

**RELATÓRIO TRABALHO PRÁTICO**

**Mercado Peer-to-Peer (P2P) de Energia**

**BlockChain**

  Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Sérgio Filho 126543

Nuno Silva 131395

Fagner Silva 129011

Lisboa, 2025

Índice

[1 Introdução  3](#_Toc195021301)

[2 Blockchain 4](#_Toc195021302)

[2.1 Ethereum 4](#_Toc195021303)

[2.2 Arquitetura do Sistema 4](#_Toc195021304)

[2.3 Contratos Inteligentes 4](#_Toc195021305)

[2.4 Moeda e Tecnologia eth //revisar se vamos entrar aqui – não creio// 4](#_Toc195021306)

[2.5 Redes Ethereum 4](#_Toc195021307)

[2.6 Carteiras e Usuários //revisar se vamos entrar aqui – não creio// 4](#_Toc195021308)

[2.7 Linguagem 4](#_Toc195021309)

[3 WEB 5](#_Toc195021310)

[3.1 Aplicação 5](#_Toc195021311)

[3.2 Contrato Inteligente 5](#_Toc195021312)

[3.3 Integração de funcionalidades 5](#_Toc195021313)

[4 Implementação 6](#_Toc195021314)

[4.1 Algoritmo de Negociação 6](#_Toc195021315)

[4.2 Contrato de Venda de Energia 6](#_Toc195021316)

[5 Conclusão 7](#_Toc195021317)

# Introdução

A transição energética rumo a um modelo mais sustentável tem promovido a descentralização da produção de eletricidade, impulsionada pelo aumento da adoção de fontes de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica. Neste contexto, surgem novos paradigmas para o mercado energético, entre os quais se destaca o conceito de mercado Peer-to-Peer (P2P) de energia, onde os próprios consumidores podem também atuar como produtores (prosumidores), trocando energia diretamente entre si. Este modelo visa aumentar a eficiência, reduzir custos de intermediação e potenciar a democratização do acesso à energia.

O desenvolvimento de um mercado energético P2P levanta desafios significativos em termos de confiança, transparência e segurança nas transações entre participantes. A tecnologia blockchain, ao permitir a execução de contratos inteligentes (smart contracts) imutáveis e auditáveis, apresenta-se como uma solução promissora para assegurar a fiabilidade e automatização destes mercados descentralizados. Em particular, a plataforma Ethereum, combinada com a linguagem de programação Solidity, tem vindo a ser amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicações descentralizadas (dApps) no domínio energético.

Este relatório apresenta o desenvolvimento de uma plataforma digital baseada em blockchain para um mercado P2P de energia, onde produtores de energia renovável, nomeadamente com painéis solares, podem vender os seus excedentes diretamente a consumidores interessados, sem necessidade de um intermediário centralizado. O frontend da aplicação será desenvolvido em React.js, proporcionando uma interface interativa e intuitiva para os utilizadores finais.

Para sustentar esta proposta, é realizada uma revisão do estado da arte, abordando os principais trabalhos académicos e aplicações existentes nesta área, destacando-se as vantagens e limitações dos modelos atuais. O relatório explora ainda um caso de uso concreto, que será implementado como prova de conceito, incluindo a modelação do sistema através de diagramas UML e de estados, de forma a clarificar o comportamento da plataforma e as interações entre os seus componentes principais.

Este trabalho pretende contribuir para o avanço do conhecimento na área dos mercados energéticos descentralizados, promovendo soluções tecnológicas inovadoras que apoiem os objetivos de sustentabilidade, autonomia energética e participação ativa dos cidadãos na transição energética.

# Blockchain

## Ethereum

A escolha do Ethereum como base para o mercado P2P de energia é justificada pela sua robustez em suportar contratos inteligentes e pela vasta comunidade de desenvolvedores. No entanto, é crucial detalhar a versão da Ethereum Virtual Machine (EVM) utilizada (ex.: pós-merge, com Proof-of-Stake) e o impacto da transição para Ethereum 2.0 na eficiência energética e nos custos de transação (gas fees). Recomendo especificar a rede de teste escolhida para o desenvolvimento (ex.: Sepolia ou Goerli) e justificar sua adequação em termos de estabilidade e proximidade com a mainnet.

## Arquitetura do Sistema

A arquitetura é simples e composta por:

* **Smart Contract**: Gerencia a assinatura de contratos de venda de energia e registra transações.
* **Frontend**: Interface em React.js conectada ao contrato via Web3.js.
* **Carteira**: MetaMask para autenticação e pagamento.

Não há camadas off-chain ou sistemas adicionais. Tudo ocorre on-chain para manter a simplicidade.

* **Fluxo Básico**:
  1. O vendedor cria uma oferta de energia.
  2. O comprador assina o contrato e paga via transação.
  3. O contrato transfere o pagamento ao vendedor.

