentes necessidades. Essa crescente adoção tem intensificado a necessidade de padronização e interoperabilidade nos sistemas fotovoltaicos. Nesse contexto, um segmento de produtores e fornecedores tem proposto melhorias a esse desafio por meio do desenvolvimento dos padrões SunSpec. Este estudo propõe o desenvolvimento de um gateway de aplicação com finalidade de traduzir a comunicação entre o protocolo Modbus, utilizado nos inversores Huawei da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no campus Pato Branco (UTFPR-PB), e os modelos padronizados estabelecidos pela SunSpec. A criação desse ambiente de integração aderiu estritamente às diretrizes estabelecidas tanto pela Huawei quanto pela SunSpec Alliance. O sistema desenvolvido foi embarcado em um single-board computer Raspberry Pi que viabilizou uma comunicação eficaz entre os inversores e permitindo o envio de comandos de controle de potência utilizando os padrões SunSpec. Esse trabalho mostra o potencial para aprimorar ainda mais a interoperabilidade no contexto dos sistemas fotovoltaicos com diferentes tipos de comunicação e reforça a relevância contínua desse campo em evolução.

PALAVRAS-CHAVE: gateway; modbus; sunspec.

ABSTRACT

The increasing adoption of photovoltaic energy is stimulating the presence of multiple suppliers and products in the market. As more individuals and businesses embrace solar systems, different suppliers come into play, offering a wide range of options to meet the growing needs. This growing adoption has heightened the need for standardization and interoperability in photovoltaic systems. In this context, a segment of producers and suppliers has proposed improvements to this challenge through the development of SunSpec standards. This study proposes the development of an application gateway with the purpose of translating communication between the Modbus protocol, used in Huawei inverters at the Federal University of Technology – Parana, Campus Pato Branco (UTFPR-PB), and the standardized models established by SunSpec. The creation of this integration environment strictly adhered to the guidelines set forth by both Huawei and the SunSpec Alliance. The system developed was embedded in a single-board computer Raspberry Pi that enabled effective communication between the inverters, allowing for the transmission of power control commands using SunSpec standards. This work demonstrates the potential to further enhance interoperability in the context of photovoltaic systems with different communication types and reinforces the ongoing relevance of this evolving field.

KEYWORDS: gateway; modbus; sunspec.

¹ Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: joaopaulo.ferreiraneto@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5500138717815584>.

² Docente no Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: gustavo.denardin@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4251219281955392>.



INTRODUÇÃO

As energias renováveis desempenham um papel importante na evolução em de um sistema energético mais sustentável. Ao contrário dos combustíveis fósseis, que são finitos e poluentes, as fontes renováveis, como a energia solar, eólica e hidrelétrica, são ecologicamente benéficas (MITIGATION, 2011). Essas opções não apenas diminuem as emissões de carbono, mas também impulsionam a inovação tecnológica e geração de novos empregos (IRENA; ILO, 2021).

O crescente aumento na adesão à energia fotovoltaica é evidenciado pelo crescimento da geração de energia através dessa tecnologia (REN21, 2022). De acordo com relatórios da Agência Internacional de Energia (AIE) e da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), a capacidade global de geração de energia solar fotovoltaica tem experimentado um crescimento notável nos últimos anos (IRENA; ILO, 2021; REN21, 2022). Além disso, os incentivos governamentais e os avanços tecnológicos na eficiência dos painéis solares contribuíram para tornar a energia fotovoltaica mais acessível e atrativa para residências, empresas e instalações industriais (MINAS E ENERGIA, 2023).

O Brasil tem testemunhado um notável crescimento no uso desta energia, consolidando-se como um dos líderes emergentes na adoção dessa fonte de energia limpa e renovável (IRENA; ILO, 2021). O crescimento deste mercado trouxe consigo uma consequência desafiadora: equipamentos com protocolos de comunicação próprios. Essa diversidade de protocolos dificulta a criação de um meio unificado para coletar informações de sistemas heterogêneos. Conforme destacado pela AIE em seu relatório sobre integração de energias renováveis, a falta de padronização nos protocolos de comunicação representa um obstáculo para a eficiência e monitoramento eficaz desses sistemas variados (IEA, 2020). À medida que o setor solar continua a expandir, a busca por soluções de interoperabilidade e padronização de protocolos se torna ainda mais necessária.

