

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM ANÁLISE DE GERAÇÃO PRÓPRIA

Autores: Eduardo Veiga de Toledo Arruda; Alexandre Tardelli, Patrícia Marcondes dos Santos

¹Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, autor1 eduardoarruda@me.com; autor2 tardelli@univap.br; autor3 patriciams@univap.br.

Resumo

Este trabalho apresenta uma leitura de consumo doméstico voltada para a análise da eficiência energética em sistemas de geração distribuída fotovoltaica com foco no monitoramento, controle e automação do consumo. O objetivo é implementar um sistema baseado em transformadores de corrente (TCs) para realizar a leitura da energia injetada na rede elétrica, integrando os dados de geração dos painéis solares, permitindo o acionamento inteligente de cargas. A metodologia envolve o desenvolvimento de hardware com Arduino, integração com contadores, captura de dados e análise em servidor dedicado. Dados preliminares apontam ganhos econômicos e maior confiabilidade no aproveitamento da energia gerada localmente. A proposta se justifica pela relevância técnica e acadêmica, alinhando-se às demandas atuais de eficiência energética, automação e modernização do setor elétrico. Os resultados obtidos até o presente momento incluem otimização do consumo, redução da dependência da rede e contribuição para práticas sustentáveis de geração e uso de energia.

Palavras-chave: Eficiência energética. Geração distribuída. Automação. Energia solar fotovoltaica. Monitoramento.

Área do Conhecimento: Engenharia Elétrica / Energia

Introdução

O crescimento da geração distribuída, impulsionado pela alta demanda energética e busca por sustentabilidade, tem popularizado a energia solar fotovoltaica no Brasil e proporcionado mais autonomia ao consumidor. Contudo, integrar sistemas solares à rede elétrica ainda traz desafios de monitoramento e gestão do consumo. Este trabalho apresenta um sistema baseado em transformadores de corrente para medir a energia injetada, aliado à automação que prioriza o uso interno da energia gerada, visando eficiência, transparência e confiabilidade. Assim, o excedente energético é aproveitado localmente, otimizando o fator de potência, controlando ativos e reativos, e reduzindo impostos e perdas futuras.

Metodologia

A metodologia proposta compreende as seguintes etapas: (i) montagem do sistema de medição com Arduino e transformadores de corrente para captura dos dados de injeção e consumo; (ii) integração de contadores para o acionamento automático de cargas, priorizando o uso da energia local; (iii) desenvolvimento de um servidor para análise comparativa entre produção, consumo e injeção; (iv) avaliação do desempenho do sistema com base em critérios de eficiência energética e viabilidade econômica.

O cronograma prevê atividades distribuídas entre outubro de 2025 e junho de 2026, contemplando a implementação do hardware, integração dos módulos de automação, coleta de dados, desenvolvimento

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

do servidor e análise dos resultados. Os dados obtidos hoje com software de mercado migrarão para uma plataforma própria e com acionamento de módulos em acordo com o decorrer do estudo.

Resultados

Por tratar-se de uma análise em andamento, segue os resultados preliminares. Com o desenvolvimento do projeto, um sistema funcional capaz de monitorar em tempo real a energia consumida, gerada por painéis solares e injetada, além de acionar cargas da residência de forma inteligente. Os resultados obtidos até o presente momento incluem a redução de custos com energia elétrica, aumento da eficiência do uso da energia solar e maior autonomia do consumidor em relação à rede elétrica.

Figura 1 – Transformador de corrente e medidor de energia



Fonte: Autor (2025)

Na figura 1, observa-se o medidor de energia (a figura a direita) recebendo tensão da rede elétrica, registrando sua amplitude. A esquerda, vemos transformadores de corrente (TCs), estes transformadores medem campo magnético gerado pela corrente e tem capacidade de medir intensidade, direção e valor, sendo responsáveis pelas análises de fator potência, harmônicas e campo. O medidor se conecta a rede local por Wi-Fi e envia dados em formato texto para um servidor MQTT, neste os cálculos são realizados e exportados em formato gráfico.

