

# Sunaryum

Uma nova maneira de gerar, distribuir e usar energia.

Marcelo Meloni

[kwedo@gmx.com](mailto:kwedo@gmx.com)

Versão: 1.0

Maio de 2025

**Resumo.** A Sunaryum é uma infraestrutura descentralizada de tokenização de energia, que visa transformar a maneira como a energia é produzida, comercializada e consumida. Utilizando tecnologia blockchain, a Sunaryum permite que unidades de energia geradas sejam convertidas em tokens digitais auditáveis, negociáveis e rastreáveis. Isso possibilita transações de energia **peer-to-peer (P2P)**, incentivando a geração distribuída e limpa, além de democratizar o acesso ao mercado energético.

A plataforma cria um ambiente seguro, transparente e sem intermediários, permitindo que produtores de energia — sejam residenciais, comerciais ou industriais — comercializem diretamente seu excedente energético, promovendo a descentralização do setor. Como consequência, o modelo contribui para a **redução dos custos de energia**, a **expansão de redes de mobilidade elétrica**, e o fortalecimento de uma economia mais sustentável. A Sunaryum não só viabiliza a transação de energia a longas distâncias com segurança, como também incentiva modelos econômicos mais resilientes, ecológicos e acessíveis.

## 1. Introdução

### *Problemática*

Atualmente a energia produzida pela população em sistemas On-grid se torna centralizada e controlada por grandes distribuidoras, regulando quem pode gerar, vender ou comprar energia. O sistema On-grid funciona em função de sua conexão à rede de transmissão, a energia gerada que não é consumida na residência é automaticamente injetada na rede elétrica. Essa energia se transforma em créditos que podem ser usados para abater o consumo futuro, caso não sejam utilizados em um determinado prazo, esses créditos expiram, ficando para a concessionária. O usuário que participa dessa rede é remunerado com créditos que possuem limites para a sua utilização, não podendo trocar abertamente com qualquer pessoa com a venda limitada ao mesmo CPF/CNPJ, dentro da mesma área de concessão. Além disso, a compensação não considera o valor real da energia no mercado, e esses créditos não conferem ao usuário a propriedade plena sobre a energia gerada, funcionando mais

como um direito condicionado e temporário de abatimento do consumo, sujeito às regras e limitações impostas pela distribuidora, o que restringe a autonomia e o valor econômico efetivo do produtor.

Outro problema estrutural é a dependência contínua de fontes fósseis na matriz elétrica global, que segue como a principal responsável pelas emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, pela aceleração da crise climática. Apesar dos avanços em energia renovável, a transição energética ocorre de forma lenta e desigual, em grande parte devido a modelos centralizados e pouco flexíveis. As estruturas atuais mantêm a geração concentrada em grandes usinas, muitas delas baseadas em carvão, gás natural e petróleo, o que não apenas agrava os impactos ambientais, mas também reforça uma lógica econômica dependente de mercados voláteis e geopolíticas instáveis associadas aos combustíveis fósseis.

Além disso, há uma evidente carência de infraestrutura descentralizada de geração renovável, especialmente de energia solar, que é abundante, mas subutilizada em grande parte do mundo. A adoção de sistemas fotovoltaicos ainda enfrenta barreiras econômicas, regulatórias e logísticas, tanto para consumidores residenciais quanto para empresas. A falta de incentivos efetivos, combinada à ausência de modelos que permitam a monetização eficiente da energia gerada, desencoraja investimentos em painéis solares e microgeração distribuída. Esse cenário não apenas limita a expansão da energia limpa, mas também mantém populações e regiões inteiras dependentes de uma matriz poluente, centralizada e vulnerável a choques externos. Se não houver uma mudança estrutural, o mundo continuará caminhando para um modelo insustentável, incapaz de atender às demandas crescentes por energia de forma limpa, acessível e resiliente.

Essas limitações também impactam diretamente setores emergentes, como a mobilidade elétrica. A adoção em massa de veículos elétricos esbarra não apenas nos custos, mas principalmente na falta de infraestrutura energética distribuída, acessível e descentralizada. A ausência de uma rede robusta de carregamento, associada a um modelo energético pouco flexível, desestimula tanto consumidores quanto empresas a investirem na eletrificação de frotas e no transporte sustentável.

Portanto, o modelo atual não apenas restringe a autonomia dos produtores de energia, como também impede avanços significativos na descarbonização do transporte, na democratização da energia e na construção de uma economia energética mais eficiente, sustentável e acessível.