Diante da complexidade desse desafio, surgiu uma iniciativa colaborativa da comunidade de produtores e armazenadores de energia, que ficou conhecida como SunSpec Alliance. Essa aliança tem como principal propósito a elaboração de diretrizes padronizadas que permitam a integração dos sistemas fotovoltaicos (ALLIANCE, 2023). O padrão desenvolvido pela SunSpec representa informações operacionais de sistemas de energia solar fotovoltaica e unidades de armazenamento de energia em uma estrutura baseada em modelos. Ao adotar os modelos da SunSpec, os dispositivos podem comunicar-se de maneira síncrona, independentemente do fabricante ou da tecnologia específica utilizada, o que promove a integração otimizada de sistemas de energia renovável na rede elétrica inteligente. Essa padronização abrange ainda as usinas de armazenamento inseridas no contexto destas redes (ALLIANCE, 2023).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo consistiu em criar uma API destinada a um dispositivo gateway com a habilidade de interpretar os protocolos Modbus para os formatos preconizados pela norma SunSpec. Com essa iniciativa, desejou-se estabelecer uma colaboração com a comunidade, alinhada aos princípios da SunSpec Alliance.



METODOLOGIA

Primeiramente, procedeu-se ao levantamento dos requisitos essenciais da API, bem como à definição dos formatos de dados associados aos modelos Modbus e, posteriormente, aos padrões estipulados pela SunSpec. Esta etapa aborda considerações como o fator de escala empregado para representar os atributos em cada modelo, enfatizando, adicionalmente, a necessidade de transição de base quando as características dos tipos de dados diferem entre as comunicações.

Em um estágio subsequente, procedeu-se à elaboração do projeto da API, o qual abrangeu a identificação das bibliotecas essenciais para a implementação, bem como a definição de sua arquitetura. Além disso, foram delineadas as funções centrais a serem desenvolvidas e realizado o mapeamento minucioso dos modelos pertinentes tanto da Huawei quanto da SunSpec.

Para o desenvolvimento do gateway foram agrupados conjuntos de registradores do inversor estudado, onde são descritos a faixa de endereço dos registradores, nome da variável, tipo de dados, tamanho, acesso a escrita e valores iniciais, como exemplo na figura 1.

Figura 1 – Representação do modelo Huawei.

```
Modelo 5 - Huawei
inicio_endereço: 32064,
fim_endereço: 32094,
num_modelo: 5,
qntd_registradores: 31,
dados: Vec::new ( ),

HuaweiI32(nome:"Input power", offset: 0,tamanho: 2,
         acesso: false, valor: 0);
HuaweiU16(nome:"Uab", offset: 2,tamanho: 1,
         acesso: false, valor: 0);
HuaweiU16(nome:"Ubc", offset: 3,tamanho: 1,
         acesso: false, valor: 0);
HuaweiU16(nome:"Uca", offset: 4,tamanho: 1,
         acesso: false, valor: 0);
HuaweiU16(nome:"Ua", offset: 5,tamanho: 1,
         acesso: false, valor: 0);
HuaweiU16(nome:"Ub", offset: 6,tamanho: 1,
         acesso: false, valor: 0);
...
HuaweiI16(nome:"Power factor", offset: 20,tamanho: 1,
         acesso: false, valor: 0);
...
HuaweiU16(nome:"Start time" offset: 27,tamanho: 2,
         acesso: false, valor: 0);
HuaweiU32(nome:"Shutdown time", offset: 29,
         tamanho: 2, acesso: false, valor: 0);
```

Fonte: Elaborado por autores (2023).

Então foi realizado a leitura desse grupo de registradores periodicamente. Ao receber com sucesso a leitura, foi criado funções que convertem os dados do modelo da Huawei para um modelo Sunspec. A conversão das variáveis entre os modelos envolve fatores que devem ser levados em consideração devido a divergência entre os modelos estudados, dentre eles: o tipo de dados e seu tamanho. Além disso, alguns dados devem passar por tratamentos lógicos e/ou aritméticos para se adequar aos modelos propostos.

No processo de escrita, o gateway recebe um evento que sinaliza uma mudança nos valores. Após a conversão, os modelos Sunspec são atualizados com os novos valores. Essas modificações nos modelos são atualizadas nos modelos equivalentes da Huawei, que são posteriormente transmitidos para o inversor.