Figura 2 – Tabela exportada de MQTT para análise de dados colhidos

```
0:15:58:46918:7266:26092:80276:-4806:-2686:-26854:-34346:1038:675:526:2147:394:0:617:1151:438:74:339:12171:12212:12441:99:93:69:91
0:45:59:45915:8800:24253:78968:-7354:-2747:-25786:-35888:1065:683:540:2198:394:0:617:1151:432:84:321:12293:12297:12502:98:95:68:91
1:16:0:65095:23291:24352:112739:-13752:10173:-26017:-29595:1091:689:554:2246:394:0:617:1151:580:270:322:12263:12279:12492:97:91:68:96
1:46:0:51416:9487:24453:85357:-4813:2948:-25992:-27857:1113:695:568:2289:394:0:617:1151:465:90:320:12336:12417:12527:99:95:68:95
2:17:1:47183:7957:31927:87068:1651:-2999:-22975:-24322:1139:705:582:2341:394:0:617:1151:431:79:348:12397:12440:12488:99:93:81:96
2:46:1:41740:7999:32559:82300:2193:-2944:-22649:-23400:1164:710:596:2385:394:0:617:1151:366:79:347:12520:12428:12630:99:93:82:96
3:16:2:52104:9050:31920:93075:3609:2736:-22182:-15837:1187:717:610:2429:394:0:617:1151:464:86:339:12439:12401:12573:99:95:82:98
3:46:2:63159:25917:32121:121199:-9316:6055:-21810:-25070:1211:722:624:2472:394:0:617:1151:549:293:335:12532:12488:12638:98:97:82:97
4:16:3:59035:7951:32298:99285:1285:-3115:-22874:-24703:1240:729:638:2522:394:0:617:1151:494:78:349:12459:12456:12415:99:93:81:97
4:46:3:59806:8995:32100:100903:2959:2621:-22554:-16972:1267:734:651:2569:394:0:617:1151:546:84:342:12544:12661:12652:99:96:81:98
5:16:3:54192:17011:34601:105806:1526:-543:-13475:-12492:1296:743:665:2622:394:0:617:1151:502:140:329:12521:12561:12598:99:99:93:99
5:46:4:39615:8019:23902:71535:-6316:-3036:-25340:-34693:1320:750:679:2669:394:0:617:1151:351:78:311:12618:12573:12680:98:93:68:89
6:16:5:43866:16361:20504:80733:-6966:4122:-12257:-15101:1343:757:691:2712:394:0:617:1151:401:147:231:12265:11930:12112:98:96:85:98
6:47:6:37700:7806:17881:63390:-8386:-3201:-20116:-31706:1364:762:702:2749:394:0:617:1151:353:78:246:12344:12389:12237:97:92:66:89
```

Fonte: Autor (2025)

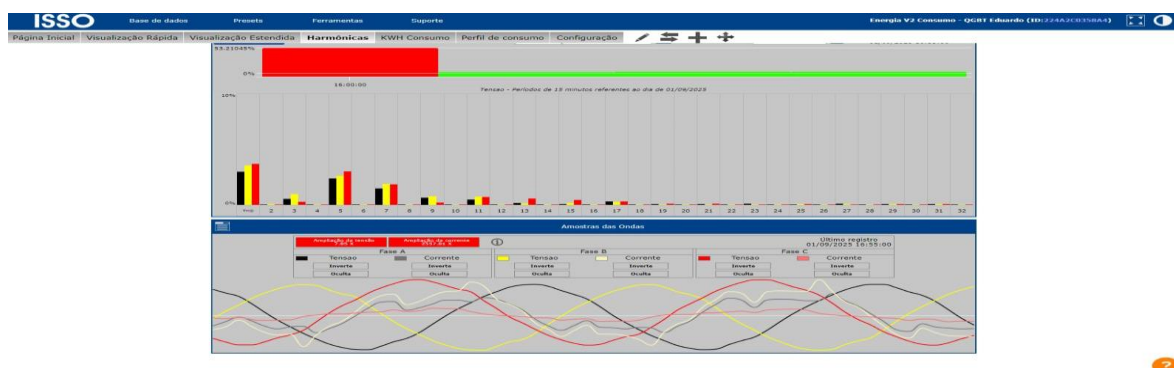
A figura 2 mostra um exemplo de exportação da tabela MQTT, utilizada como base para gráficos, comparativos em tempo real e controle de dispositivos elétricos. Os dados são coletados a cada 60

