Instituto Superior de Engenharia do Porto

Projeto DESOFS

Secure Software Development Life Cycle

Paulo Manuel Baltarejo De Sousa

Cláudio Roberto Ribeiro Maia

Autores

Bernardo Lima – 1221977

Diogo Vieira - 1240448

João Monteiro – 1240469

João Taveira - 1220258

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Índice

Introdução 4

Análise e Design 6

Modelo de Domínio 6

Functional and Non-functional Requirements 8

Architecture, Design and Threat 8

Authentication 8

Session Management 9

Access Control 9

Data Protection 9

Communication 9

Malicious Code 10

Files and Resources 10

Configuration 10

Architecture, Design and Threat 11

Authentication 11

Session Management 12

Access Control 12

Data Protection 12

Communication 13

Malicious Code 13

Files and Resources 13

Configuration 13

Use Cases 14

Arquitetura 15

'Threat Modeling' 16

Integração do Processo de Threat Modeling 16

Descrição dos Níveis do Processo Representado 17

1. Identify Potential Threats and Vulnerabilities 17

2. Assess Impact and Likelihood 17

3. Develop Mitigation Strategies 18

4. Implement and Monitor 18

Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) 19

Nível 0 19

Nível 1 20
ASVS 22
Architecture, Design and Threat 22
Authentication 22
Session Management 22
Access Control 23
Data Protection 23
Communication 23
Malicious Code 24
Files and Resources 24
Configuration 24
Validation and Sanitization 25
Stored Cryptography 25
Error Handling and Logging 26
API and Web Service Security 26
Ameaças 27
Categorização 27
Árvores de ameaça 28
Categorização 31

Introdução

O presente documento foi desenvolvido no âmbito do projeto da unidade curricular de **Desenvolvimento de Software Seguro (DESOFS)**, cujo objetivo é desenvolver uma aplicação seguindo o processo de **Secure Software Development Life Cycle (SSDLC)**.

A implementação de metodologias de desenvolvimento de software seguro, é uma prática fundamental para o desenvolvimento de aplicações robustas e confiáveis. A adopção da Framework 'Secure Software Development Life Cycle' (SSDLC) integra requisitos de Segurança em cada fase do processo de desenvolvimento de software.

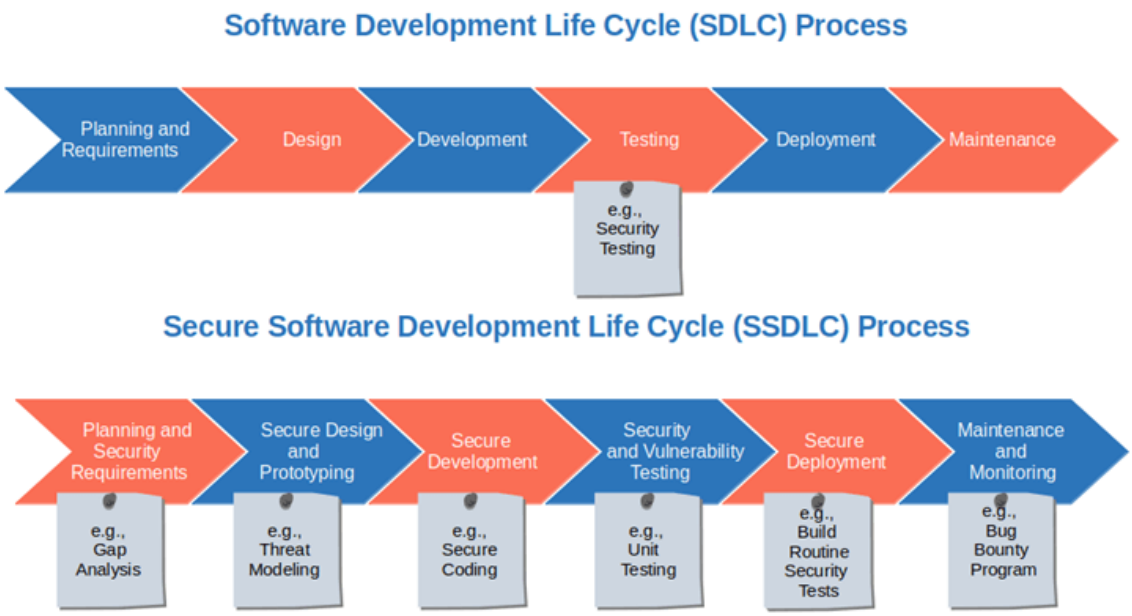


Figura 1 - https://codesigningstore.com/wp-content/uploads/2023/02/secure-software-development-life-cycle-process.png

Com esta metodologia procura-se garantir que os riscos da segurança sejam identificados e mitigados o mais cedo possível. Assim sendo, reduz-se significativamente o custo e impactos resultantes de correcções posteriores e simultaneamente garante-se uma mais confiança no produto.

Ao realizar-se análises de segurança e revisões continuas durante todo o ciclo, é possível detectar e intervencionar sobre potenciais incidentes de segurança.

Este processo é fundamental para o desenvolvimento de software atual , uma vez que, ao contemplar todas as suas fases integrantes (análise, design, desenvolvimento, testes, build e deployment), visa tornar a aplicação o mais segura possível. A sua adoção permite alcançar vários benefícios importantes:

- **Redução de custos:** através da identificação antecipada de possíveis vulnerabilidades no sistema, que reduz 30 vezes menos o custo do que se fossem tratadas essas vulnerabilidades durante a fase produção;

- **Security-first:** promove uma cultura orientada à segurança, tornando as equipas mais conscientes e preparadas para desenvolver software com medidas de proteção desde o início;
- **Estratégia de desenvolvimento bem definida:** ao estabelecer desde o início os critérios de segurança da aplicação, decisões como a escolha de tecnologias ou arquitetura tornam-se mais informadas e fundamentadas.

Neste contexto, o projeto desenvolvido consiste num **Simulador de Impacto Ambiental**, cujo principal objetivo é permitir que os utilizadores compreendam o impacto ambiental das suas escolhas diárias (como transporte, alimentação ou consumo de energia), incentivando hábitos mais sustentáveis.

A aplicação terá funcionalidades como o **cálculo da pegada de carbono**, promovendo a consciencialização e o envolvimento com práticas ecológicas. Tendo sido assumido o cenário da sua aplicação num âmbito empresarial, e que serviria de forma de avaliação se as campanhas e eventos de consciencialização que a empresa desenvolve nesta temática estão a surtir numa alteração e consciencialização nas opções de dia-a-dia dos seus colaboradores.