Este protótipo foi embarcado a uma Raspberry Pi 4 e conectado à rede do inversor Huawei localizado na UTFPR. Posteriormente, foram realizados testes com uma Raspberry Pi Zero W. Tal integração possibilitou a execução dos testes abrangendo a leitura dos registradores, assim como a



realização do envio de comandos de controle.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gateway desenvolvido neste trabalho atende a essa necessidade, uma vez que pode atuar como um tradutor para qualquer inversor, desde que sejam criados modelos de dados e suas respectivas funções de conversão para cada marca. Dessa forma, um operador pode controlar múltiplos equipamentos usando modelos padronizados. Neste estudo, um inversor da Huawei foi utilizado para testar a conversão entre os diferentes modelos. O padrão de registradores foi mapeado conforme documentado pelo fornecedor (Solar Inverter Modbus Interface de agosto de 2021).

No total, foram desenvolvidos dezesseis modelos Huawei, cada um deles projetado para coletar informações do inversor, abrangendo desde os detalhes fundamentais, como fabricante, potência gerada e fator de potência, até mesmo os vetores de pontos necessários para o controle da potência. Esses modelos demonstraram eficácia tanto na leitura quanto na gravação de uma ampla variedade de informações, resultando na produção de registros de dados.

Como foi descrito anteriormente, os modelos SunSpec são projetados para simplificar a instalação e operação de sistemas de energia solar fotovoltaica e armazenamento de energia. O desenvolvimento de modelos de controle eficientes, como os fornecidos pela SunSpec Alliance, é crucial para gerenciar diferentes tipos de energia elétrica e otimizar a transferência de energia na rede. Neste trabalho foi possível implementar cinco modelos SunSpec baseando-se na documentação da IEEE Std. 1547.1 — 2020, são eles os modelos 701, 702, 703, 704 e 705 (IEEE. . . , 2020).

Conforme Kaewnukultorn, Sepúlveda-Mora e Hegedus (2022) relatam, em diferentes contextos de rede, um operador pode desejar alternar entre estratégias de controle, como mudar de uma curva volt-var para o ajuste do fator de potência, a fim de alcançar uma maior flexibilidade. Para viabilizar essa adaptabilidade, é necessário atualizar a rede distribuída de forma remota e dinâmica por meio de um canal de comunicação, como a implementação do Modbus SunSpec sobre TCP/IP. Os modelos SunSpec abrangem diversas formas de controle, entretanto nem todos esses modos são suportados pelos inversores. Neste trabalho só foi possível implementar dois modelos de controle, foram eles: 704 - Modelo de controle por corrente alternada e 705 - Modelo Volt-Var

Assim como Johnson et al. (2021), nós observamos que alguns requisitos obrigatórios dos modelos SunSpec não puderam ser identificados na documentação dos registradores do inversor. É possível que a versão do inversor em questão ainda não esteja em conformidade com os tópicos obrigatórios dos modelos SunSpec mencionados.

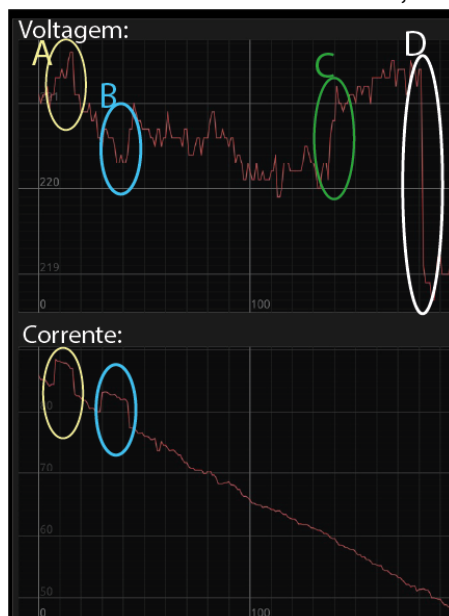
Com esse trabalho foi possível ler informações dos inversores seguindo os modelos SunSpec (701, 702 e 703) assim como realizar requisições de controle para a produção de energia, fossem eles por fatores fixos (704) ou por curva (705). Segundo Heilscher et al. (2019) em ordem para garantir uma estabilidade na rede nos eventos de congestionamento, medidas como o gerenciamento da alimentação devem ser adotadas tanto pelos operadores da rede de distribuição quanto pelos operadores das usinas para evitar picos de geração de energia fotovoltaica (HEILSCHER et al., 2019).