## *Solução*

Diante dos desafios apresentados anteriormente, torna-se urgente a adoção de uma solução, capaz de incentivar a geração descentralizada e sustentável de energia elétrica, oferecendo uma compensação justa, transparente e eficiente para o excedente produzido, especialmente por usinas fotovoltaicas. Nesse cenário, surge o protocolo Sunaryum, uma blockchain especializada na tokenização de energia real, onde cada token representa uma unidade certificada, rastreável e validada de energia gerada.

Diferente de soluções centralizadas, a Sunaryum utiliza uma infraestrutura blockchain própria, permitindo que o valor gerado pela produção de energia seja convertido diretamente em um ativo digital, sem a necessidade de intermediários. Isso garante não só segurança e auditabilidade, como também elimina custos operacionais desnecessários e cria um ambiente verdadeiramente descentralizado. O token Sunaryum é fundamental para a economia da rede, atuando como unidade de valor, meio de troca, reserva de valor e mecanismo de recompensa para produtores, validadores e participantes do ecossistema. É uma ferramenta indispensável para garantir a fluidez econômica dentro de uma rede de energia digital, algo que seria inviável de se construir utilizando estruturas financeiras tradicionais.

O principal objetivo do protocolo Sunaryum é ampliar a produção de energia limpa, permitindo que qualquer pessoa, empresa ou entidade opere seu próprio micro-node “On-grid”, transformando energia em valor digital de forma justa e transparente. Nosso objetivo é fornecer uma blockchain pública, leve, escalável e de altíssimo desempenho, capaz de operar e ser mantida até por dispositivos simples. Através desse modelo, buscamos fomentar um ecossistema sustentável, onde a geração de energia limpa promove a adoção massiva de veículos elétricos, sistemas autônomos e cidades energeticamente inteligentes. Além disso, o token Sunaryum transcende o papel de recompensa, podendo ser utilizado para pagamentos, acesso a serviços, governança descentralizada e participação em novos mercados baseados na economia da energia digital.

## 2. O Protocolo

O Sunaryum é uma blockchain desenvolvida com o propósito de tokenizar energia elétrica, transformando dados de produção energética em ativos digitais. O protocolo permite que qualquer produtor de energia, através de seu próprio micro-node, registre sua geração de energia e seja remunerado com o token nativo da rede, o \$SUN.

Cada token \$SUN é lastreado em uma quantidade fixa de energia — por exemplo, 1 \$SUN equivale a 20 kW produzidos e validados. Este lastro energético garante que cada unidade do token representa efetivamente uma quantidade real e comprovada de energia.

A rede opera utilizando um protocolo de consenso próprio, denominado Proof of Energy (PoE). Diferente dos modelos tradicionais como Proof of Work ou Proof of Stake, o PoE é baseado na produção efetiva de energia elétrica, que se torna o principal recurso validável da rede.

### **Micro-nodes**

Os micro-nodes consistem em pequenos computadores embarcados conectados ao inversor, responsáveis por coletar e processar informações de geração de energia em intervalos regulares. Para prototipagem, utilizaremos placas como Arduino e Raspberry Pi, equipadas com sensores de corrente (shunt ou transformador de corrente) e tensão, capazes de medir parâmetros elétricos a cada 10 segundos. Esses dispositivos executam localmente um firmware que calcula o consumo energético em kWh a partir das leituras de amperagem e tensão, acumulando os valores ao longo de cada hora.

Ao iniciar, cada micro-node é configurado com o endereço de wallet fornecido pelo usuário, de forma que todos os dados de produção sejam associados ao endereço público correspondente. A cada hora, o software embarcado consolida o total de energia gerada durante esse período, formando um bloco de dados que inclui o valor acumulado em kWh, o timestamp (data e hora de fechamento do bloco) e o wallet address.

Para garantir precisão e confiabilidade, o sistema emprega técnicas de filtragem digital (por exemplo, média móvel ou filtragem de Kalman) sobre as medições de corrente, reduzindo ruídos e variações instantâneas que poderiam comprometer o cálculo de energia. Além disso, cada micro-node armazena localmente um buffer das leituras horárias, permitindo a verificação retroativa e a validação cruzada caso haja inconsistências na comunicação com a rede. Dessa forma, a geração de blocos horários torna-se um processo automatizado, auditável e perfeitamente integrado ao protocolo de consenso Proof of Energy, assegurando que todo kWh gerado seja contabilizado e tokenizado como unidades UTXO na blockchain.

Cada micro-node gera blocos horários, contendo os dados de produção do usuário.

Às 00h00 (meia-noite), cada micro-node consolida os dados horários em um bloco diário, que inclui:

- ☐ A quantidade total de energia produzida no dia.
- ☐ O endereço público do produtor.
- ☐ A data.