## Contratos Inteligentes

O smart contract em Solidity será minimalista, com duas funções principais: criar uma oferta e comprar energia.

pragma solidity ^0.8.0;

contract EnergyMarket {

struct Offer {

address payable seller;

uint256 amount; // kWh

uint256 price; // Wei

bool active;

}

mapping(uint256 => Offer) public offers;

uint256 public offerCount;

event OfferCreated(uint256 offerId, address seller, uint256 amount, uint256 price);

event EnergyBought(uint256 offerId, address buyer);

function createOffer(uint256 \_amount, uint256 \_price) external {

offerCount++;

offers[offerCount] = Offer(payable(msg.sender), \_amount, \_price, true);

emit OfferCreated(offerCount, msg.sender, \_amount, \_price);

}

function buyEnergy(uint256 \_offerId) external payable {

Offer storage offer = offers[\_offerId];

require(offer.active, "Offer not available");

require(msg.value == offer.price, "Incorrect payment");

offer.seller.transfer(msg.value);

offer.active = false;

emit EnergyBought(\_offerId, msg.sender);

}

}

**Explicação**:

* createOffer: Registra uma oferta de energia com quantidade (kWh) e preço (Wei).
* buyEnergy: Permite a compra, transferindo o pagamento ao vendedor e desativando a oferta.

## Moeda e Tecnologia eth //revisar se vamos entrar aqui – não creio//

## Redes Ethereum

## Carteiras e Usuários //revisar se vamos entrar aqui – não creio//

## Linguagem

# WEB

## Aplicação

O frontend em React.js será simples, com dois componentes principais:

1. **Lista de Ofertas**: Exibe as ofertas disponíveis.
2. **Formulário**: Permite criar ou comprar uma oferta.

* **Conexão com Web3.js**:

import Web3 from "web3";

import EnergyMarketABI from "./EnergyMarket.json";

const contractAddress = "0x..."; // Endereço do contrato implantado

const web3 = new Web3(window.ethereum);

const contract = new web3.eth.Contract(EnergyMarketABI, contractAddress);

// Criar oferta

const createOffer = async (amount, price) => {

const accounts = await web3.eth.getAccounts();

await contract.methods.createOffer(amount, web3.utils.toWei(price, "ether")).send({

from: accounts[0],

});

};

// Comprar energia

const buyEnergy = async (offerId, price) => {

const accounts = await web3.eth.getAccounts();

await contract.methods.buyEnergy(offerId).send({

from: accounts[0],

value: web3.utils.toWei(price, "ether"),

});

};

**Interface em React**:

import React, { useState } from "react";

function App() {

const [amount, setAmount] = useState("");

const [price, setPrice] = useState("");

const handleCreateOffer = () => {

createOffer(amount, price);

};

const handleBuy = (offerId, offerPrice) => {

buyEnergy(offerId, offerPrice);

};

return (

<div>

<h1>Mercado P2P de Energia</h1>

<div>

<input

type="number"

placeholder="Quantidade (kWh)"

value={amount}

onChange={(e) => setAmount(e.target.value)}

/>

<input

type="number"

placeholder="Preço (ETH)"