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

segundos e seguem o padrão

(hora:minuto:segundo:pa:pb:pc:pt:qa:qb:qc:qt:epa_c:epb_c:epc_c:ept_c:epa_g:epb_g:epc_g:ept_g:iarms:iarms:brms:icrms:uarms:ubrms:ucrms:pfa:pfb:pfc:pft), onde p refere-se à potência, a/b/c às fases, q à potência reativa, epa_c ao consumo, epa_g à geração, i à corrente, u à tensão e pf ao fator de potência.

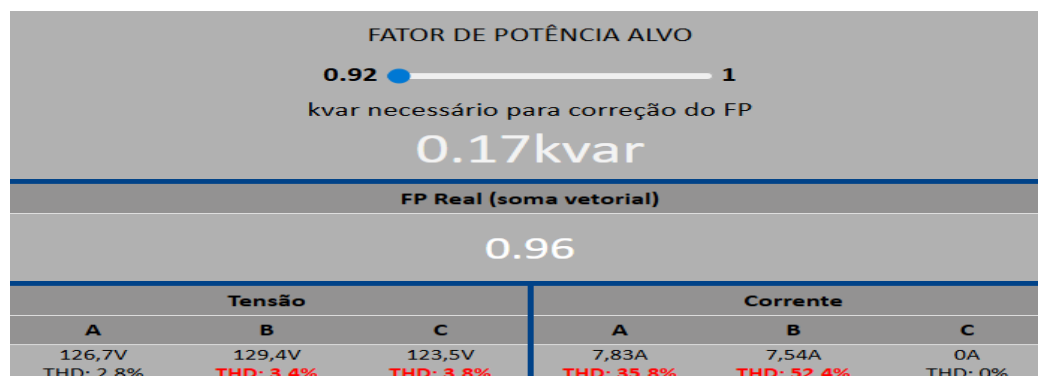
Figura 3 – Análise de Harmônicas



Fonte: Autor (2025)

Na figura 3, o software de medição de energia calcula as harmônicas geradas por campos indutivos e capacitivos, além dos ruídos que causam desequilíbrio nas tensões e correntes da rede. Com dados de variações de tensão e corrente RMS e em porcentagem, é possível acionar capacitores e indutores (equipamentos eletrônicos com estas características) para corrigir a forma de onda.