Ao longo deste relatório, será apresentado todo o processo de desenvolvimento seguro desta aplicação, incluindo as fases **de análise e design, modelação de ameaças (Threat Modeling), implementação, testes e deployment**, com foco na integração de boas práticas de segurança em todas as etapas.

Análise e Design

Neste capítulo, é descrito o processo de **análise e desenho** que preparou a fase de implementação do projeto. Inicialmente, será explorado o domínio do problema, com o apoio do respetivo **Modelo de Domínio**, que representa a interação entre os diferentes componentes e entidades que integram o sistema.

Modelo de Domínio

Na figura seguinte é apresentado o domínio da ação do projeto descrito, contendo os intervenientes necessários.

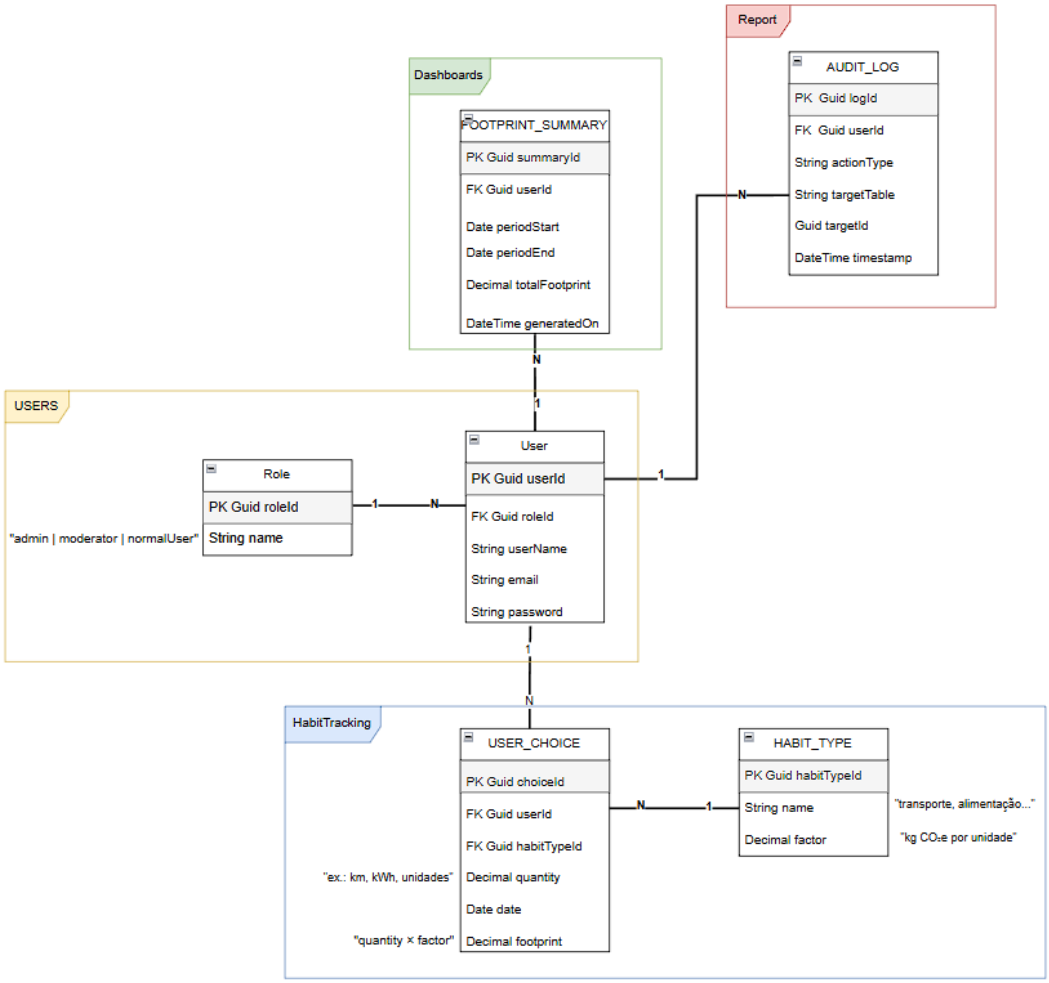


Figura 2 - Modelo de Domínio

No presente projeto, o domínio encontra-se organizado em quatro agregados fundamentais, cada um responsável por um conjunto de funcionalidades bem definido:

1. **Identity:** este agregado encarrega-se de toda a lógica de autenticação e autorização, bem como do armazenamento seguro dos dados pessoais dos utilizadores. Nele, a classe **Role** define os perfis de acesso (Admin, Moderator, NormalUser), a classe **User** representa as contas individuais com credenciais e metadados de criação.
2. **HabitTracking:** neste agregado, são catalogados os tipos de hábitos ambientais (por exemplo, transporte ou consumo alimentar) através da classe **Habit_Type**, que inclui um fator de conversão para emissões de CO_2e, e registadas as escolhas diárias do utilizador na classe **User_Choice**, que calcula automaticamente a pegada de cada ação.
3. **Dashboards:** o agregado Dashboards mantém sumários pré-agregados de pegada de carbono em diferentes períodos (diário, semanal ou mensal), através da classe **Footprint_Summary**, a qual consolida o total de emissões por utilizador e período, permitindo uma visualização rápida e eficiente em relatórios ou gráficos.
4. **Report:** por fim, o agregado Report contém a classe **Audit_Log**, que regista de modo imutável todas as operações críticas (como criação de escolhas ou geração de sumários), incluindo tipo de ação, tabela alvo e carimbo temporal. Este repositório de auditoria garante rastreabilidade e compliance, sendo acessível unicamente pelo Admin e pelo Moderador.

Functional and Non-functional Requirements

De seguida, são apresentados os **requisitos do sistema**, organizados em duas categorias principais: **requisitos funcionais**, que descrevem as funcionalidades do sistema, e **requisitos não funcionais**, que definem restrições técnicas, de desempenho, de usabilidade e de segurança.