Carvalho et al. (2022) discute o problema do excesso de energia reativa na rede elétrica, o qual causa perdas e degradação na tensão. Além disso, destaca a importância da compensação de

reativos para os consumidores, pois a ANEEL impõe custos adicionais para aqueles com fator de potência inferior a 0,92.

Na figura 2, pode-se observar o controle da geração utilizando o modelo 704, com a modificação do fator de potência reativa. Logo nos momentos iniciais, é notável uma variação na tensão do barramento, com uma elevação inicial (ponto A) seguida de uma queda (ponto B). Essa oscilação é resultado da injeção de reativo *over excited*, ou indutivo, seguido pela absorção de reativo *under excited*, ou capacitivo. Além disso, é importante destacar que essas variações na injeção de reativo também resultaram em um aumento na corrente. Também é possível notar que a própria subestação ajusta o TAP do transformador, provocando um degrau na tensão (pontos C e D) para regular a sua tensão.

Figura 2 – Controle de geração utilizando o modelo da Huawei 704, variando o fator de potência reativa.



Fonte: Elaborado por autores (2023).

Os resultados obtidos reforçam a importância do controle dos inversores fotovoltaicos na rede de distribuição, devido a possibilidade de gerenciamento e estabilização da rede elétrica com alta penetração de recursos energéticos distribuídos. Os gateways para conversão de protocolos são muito importantes nesse cenário, permitindo o acesso a informação padronizada das informações instantâneas e de parametrização desses recursos energéticos distribuídos, como os inversores de potência fotovoltaicos.

CONCLUSÃO

Ao final desse trabalho foi possível implementar com sucesso uma API gateway para inversores Huawei em um sistema fotovoltaico da UTFPR, estabelecendo comunicação através do protocolo Modbus, seguindo as diretrizes do modelo SunSpec.

Os modelos Huawei e suas funções de conversão mostraram alta eficácia na operação dos registradores do inversor. Também foi possível demonstrar que o controle da geração de energia ativa



ou injeção/absorção de energia reativa podem alterar a tensão no barramento, permitindo um ajuste mais eficaz do sistema de distribuição de energia elétrica com alta penetração de energia renovável

Devido ao tempo limitado para a conclusão deste trabalho, sugere-se, para estudos futuros, a implementação de outros modelos da SunSpec além de uma interface para seu gerenciamento.

Agradecimentos

Agradeço a Fundação Araucária pelo apoio financeiro e ao meu professor orientador Gustavo Denardin pela orientação durante o período de desenvolvimento da atividade.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- ALLIANCE, SunSpec. **SunSpec Alliance Mission**. 2023. Disponível em: [☞](#).
- CARVALHO, José Henrique S et al. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com Capacidade de Compensação de Potência Reativa. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 2, n. 1, 2022.
- HEILSCHER, Gerd et al. Integration of photovoltaic systems into Smart Grids Demonstration of Solar-, Storage and E-mobility applications within a secure Energy Information Network in Germany. In: IEEE. 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). [S.l.: s.n.], 2019. P. 1541–1548.
- IEA. **Introduction to System Integration of Renewables**. Paris, 2020. Disponível em: [☞](#).
- INSTITUTE OF ELECTRICAL e ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **IEEE Std. 1547.1 — 2020**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: [☞](#).
- IRENA; ILO. **Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2021**. Abu Dhabi, Geneva, 2021. P. 1–98. Disponível em: [☞](#).
- JOHNSON, Jay et al. Evaluation of interoperable distributed energy resources to iee 1547.1 using sunspec modbus, iee 1815, and iee 2030.5. **IEEE Access**, IEEE, v. 9, p. 142129–142146, 2021.
- KAEWNUKULTORN, Thunchanok; SEPÚLVEDA-MORA, Sergio B; HEGEDUS, Steven. Characterization of Voltage Stabilization Functions of Residential PV Inverters in a Power Hardware-in-the-Loop Environment. **IEEE Access**, IEEE, v. 10, p. 114802–114813, 2022.
- MINAS E ENERGIA, Ministério de. **Boletim Mensal de Energia – Abril 2023**. [S.l.], 2023. P. 1–10. Disponível em: [☞](#).
- MITIGATION, Climate Change. IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. **Renewable Energy**, v. 20, n. 11, 2011.
- REN21. **Renewables 2022 Global Status Report**. [S.l.], 2022. P. 1–309. Disponível em: [☞](#).