### Verificação de Energia e Validação

Durante cada dia (00:00–23:59), o micro-node coleta leituras periódicas da produção de energia (kWh), assinando digitalmente cada pacote de dados e armazenando-os localmente. Simultaneamente, toda energia gerada é depositada em uma bateria temporária ou, quando esta atinge capacidade, medida via medidor bidirecional para registro de exportação. A sincronização temporal é garantida por NTP para assegurar intervalos consistentes.

Às 00:00, o micro-node realiza o cálculo de:

- **E\_decl**: soma das leituras registradas no dia.
- **E\_batt\_end**: energia final armazenada na bateria, ajustada pela energia exportada.
- **Dif (%)** =  $|E\_decl - E\_batt\_end| / E\_decl \times 100\%$ .

A tolerância inicial de 5% considera incertezas de medição (precisão dos sensores) e perdas de conversão/armazenamento (eficiência típica de baterias).

- Se  $Dif \leq 5\%$ : bloco é considerado **Válido**, e toda produção declarada (**E\_decl**) é creditada para recompensa.
- Se  $5\% < Dif \leq 10\%$ : bloco entra em **Ajuste Proporcional**, com recompensa baseada em energia confirmada (**E\_batt\_end** ou  $E\_decl \times (1 - Dif)$ , conforme política definida).
- Se  $Dif > 10\%$ : bloco é marcado como **Anômalo**, acionando auditoria automática ou manual; a recompensa fica suspensa até resolução.

O relatório de validação inclui E\_decl, E\_batt\_end, Dif, metadados (timestamp NTP, temperatura, voltagem, status de sensor) e é assinado digitalmente antes de ser enviado ao Node Central. O Node Central consolida todos os relatórios em um bloco global diário e executa transações de distribuição de tokens \$SUN proporcionais à energia validada de cada participante.

## **UTXO**

No modelo UTXO (Unspent Transaction Output) concebido por Satoshi Nakamoto no whitepaper do Bitcoin, cada saída de transação representa um valor específico de moeda que permanece “não gasto” até ser consumido em outra transação, garantindo rastreabilidade e evitando double-spending sem precisar de contas ou saldos centrados. A Sunaryum adota esse mesmo princípio para a tokenização de energia: cada token \$SUN emitido corresponde a um UTXO lastreado em uma quantidade fixa de kWh gerados. Toda vez que um micro-node consolida sua produção diária, gera UTXOs de saída que podem ser transferidos a outros usuários ou mantenedores de infraestrutura, garantindo que cada unidade de energia seja validada, imutável e rastreável até seu consumo.

## **Mempool**

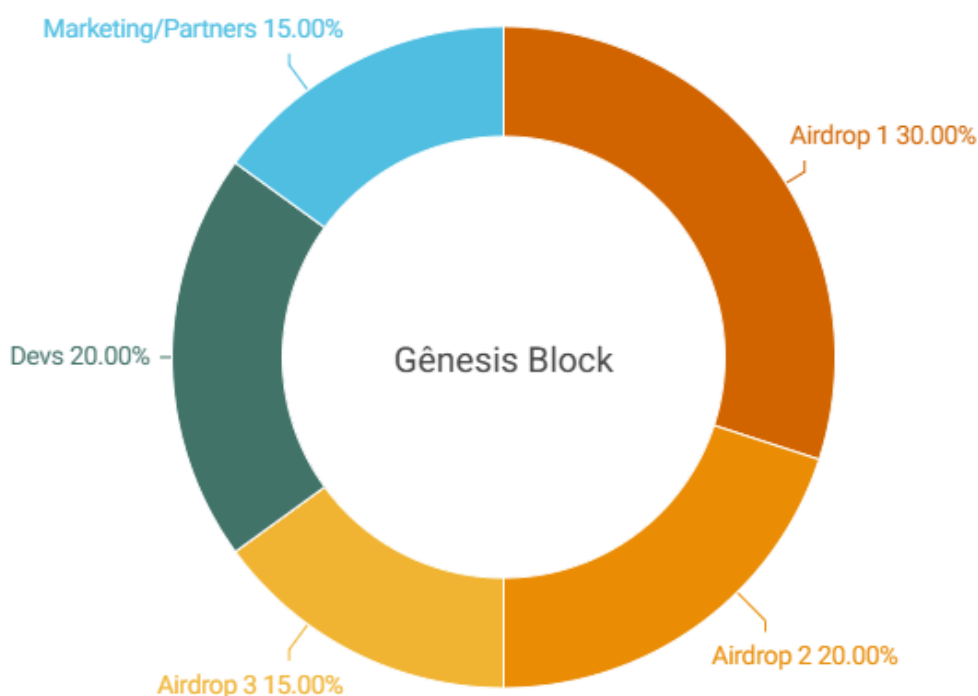
O mempool, no protocolo Sunaryum, é a camada responsável por armazenar temporariamente todas as transações válidas que ainda não foram confirmadas em bloco. Cada nó participante mantém um mempool próprio, que recebe transações diretamente de wallets ou de outros nós da rede via propagação P2P. Ao contrário de blockchains tradicionais onde mineradores escolhem transações baseadas em taxas, na Sunaryum todas as transações do mempool são consideradas para inclusão nos blocos, obedecendo critérios como ordem de chegada (timestamp) e integridade. Esse modelo garante que nenhuma transação legítima fique de fora, refletindo o compromisso da rede com acessibilidade, fluidez energética e eliminação de barreiras econômicas como fees.,