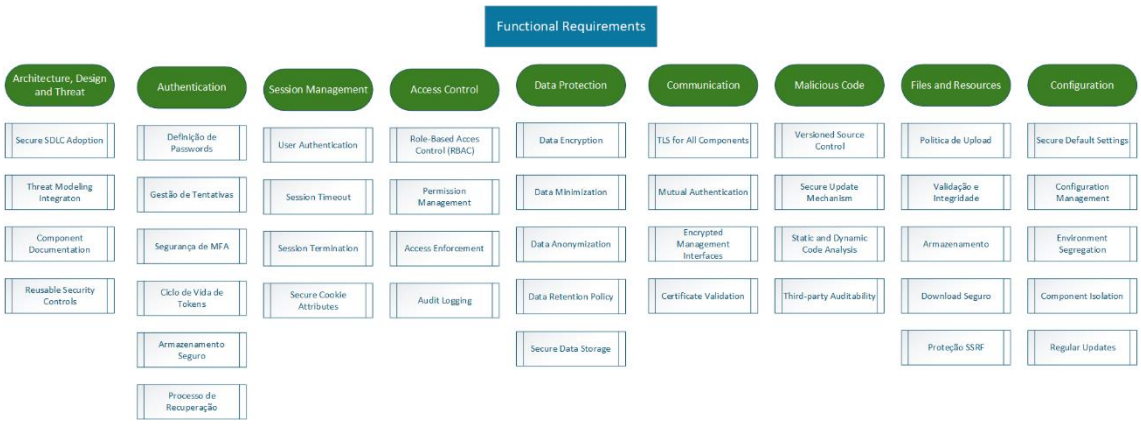


Figura 3- Requisitos Funcionais

Architecture, Design and Threat

- Secure SDLC Adoption: o sistema deve ser desenvolvido segundo um ciclo de vida com foco em segurança desde o início.
- Threat Modeling Integration: devem existir modelos de ameaça planeados desde o design da aplicação.
- Component Documentation: todos os componentes devem estar descritos com funções e interações.
- Reusable Security Controls: os controlos de segurança devem ser centralizados e reutilizáveis em toda a aplicação.

Authentication

- Definição de Passwords
  Exige mínimo de 12 caracteres Unicode imprimíveis (suporta até 128), indicador de força em tempo real e verificação automática contra listas de credenciais comprometidas.
- Gestão de Tentativas
  Bloqueia a conta por 15 minutos após 5 falhas consecutivas de login e exige CAPTCHA na tentativa seguinte.
- Segurança de MFA
  MFA obrigatório em operações críticas; suporte a chaves FIDO2/U2F e TOTP via app, com notificação ao utilizador a cada novo registo.
- Ciclo de Vida de Tokens
  Gera tokens de recuperação e OTPs com entropia adequada e validade de 10 minutos; notifica o utilizador 7 dias antes da expiração de certificados ou dispositivos MFA.

- Armazenamento Seguro
  Hash de passwords com Argon2id (custo ajustável) ou bcrypt (work factor ≥ 10), usando salt único e pepper; pepper guardado em HSM ou cofre externo (Vault).
- Processo de Recuperação
  Fluxo de recuperação via link seguro com token único, sem revelar existência da conta; exige MFA secundário (TOTP/push) para redefinição de password.

Session Management

- User Authentication: a autenticação é baseada em mecanismo third-party com 'Multi-factor Authentication (MFA)' activo;
- Session Creation: após autenticação com sucesso, um secure token é gerado a atribuído ao utilizador;
- Session Timeout: após um período de inactividade de 15 minutos, as sessões terminam;
- Session Termination: os utilizadores têm a possibilidade de fazer logout do sistema, e as sessões são terminadas;
- Secure Cookie Attributes: os session tokens armazenados em cookies, têm os atributos 'Secure', 'HttpOnly' e 'SameSite' definidos.

Access Control

- Role-Based Access Control (RBAC): implementação de mecanismos de RBAC, que garanta que os utilizadores apenas têm acesso aos recursos atribuídos ao seu perfil;
- Permission Management: os administradores (e apenas estes) têm a capacidade de gerir as permissões dos perfis de utilizador;
- Access Enforcement: todos os pontos de acesso da aplicação (APIs, user interfaces, etc), têm que forçar o uso de controlos de acesso;
- Audit Logging: o sistema deve guardar todos os registos de logs de acesso (sucesso e sem-sucesso), assim como quaisquer acessos a dados sensíveis.

Data Protection

- Data Encryption: os dados sensíveis são mantidos encriptados (com TLS) na transmissão e quando armazenados;
- Data Minimization: limitar a quantidade de dados recolhidos aos estritamente necessários para a operação da aplicação;
- Data Anonymization: os dados estatísticos estão anonimizados e apenas em agregado para proteger a identidade dos utilizadores;
- Data Retention Policy: implementar uma política de retenção de dados, que apague automaticamente os dados antigos e desnecessários;
- Secure Data Storage: garantir que os dados são armazenados de forma segura, com encriptação e controlos de acesso.

Communication

- TLS for All Components: todas as comunicações devem ser feitas sobre TLS.

- Mutual Authentication: os componentes internos devem autenticar-se mutuamente.
- Encrypted Management Interfaces: interfaces de administração e monitorização devem estar cifradas.
- Certificate Validation: validação de certificados em todas as comunicações internas e externas.

Malicious Code

- Versioned Source Control: o código-fonte deve ser gerido por sistema de controlo de versões com autenticação.
- Secure Update Mechanism: updates automáticos devem ser autenticados e validados digitalmente.
- Static and Dynamic Code Analysis: integração de ferramentas SAST/DAST no pipeline.
- Third-party Auditability: dependências de terceiros devem ser verificadas quanto a segurança e legitimidade.

Files and Resources

- Política de Upload
  Limita arquivos a 100 MB (rejeita > 3 GB) e, em ZIPs, valida antes da extração — até 500 MB descomprimidos e 1 000 itens.
- Validação e Integridade
  Confere assinatura MIME contra extensão e executa varredura ClamAV em cada upload antes do armazenamento.
- Armazenamento
  Guarda fora do diretório público com permissões restritas e renomeia tudo usando UUID para evitar colisões e traversal.
- Download Seguro
  Serve sempre `Content-Type: application/octet-stream` com `Content-Disposition: attachment`, bloqueia extensões não permitidas e mantém logs centralizados.
- Proteção SSRF
  Permite callbacks/webhooks apenas a domínios numa allow-list; registra e alerta qualquer tentativa de acesso fora dela.

Configuration

- Secure Default Settings: os default settings da aplicação, devem estar definidos por forma a minimizar os riscos de erros na configuração;
- Configuration Management: os administradores têm a capacidade de gerir as definições da aplicação de forma segura;
- Environment Segregation: segregação de ambientes em desenvolvimento, teste, pre-produtivo e produtivo que permita limitar os acessos não autorizados e leak de dados;

- Component Isolation: uso de containers ou virtualização para isolar componentes da aplicação;
- Regular Updates: garantir que os componentes e dependências são actualizados regularmente para responder ás vulnerabilidades de segurança.