Figura 4 – Fator Potencia Alvo

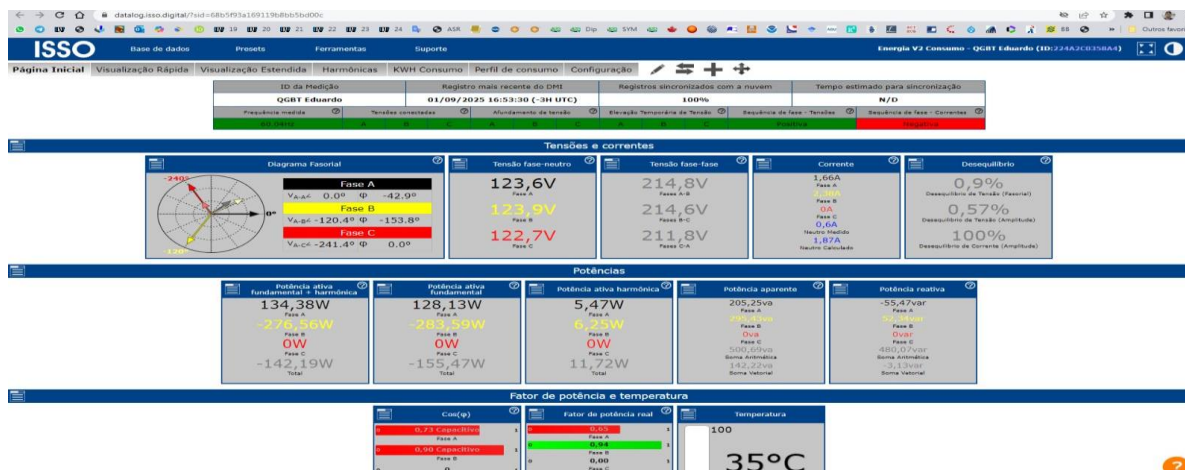


Fonte: Autor (2025)

Na figura 4, o fator potência é estabelecido de modo que a correção de tensão e corrente seja ativada ao identificar excedente de produção, permitindo o acionamento ou desligamento de dispositivos no sistema. Para evitar operações frequentes, são configurados um tempo mínimo de funcionamento e um período mínimo de produção, reduzindo o desgaste dos dispositivos.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 5 – Leituras do dispositivo



Fonte: Autor (2025)

Na Figura 5 apresenta todos os parâmetros processados pelo software. São determinados valores vetoriais de corrente e unitários de tensão (pico a pico, rms, entre fases e de linha), possibilitando a apuração da qualidade de energia com desequilíbrio entre tensão e corrente, potência ativa fundamental somada a harmônica, tensão de linha, tensão de fase, corrente por fase e neutro e temperatura no painel de distribuição.

Figura 6 – Leituras de corrente por fase e período

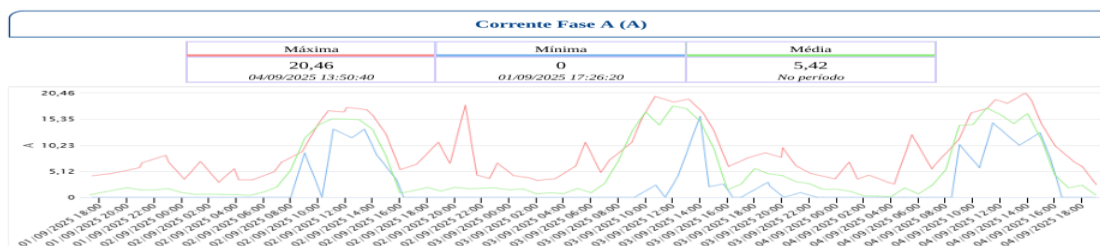
Relatório gerado com base em dados armazenados no sistema Datalog - ISSO Telecom			
Corrente (A)		01/09/2025 00:00:00 a 04/09/2025 23:59:59	
Origem	Máxima	Mínima	Média
Fase A	20,46 04/09/2025 13:50:40	0 01/09/2025 17:26:20	5,42
Fase B	21,82 03/09/2025 05:33:40	0 01/09/2025 17:27:20	6,1
Fase C	17,55 02/09/2025 11:37:30	0 01/09/2025 17:24:10	0,79
Neutro Medido	27,4 02/09/2025 11:19:10	0 01/09/2025 17:24:20	0,78
Neutro Calculado	47,19 03/09/2025 11:24:40	0 01/09/2025 17:27:20	10,46

Fonte: Autor (2025)

Na figura 6, os valores de corrente são utilizados para compreender o consumo da residência, bem como, a produção solar, excedente exportado a concessionária e o momento adequado para utilização do excedente, evitando consumo fora de ponta.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 7 – Análise das correntes durante o período