## Tokenomics

### → Emissão Inicial (Gênesis)

Bloco Gênesis: emissão de uma quantidade pré-definida de tokens SUN destinados a dois propósitos principais.

- **Airdrop:** reserva específica para distribuição inicial à comunidade, com definição de critérios de elegibilidade e regras de distribuição.
- **Colaboradores e equipe:** pool reservado para fundadores, desenvolvedores, parceiros estratégicos e conselheiros, com vesting para liberação gradual e alinhamento de incentivos de longo prazo.



### Emissão Contínua (Produção de Energia)

Mint dinâmico: novos tokens SUN são gerados à medida que micro-nodes validam blocos diários de produção energética. Cada kWh comprovado gera um valor correspondente de tokens, conforme a relação definida (por exemplo, 1 SUN = 20 kWh, ou outro parâmetro ajustável).

### Mecanismo de Queima (Burn)

Queima após gasto energético: quando tokens SUN são usados para pagar consumo de energia ou serviços relacionados (por exemplo, carregadores EV que aceitam SUN), parte ou totalidade dos tokens transferidos é queimada, retirando-os de circulação.

Loop deflacionário: cria-se um ciclo em que produção de energia resulta em mint de SUN e consumo de energia resulta em burn de SUN.

## Roadmap

### Junho–Agosto 2025

Concluir desenvolvimento do módulo de airdrop, definindo critérios e regras de elegibilidade, implementando interface de claim e integração com wallets Sunaryum, com testes de segurança e usabilidade.

Comunicar à comunidade: anúncios, FAQs e documentação para participantes do airdrop.

### Setembro–Dezembro 2025

Protótipos de micro-nodes: testes com hardware (Arduino/Raspberry Pi e sensores) para coleta de dados de energia, firmware inicial com cálculo de kWh e comunicação segura. Desenvolvimento de ambiente de teste (testnet) para registro de blocos horários de energia simulada.

Integrações iniciais: APIs/SDKs para desenvolvedores experimentarem registros de produção.

Parcerias para pilotos em pequena escala (residências, pequenos comércios).

Auditoria de segurança: revisão de contratos (se houver), testes de integridade de dados e de consenso.

### Janeiro–Março 2026

Testnet público: lançamento de rede de teste com participantes reais, ajustes de parâmetros de emissão e queima baseados em dados coletados, feedback e iterações rápidas.

Expansão de parcerias: prospectar empresas de energia renovável, provedores de infraestrutura de carregamento EV e potenciais integradores de software de gestão de energia.

Busca de apoio regulatório e cooperação com entidades de energia.

### Abril–Junho 2026

Lançamento da mainnet: migração de parâmetros testados, lançamento oficial do token SUN com possíveis listagens em exchanges e disponibilização de wallets.

Campanha de adoção: eventos, workshops, hackathons para desenvolvedores.

Pilotos em escala maior: projetos em comunidades, cooperativas de energia e condomínios solares.

Integração com estações de carregamento EV que aceitam SUN.

Governança inicial: estabelecer processos de proposta e votação, definindo roadmap iterativo com base em feedback e métricas de uso.