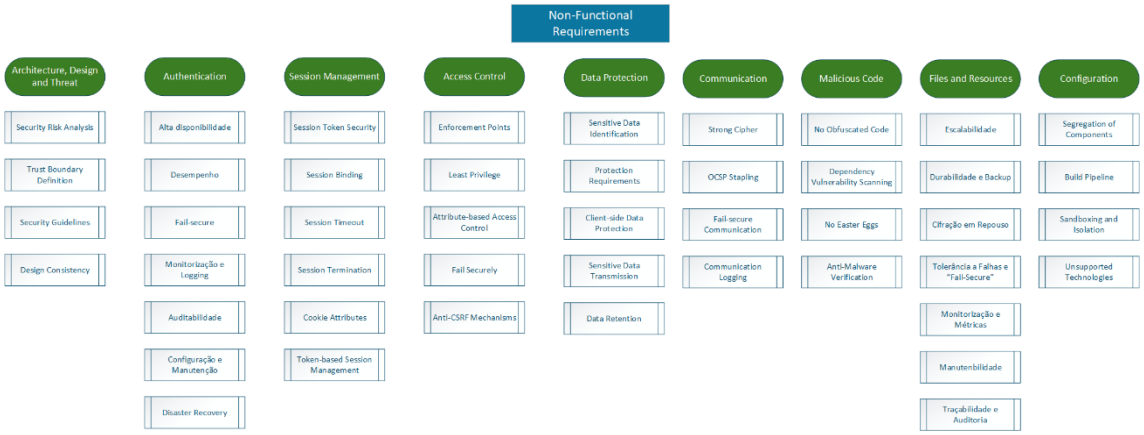


Figura 4 - Requisitos não-Funcionais

Architecture, Design and Threat

- Security Risk Analysis: todas as alterações significativas devem passar por análise de risco.
- Trust Boundary Definition: delimitação clara de fronteiras de confiança na arquitetura.
- Security Guidelines Access: toda a equipa deve ter acesso às guidelines e checklists de segurança.
- Design Consistency: a arquitetura deve manter consistência e evitar redundância em controlos.

Authentication

- Alta Disponibilidade: SLA de 99,9% com replicação redundante em pelo menos duas zonas de disponibilidade para continuidade em falhas de infraestrutura.
- Desempenho: tempo de resposta médio ≤ 500 ms para login, registo e validação de MFA sob carga de 1 000 req/s.
- Fail-Secure: em caso de indisponibilidade ou falha de dependência crítica (ex.: base de dados), recusar autenticações em vez de degradar para modos inseguros.
- Monitorização e Logging: todos os eventos de autenticação (sucessos, falhas, bloqueios, MFA) enviados em tempo real a um SIEM central, com retenção mínima de 1 ano e garantindo imutabilidade dos logs.
- Auditabilidade e Conformidade: suporte a auditorias de segurança (relatórios de tentativas e alterações de credenciais) e conformidade com GDPR para dados pessoais de autenticação.

- Configuração e Manutenção: parâmetros de segurança (limites de tentativas, políticas de bloqueio, hashing) configuráveis em tempo de execução sem redeploy e documentados para a equipa de operações.
- Disaster Recovery: plano de recuperação de desastres testado semestralmente, permitindo restaurar o serviço em ≤ 2 h com perda de dados limitada ao último backup incremental.

Session Management

- Session Token Security: garantir que os tokens de sessão não são apresentados em URLs, mensagens de erro ou logs;
- Session Binding: novos tokens devem ser gerados de forma aleatória e não predição, sempre que haja autenticação do utilizador;
- Session Timeout: após um período de inactividade de 15 minutos, as sessões terminam;
- Session Termination: após logout ou limite ter mecanismos de automatizar o término da sessão;
- Secure Cookie Attributes: os session tokens armazenados em cookies, têm os atributos 'Secure', 'HttpOnly' e 'SameSite' definidos;
- Token-based Session Management: para evitar tokens de sessão inválidos implementar assinaturas digitais e encriptação.

Access Control

- Enforcement Points: implementação de pontos de controlo de acessos em localizações identificáveis como gateways e servidores;
- Least Privilege: garantir que aos utilizadores apenas é atribuído o mínimo privilégio necessário;
- Atribute-based Access Control: garantir acessos baseados em funcionalidade para dados e funcionalidades específicas, sem acesso a contas de utilizadores;
- Fail Securely: em caso de excepção ou erro, o acesso deve ser terminado;
- Anti-CSR Mechanisms: protecção dados e APIs contra ataques de CSRF.

Data Protection

- Sensitive Data Identification: identificação e classificação de dados sensíveis em níveis de protecção;
- Protection Requirements: implementação de requisitos de encriptação, integridade, retenção, privacidade e confidencialidade nos dados sensíveis;
- Client-side Data Protection: implementação de mecanismos anti-caching dos headers e garantia que dados sensíveis não são armazenados no storage do browser;
- Sensitive Data Transmission: dados sensíveis não são enviados em parâmetros de query string, mas sim via http message body ou headers;
- Data Retention: implementar politicas para automaticamente apagar dados sensíveis antigos ou fora de data.

Communication

- Strong Cipher Suites: apenas algoritmos seguros devem ser permitidos (TLS 1.2+).
- OCSP Stapling: as revogações de certificados devem ser suportadas e verificadas.
- Fail-Secure Communication: em falha de canal seguro, a comunicação deve ser bloqueada.
- Communication Logging: falhas de TLS e alertas devem ser registados centralmente.

Malicious Code

- No Obfuscated Code: código com ofuscação ou funcionalidades escondidas deve ser rejeitado.
- Dependency Vulnerability Scanning: bibliotecas e pacotes devem ser verificados automaticamente (Snyk, Trivy).
- No Easter Eggs: o sistema não deve conter funcionalidades não documentadas ou surpresas.
- Anti-Malware Verification: validação contra código malicioso antes de produção.

Files and Resources

- Escalabilidade: armazenamento que escale horizontalmente até 10 TB e suporte 5 000 uploads simultâneos, com balanceamento automático de carga.
- Durabilidade e Backup: replicação em ≥ 3 regiões/geozonas; backups incrementais diários; retenção mínima de 30 dias; RPO ≤ 24 h e RTO ≤ 4 h.
- Cifração em Repouso: todos os objetos cifrados com AES-256, usando chaves geridas por KMS ou HSM.
- Tolerância a Falhas e “Fail-Secure”: bloqueio de novos uploads se ClamAV ou serviço de integridade falhar, até restabelecer verificação.
- Monitorização e Métricas: dashboards com uso de storage, taxas de upload/download, erros e tempo médio de varredura; alertas configuráveis para picos ou falhas.
- Manutenibilidade: atualização automática diária das definições de vírus do ClamAV e patches de segurança, sem downtime perceptível.
- Traçabilidade e Auditoria: logs detalhados (utilizador, timestamp, IP, resultado) de todas as operações de ficheiros, retidos por 1 ano e protegidos contra alterações.