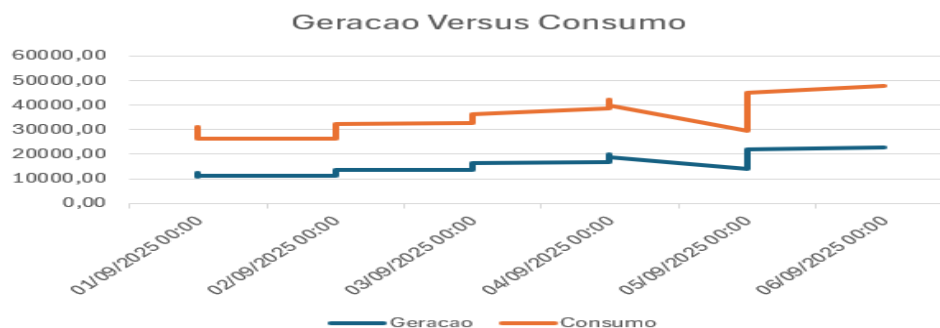
Fonte: Autor (2025)

Na figura 7, a análise das correntes durante o período ajuda a entender o comportamento das cargas, injeção de energia ao longo dos horários, facilitando a leitura de compatibilidade dos cabos com o sistema.

Discussão

A integração entre monitoramento e automação oferece uma resposta prática à geração distribuída, utilizando TCs com sistemas embarcados como Arduino em residências e comércios. Considerando precisão, segurança e escalabilidade, a automação permite monitorar e gerenciar o perfil de carga, otimizando o consumo energético, corrigindo o fator de potência e adaptando o sistema capacitivo/indutivo em tempo real.

Gráfico 1 – Produção e consumo semanal

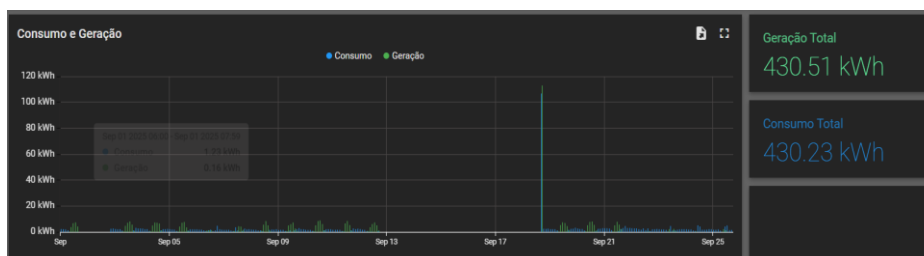


Fonte: Autor (2025)

No gráfico 1, observa-se o comparativo entre a produção e o consumo, a linearidade da produção e consumo se deve ao acionamento de equipamentos evitando devolução à concessionária e consequente aproveitamento do excedente em tempo real, evitando o crédito e débito de KW/h e tarifas relacionadas à operação.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 8 – Produção e consumo mensal



Na figura 8, observa-se o comparativo entre a produção e o consumo ao longo de um mês, novamente a linearidade da produção e consumo é observada, demonstrando operação compatível com o resultado esperado ao longo do período.

Conclusão

Este projeto pode melhorar a eficiência energética e a gestão de sistemas fotovoltaicos. O uso de TC's e automação otimiza o consumo local de energia, reduz custos e contribui para um modelo energético sustentável. Além do avanço técnico, o trabalho é relevante para a formação em automação, energia renovável e smart grids na engenharia elétrica.

Referências

EDP. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil (PRODIST). Agência Nacional de Energia Elétrica – **ANEEL**, 2021.

SM-3W Lite. Manual Técnico. Disponível em: <https://ifpr.edu.br/jacarezinho/wp-content/uploads/sites/16/2022/10/Modelo-de-TCC-Monografia.docx>.

Farhan, M. et al. — Review Towards next generation Internet of Energy system - 2023

Rao, C. K. et al. — A comprehensive review of smart energy management - 2025

GitHub - sierramike/HomeAssistantMQTT: Arduino Library to create IoT devices connected to Home Assistant via MQTT
<https://github.com/sierramike/HomeAssistantMQTT>