value={price}

onChange={(e) => setPrice(e.target.value)}

/>

<button onClick={handleCreateOffer}>Criar Oferta</button>

</div>

<div>

{/\* Lista de ofertas seria carregada aqui \*/}

<button onClick={() => handleBuy(1, "0.01")}>Comprar Oferta #1</button>

</div>

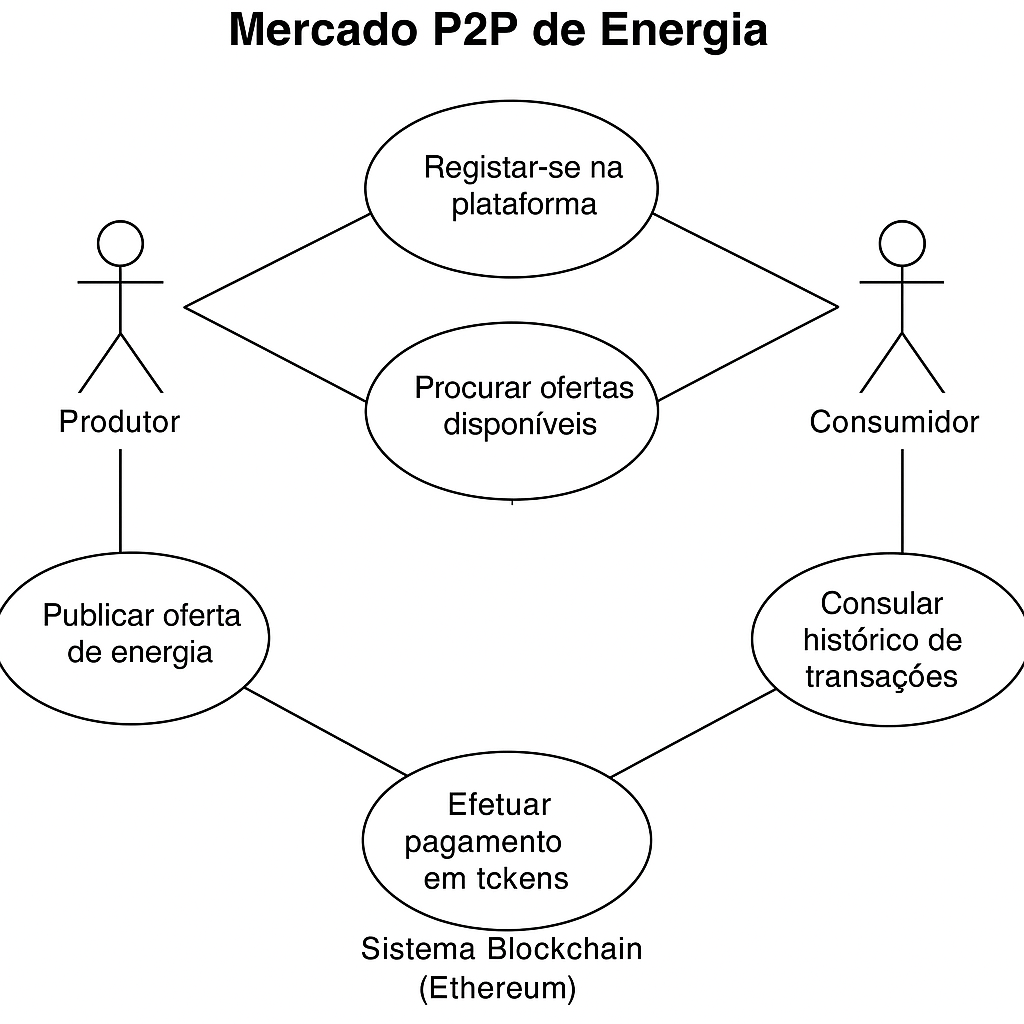
</div>

);

}

export default App;

**Detalhe**: O frontend assume que o usuário tem MetaMask instalado e configurado para interagir com a testnet.



## Contrato Inteligente

A integração é direta: o React usa Web3.js para chamar as funções do contrato. Não há eventos ou atualizações em tempo real para simplificar.

## Integração de funcionalidades

# Implementação

## Algoritmo de Negociação

Não há algoritmo complexo. A negociação é manual: o vendedor define o preço, e o comprador aceita pagando o valor exato.

## Contrato de Venda de Energia

O contrato já cobre a venda com a função buyEnergy, que transfere o pagamento ao vendedor após a transação.

# Funcionamento

O sistema proposto é simples e funcional, permitindo que produtores e consumidores assinem contratos e realizem transações de energia diretamente via blockchain. A combinação de Solidity, Web3.js e React.js atende aos requisitos básicos de um mercado P2P:

* Assinatura de contratos via criação de ofertas.
* Transações online com pagamento em ETH.

Limitações incluem a falta de escalabilidade para muitas transações e a dependência de uma carteira como MetaMask. Para trabalho futuro, sugere-se adicionar um histórico de transações visível no frontend e suporte a múltiplas ofertas simultâneas.

# Conclusão

A crescente descentralização do setor energético, aliada à necessidade urgente de soluções mais sustentáveis e eficientes, tem impulsionado o aparecimento de novos modelos de transação e gestão de energia, entre os quais se destaca o mercado Peer-to-Peer (P2P). Este relatório apresentou o desenvolvimento de uma plataforma descentralizada, suportada por tecnologia blockchain, que permite a produtores e consumidores de energia renovável transacionarem eletricidade de forma direta, segura e transparente, sem a intervenção de um operador central.

Ao recorrer à infraestrutura da Ethereum e à programação de smart contracts em Solidity, foi possível garantir a automatização e imutabilidade das regras de negociação, bem como o registo auditável das transações. A integração com uma interface desenvolvida em React.js permitiu criar uma experiência de utilização acessível e funcional, facilitando a participação ativa dos utilizadores no mercado energético digital.

Através da modelação do sistema com diagramas UML e de estados, foi possível estruturar logicamente as interações e o comportamento da plataforma, assegurando coerência entre os requisitos funcionais e a arquitetura técnica implementada. O caso de uso desenvolvido serve como prova de conceito de viabilidade tecnológica para este tipo de mercados, e evidencia o potencial da blockchain como facilitador de novos modelos económicos descentralizados no setor da energia.

Apesar dos avanços alcançados, é importante reconhecer que subsistem desafios relevantes, nomeadamente ao nível da escalabilidade da blockchain, da regulação legal e da integração com as redes elétricas tradicionais. Como trabalho futuro, propõe-se o estudo de mecanismos de tarifação dinâmica, integração com dispositivos IoT para monitorização em tempo real da produção e consumo de energia, bem como a implementação de mecanismos de consenso mais eficientes, como o Proof-of-Stake.

Em suma, este projeto demonstra que a tecnologia blockchain pode desempenhar um papel central na construção de ecossistemas energéticos mais justos, descentralizados e resilientes, alinhados com os princípios da transição energética e da economia verde.gráfica, comprovam a funcionalidade e oferecem insights sobre a distribuição de comprimentos de onda na rede.

Com isso, conclui-se que a abordagem adotada foi eficaz para projetar uma rede óptica eficiente e resiliente, atendendo aos requisitos de desempenho e disponibilidade. O uso de técnicas consolidadas de roteamento e simulação mostrou-se essencial para o sucesso do projeto.