Configuration

- Segregation of Components: uso de controlos de segurança, regras de firewall, API gateways e reverse proxies para segregação dos componentes em níveis;
- Build Pipeline: garantia que os build têm mecanismos que alertem para componentes fora de data ou inseguros, e tomem acções apropriadas;

- Sandboxing and Isolation: isolar, containerizar e usar sandbox para componentes da aplicação, tornando-a assim menos acessível a atacantes;
- Unsupported Technologies: evitar o uso de tecnologias client-side não suportadas, inseguras ou obsoletas.

Use Cases

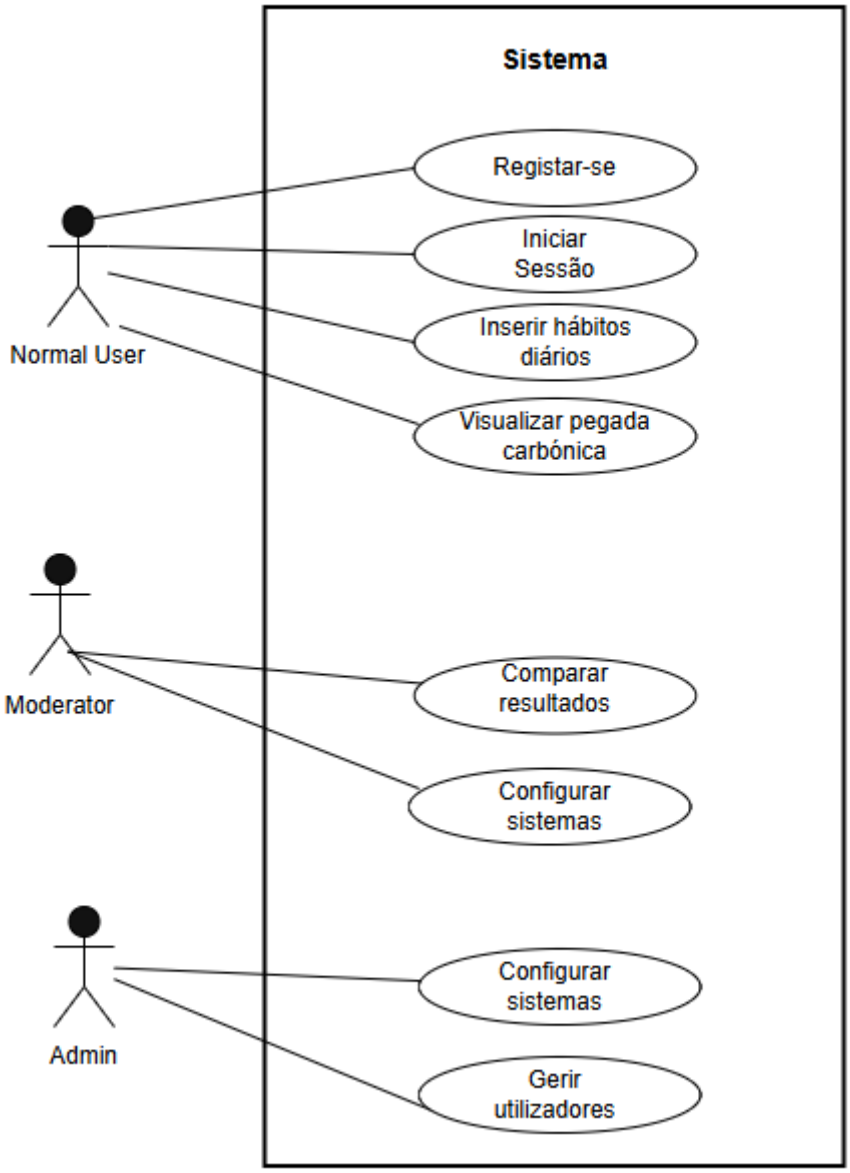


Figura 5 - Diagrama Casos de Uso

As funcionalidades do sistema são as seguintes:

- **US1**: Eu, como Utilizador, pretendo **registar-me** no sistema para começar a usá-lo.
- **US2**: Eu, como Utilizador, pretendo **iniciar sessão** para aceder à minha conta.
- **US3**: Eu, como Utilizador, pretendo **inserir os meus hábitos diários** (ex.: transporte, alimentação, consumo) para obter a minha pegada de carbono.
- **US4**: Eu, como Utilizador, pretendo **visualizar a minha pegada carbónica** para compreender o impacto das minhas escolhas.
- **US7**: Eu, como Moderador, pretendo **aceder a relatórios agregados e comparações estatísticas** para analisar padrões de comportamento dos utilizadores.
- **US8**: Eu, como Moderador, pretendo **configurar o sistema** (parâmetros de cálculo, categorias de hábitos) de forma a adaptar o simulador à realidade.
- **US9**: Eu, como Administrador, pretendo **configurar o sistema** ao nível global, incluindo gestão de categorias e regras base.
- **US10**: Eu, como Administrador, pretendo **gerir os utilizadores** (ex.: ativar, remover contas, atribuir ou remover permissões).

Arquitetura

O sistema desenvolvido para o projeto **Simulador de Impacto Ambiental** é composto por dois componentes principais: o **backend** e a **base de dados**.

Esta aplicação cliente comunica com o **backend** através de chamadas HTTP/HTTPS, trocando dados em formatos seguros. O **backend** é responsável por receber e processar todos os pedidos enviados, validando-os, aplicando a lógica de negócio e assegurando a aplicação correta dos controlos de segurança definidos.

Além disso, o backend interage com uma **base de dados** relacional, onde são armazenadas informações persistentes como dados de utilizadores, registos de hábitos diários, resultados de pegada de carbono e configurações do sistema.

Em casos específicos, como a gestão de uploads ou documentos gerados, o backend poderá também interagir com um **sistema de ficheiros** ou uma **API externa de gestão de ficheiros**, respeitando sempre os princípios de segurança de dados e isolamento de componentes.

Desta forma, a arquitetura adotada assegura uma separação clara de responsabilidades entre a camada de lógica de negócio (backend) e a camada de persistência de dados (base de dados), promovendo a escalabilidade, segurança e manutenção eficiente do sistema.

‘Threat Modeling’

A identificação e análise de ameaças é um dos pilares fundamentais do desenvolvimento seguro de software. O principal objetivo do processo de Threat Modeling é, de forma sistemática, identificar potenciais ameaças e vulnerabilidades no sistema, garantindo que estas sejam tratadas de forma proativa antes que possam ser exploradas.