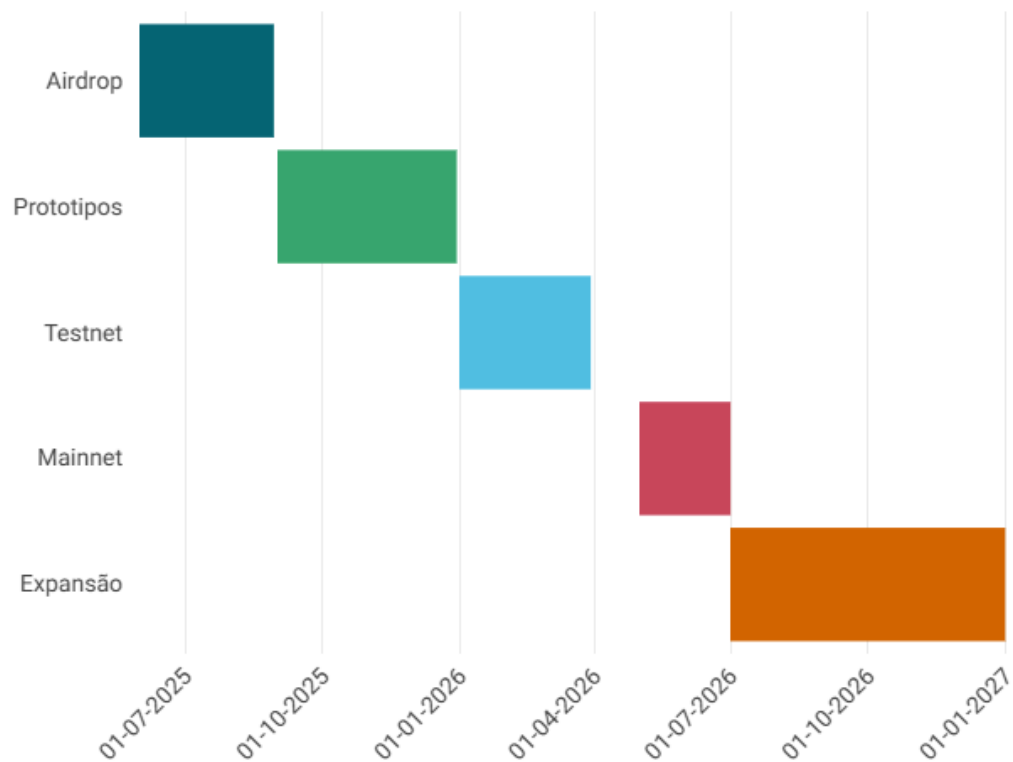


## Julho 2026 em diante

Expansão e otimização: suporte a novas fontes renováveis (eólica, biogás etc.), ferramentas avançadas de análise de dados energéticos e relatórios para produtores, melhorias de escalabilidade e eficiência.

Novos modelos de mercado: contratos inteligentes para trading de energia futura (forward contracts), seguros relacionados à produção, integração com microgrids isoladas.

Crescimento da comunidade: programas de incentivos contínuos, hackathons, subsídios para projetos inovadores usando SUN, parcerias institucionais e governamentais.



## Casos de Uso

1. **Residências com painéis solares**  
Proprietários transformam excedente energético em SUN, podendo vender diretamente a vizinhos ou no mercado descentralizado, usar SUN para pagar consumo noturno ou serviços de eficiência energética e participar de pools comunitários de energia.
2. **Condomínios e comunidades fechadas**  
Tokenização da geração coletiva e distribuição de SUN proporcional a cada unidade, facilitando gestão interna de custos de manutenção de infraestrutura e incentivando investimentos em painéis compartilhados.
3. **Pequenos produtores rurais**  
Fazendas com geração solar convertem produção em tokens SUN, vendendo a empresas agrícolas ou comunidades vizinhas para obter liquidez imediata e reinvestir em melhorias.
4. **Estações de carregamento de veículos elétricos**  
Aceitam pagamento em SUN, conectando ao protocolo para queima do token conforme a energia é fornecida, incentivando proprietários de EV a usar carregadores parceiros Sunaryum.
5. **Microgrids em regiões isoladas**  
Comunidades remotas instalam micro-nodes para coletar e distribuir energia localmente, evitando dependência de grandes distribuidoras e negociando excedente com outras microgrids via interoperabilidade ou pontes de token.
6. **Mercados de energia P2P e contratos inteligentes**  
Plataformas permitem compra e venda imediata de energia tokenizada entre participantes, com contratos inteligentes que automatizam condições como preço variável conforme horário de pico ou acordos de longo prazo.
7. **Programas de eficiência e demand response**  
Usuários ganham SUN ao reduzir consumo em horários críticos, servindo de incentivo para adoção de equipamentos eficientes ou desligamento temporário de cargas.
8. **Projetos comunitários e crowdfunding de renováveis**  
Financiamento coletivo de usinas solares ou pequenas centrais, com emissão de tokens representando participação e retorno em SUN proporcional à geração, engajando a comunidade na manutenção e expansão.
9. **Integração com serviços de IoT e automação residencial**  
Dispositivos negociam energia localmente usando micro-transações em SUN (por exemplo, carregar baterias domésticas quando há excedente), com automação otimizando consumo conforme preço dinâmico em tokens..