Para realizar esta análise, é essencial ter um conhecimento profundo da arquitetura do sistema, dos componentes, dos fluxos de dados e das relações de confiança entre as diferentes partes que compõem a aplicação.

Neste projeto, foi adotado o modelo STRIDE como base para a identificação das ameaças, categorizando-as em seis grupos:

- Spoofing (Falsificação de identidade)
- Tampering (Adulteração de dados)
- Repudiation (Repúdio de ações)
- Information Disclosure (Divulgação não autorizada de informação)
- Denial of Service (Negação de serviço)
- Elevation of Privilege (Elevação de privilégios)

Além da identificação, é também realizada a análise de vulnerabilidades que possam ser exploradas, como falhas de implementação, más configurações ou decisões de design inseguras.

Integração do Processo de Threat Modeling

O Threat Modeling não é tratado como uma atividade isolada, mas sim como parte integrante do Secure Software Development Life Cycle (SSDLC). Este processo é contínuo e iterativo, sendo reaplicado sempre que ocorrem alterações significativas na aplicação, como:

- Desenvolvimento de novas funcionalidades
- Alterações na arquitetura
- Integração de novas dependências

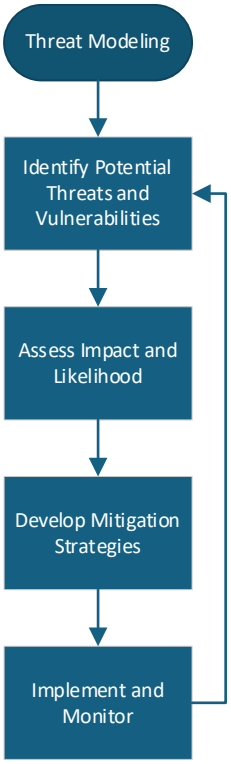


Figura 6 - Threat Modeling Process

Descrição dos Níveis do Processo Representado

1. Identify Potential Threats and Vulnerabilities

Na primeira fase, são mapeadas as potenciais ameaças e vulnerabilidades através da análise:

- Da arquitetura do sistema;
- Dos fluxos de dados;
- Dos limites de confiança;
- Dos componentes e suas interações.

Aplica-se o modelo STRIDE para garantir uma categorização ampla das ameaças, cobrindo diferentes vetores de ataque e cenários de exploração.

2. Assess Impact and Likelihood

Cada ameaça identificada é avaliada quanto ao seu impacto e à probabilidade de ocorrência. Para essa avaliação, foi utilizado o modelo DREAD, que permite uma quantificação objetiva baseada nos seguintes critérios:

- Damage Potential (Potencial de dano)

- Reproducibility (Reprodutibilidade)
- Exploitability (Explorabilidade)
- Affected Users (Utilizadores afetados)
- Discoverability (Descoberta da vulnerabilidade)

Esta análise permite priorizar as ameaças e focar os esforços de mitigação nas mais críticas.

3. Develop Mitigation Strategies

Com base nos riscos identificados e priorizados, são definidas estratégias de mitigação adequadas. Estas podem incluir:

- Fortalecimento dos mecanismos de autenticação e controlo de acessos;
- Encriptação de dados sensíveis em repouso e em trânsito;
- Limitação de taxas de acesso (rate limiting) e aplicação de throttling;
- Implementação de sistemas de deteção e prevenção de intrusões (IDS/IPS);
- Aplicação de políticas de configuração segura e atualização contínua de componentes.

4. Implement and Monitor

Após a definição das estratégias, as mesmas são implementadas na aplicação. A eficácia destas medidas é garantida através de:

- Monitorização contínua;
- Centralização e análise de logs de segurança;
- Auditorias regulares;
- Detecção ativa de novas ameaças e vulnerabilidades.

Sempre que são detetadas alterações no ambiente ou novas ameaças, o processo é reiniciado, reforçando a abordagem dinâmica e adaptativa do Threat Modeling.

Este ciclo iterativo e contínuo, aliado à utilização de modelos como STRIDE e DREAD, permite garantir que o projeto se mantém seguro ao longo de todo o ciclo de vida de desenvolvimento.

Diagrama de Fluxo de Dados (DFD)

Nível 0

De forma a representar de maneira clara a interação entre os diferentes intervenientes e o sistema, foi desenvolvido o Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) de Nível 0, também conhecido como Context Diagram.

Este diagrama permite visualizar, de forma simplificada, os fluxos de dados entre os utilizadores (Admin, Moderator e Normal User) e o sistema Simulador de Impacto Ambiental, assim como a relação deste com a base de dados.

O DFD Nível 0 descreve a aplicação como uma "caixa preta", onde são evidenciados apenas os fluxos de entrada e saída de dados, sem detalhar os processos internos, garantindo uma visão global das interações externas do sistema.

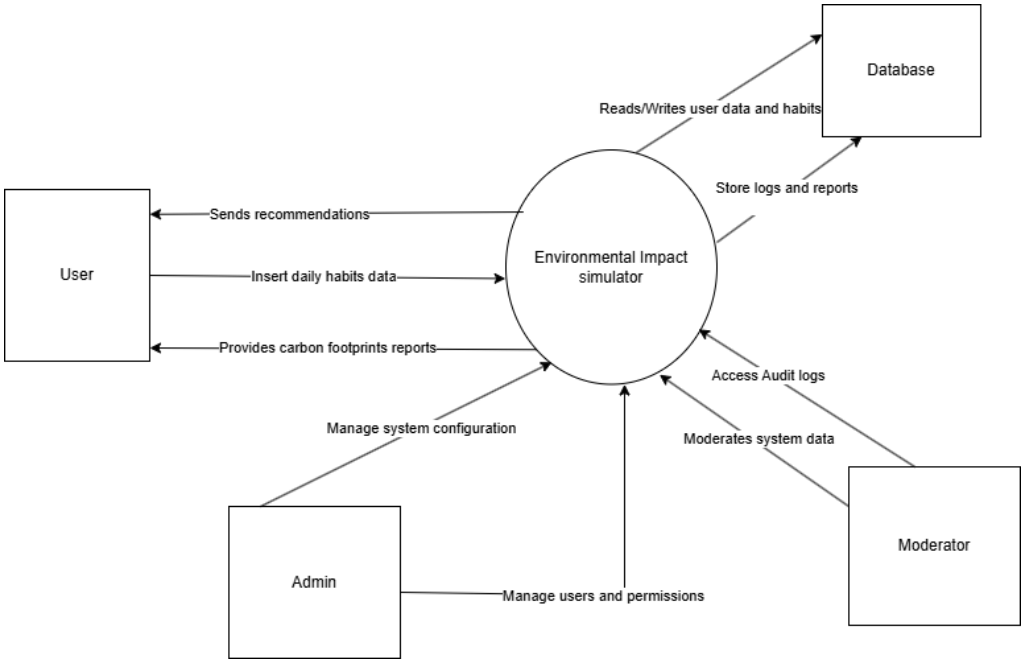


Figura 7 - DFD Nível 0

Nível 1

De modo a representar de forma mais detalhada as interações internas do sistema, foi desenvolvido o **Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) de Nível 1**.
Este diagrama descreve a comunicação entre os diferentes intervenientes (Admin, Moderator e Users) e o sistema Simulador de Impacto Ambiental, representando agora também a divisão entre os principais componentes internos: **Backend Server**, **Database** e **File API**.

O **Backend Server** atua como o núcleo do sistema, recebendo pedidos dos utilizadores através do frontend e interagindo com a base de dados e a File API conforme necessário para o tratamento dos pedidos.

- Os **Users** (utilizadores normais) enviam **Requests** para o backend, nomeadamente para inserção de hábitos diários ou consulta de pegada carbónica, recebendo como resposta os resultados ou sugestões.
- O **Moderator** interage de forma semelhante, enviando **Requests** mais orientados para a comparação de resultados ou análise de dados, recebendo **Responses** com os relatórios ou visualizações pretendidas.
- O **Admin** realiza ações de configuração e gestão de utilizadores, enviando **Requests** para o backend e recebendo **Responses** de confirmação ou resultados das operações efetuadas.

A comunicação com a **Database** ocorre quando o backend necessita de:

- Armazenar novos dados submetidos (hábitos diários, configurações);
- Ler dados para cálculos de pegada de carbono ou geração de relatórios;

Em operações específicas de gestão de ficheiros (por exemplo, exportação de relatórios ou uploads de documentos), o backend comunica com a **File API**, respeitando uma fronteira de confiança separada.

O DFD evidencia ainda as **trust boundaries** críticas:

- Entre os utilizadores e o backend (User/Backend Boundary);
- Entre o backend e a base de dados (Backend/Database Boundary);
- Entre o backend e a API de ficheiros (Backend/File API Boundary).

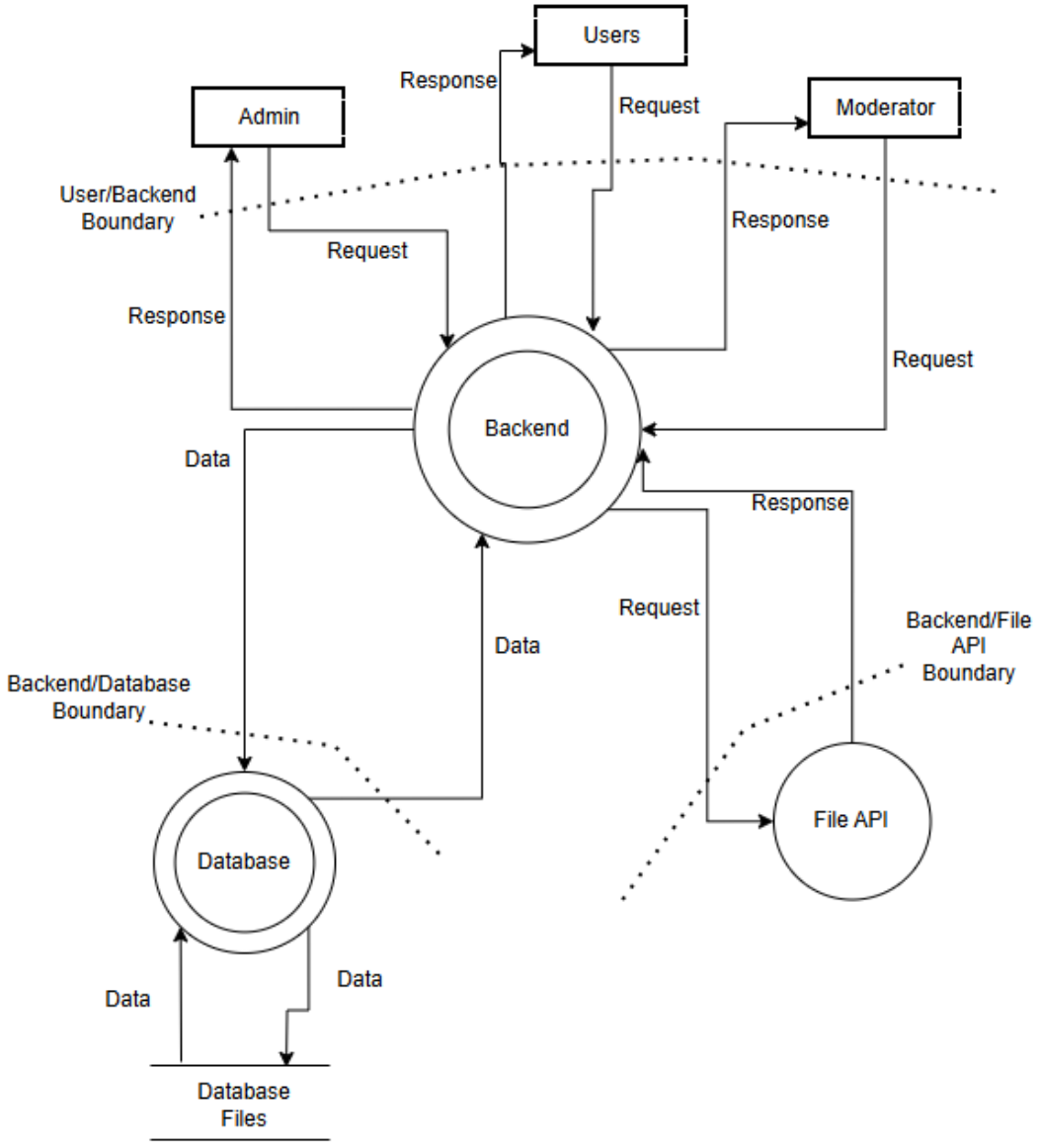


Figura 8 - DFD Nível 1

ASVS

Tomando por base a checklist e guidelines que a OWASP Application Security Verification Standard (ASVS) Framework, prioritizando para a solução.

Architecture, Design and Threat

A arquitetura do sistema foi planeada com foco em segurança, seguindo o ciclo de vida SSDLC, com integração de threat modeling e controlo de riscos em todas as fases de desenvolvimento. O sistema adota:

- Uma arquitetura modular, com componentes isolados e documentados;
- Threat modeling com base em STRIDE para identificar ameaças recorrentes;
- Definição clara de limites de confiança e de dados sensíveis;
- Centralização de controlos reutilizáveis para evitar duplicação ou ausência de mecanismos de proteção;
- Checklist interna de desenvolvimento seguro para todos os programadores e validadores.

Authentication

A autenticação é implementada com foco em segurança desde a criação até à recuperação de contas, garantindo proteção contra automação e armazenamento seguro. O sistema adota:

- Política de Passwords com mínimo de 12 caracteres, medidor de força, permissão de colar e verificação contra leaks;
- Proteção contra ataques automatizados, com limite de tentativas, CAPTCHA e throttling por IP;
- MFA obrigatório em operações críticas, com suporte a FIDO2, TOTP e notificações seguras;
- Gestão segura do ciclo de vida dos autenticadores, com expiração e revogação controlada de tokens;
- Armazenamento de credenciais com Argon2id/bcrypt/PBKDF2, salt e pepper, e uso de HSM/Vault;
- Recuperação de conta segura, sem perguntas de conhecimento, com tokens únicos e verificação MFA.

Session Management

A adopção de mecanismos de gestão de sessões, tendo-se optado por incluir:

- Session Token Security: garantia que os tokens de sessão não são apresentados quer em URLs ou mensagens de erros;
- Session Binding: após autenticação de utilizador novos tokens são gerados, com garantia de aleatoriedade e imprevisibilidade.

- Session Storage: o armazenamento dos tokens de sessão com metodologia de cookies com atributos seguros ('Secure', 'HttpOnly' e 'SameSite').
- Session Termination: após logout do utilizador, os tokens são anulados para evitar session hijacking.
- Token-based Session Management: adopção de assinatura digitais e encriptação para evitar stateless session tokens.

Access Control

O acesso dos utilizadores deve respeitar o princípio da restrição:

- Enforcement Points: implementar controlos de acesso em pontos como gateways ou servidores;
- Least Privilege: garantir o cumprimento do princípio do menor privilégio 'Principle of Least Privilege (PoLP)';
- Attribute-based Access Control: o acesso a determinadas funcionalidades ou dados, não estar autorizado através de contas de utilizador;
- Fail Securely: no caso de erro ou excepção na aplicação, deverá ser adoptado o default de negar em vez de autorizar acessos;
- Anti-CSRF Mechanisms: implementar mecanismos de protecção contra ataques 'Cross-Site Request Forgery (CSRF)', que garantam no acesso a dados sensíveis ou APIs sejam feitos por utilizadores e não por mecanismos de "manipulação" de sessões no browser. Seja por os atributos nos cookies (SameSite atribute), tokens (CSRF Tokens – Synchronizer Token Pattern) ou implementação de CAPTCHA.

Data Protection

Neste tópico, considera-se a protecção dos dados sensíveis de acesso não-autorizado e brechas:

- Sensitive Data Identification: identificar e classificar os dados por níveis de protecção/criticidade;
- Protection Requirements: aplicar como requisitos encriptação, integridade, retenção, privacidade e confidencialidade nos dados identificados como sensíveis;
- Client-side Data Protection: aplicar mecanismos de anti-caching que garantem que os dados sensíveis não são armazenados pelo browser;
- Sensitive Data Transmission: o envio dos dados sensíveis não é enviado em parâmetros de query strings, mas sim na message body ou headers;
- Data Retention: os dados sensíveis devem ser apagados de forma automática, sempre que não sejam necessários.

Communication

As comunicações entre componentes da aplicação estão protegidas por ligações seguras (TLS), incluindo comunicações internas entre microserviços, bases de dados, APIs e terceiros. As boas práticas implementadas incluem:

- Uso exclusivo de TLS 1.2 ou superior;
- Ciphers seguros e certificados confiáveis, com validação de CA;
- Revogação de certificados com OCSP stapling quando aplicável;
- Logging de falhas de comunicação TLS e rejeição de protocolos inseguros;
- Isolação de tráfego por rede entre ambientes e containers distintos.

Malicious Code

A prevenção de código malicioso e funcionalidade indesejada é assegurada com:

- Análise estática e dinâmica de código fonte (SAST e DAST);
- Revisões obrigatórias de pull requests e rastreabilidade de alterações via Git;
- Verificação automática de dependências (ex.: Snyk, Trivy);
- Proibição de dependências obsoletas, binários não documentados, contas backdoor ou funções de debug abertas em produção;
- Validação de que não existem "easter eggs", “subdomain takeovers”, nem funcionalidades escondidas ou inseguras nos clientes ou no backend.

Files and Resources

A gestão de ficheiros segue práticas rigorosas para prevenir DoS, execução arbitrária e SSRF, garantindo integridade e confidencialidade. O sistema adota:

- Controlo de uploads com limite de tamanho (ex.: 100 MB) e quota por utilizador (ex.: 500 MB);
- Validação de integridade via assinatura MIME e alerta em caso de ficheiros maliciosos;
- Execução segura, com renomeação via UUID, armazenamento fora do web-root e varredura anti-malware;
- Transferência controlada, forçando headers seguros e bloqueando extensões perigosas;
- Defesa contra SSRF, com allow-list de domínios e monitorização de tráfego de saída.

Configuration

Por gestão da configuração, considera-se que a aplicação seja devidamente parametrizada e mantida:

- Segregation of Components: a aplicação de controlos de segurança, regras de firewall, API gateways, e reverse proxies para segregar os componentes por níveis;
- Build Pipeline: garantir que o build avisa quanto a componentes não-seguros ou antigos, e toma medidas preventivas;

- Sandboxing and Isolation: isolar os componentes em ambientes como containers, sandbox, nomeadamente os componentes críticos da aplicação de acesso de atacantes;
- Unsupported Technologies: evitar a utilização de tecnologias antigas, ou identificadas como inseguras.

Validation and Sanitization

A solução implementa mecanismos robustos de validação e sanitização de entradas, de acordo com as recomendações da OWASP ASVS e seguindo o ciclo de vida seguro de desenvolvimento (SSDLC):

- Input Validation: Todas as entradas do utilizador são validadas no backend, com utilização de listas de permissões ("allowlist") para formatos esperados e restrição de tipos de dados. Além disso também garantir o preenchimento de todos os campos essenciais e obrigatórios.

- Output Encoding: Dados que são devolvidos em respostas HTTP são devidamente codificados, prevenindo ataques como Cross-Site Scripting (XSS).
- Sanitization: Para dados que aceitam conteúdo mais flexível (ex.: campos de texto), são aplicados filtros de sanitização para remover scripts e caracteres maliciosos.
- Automated Validation: Ferramentas automatizadas de validação de payloads e esquemas (ex.: JSON Schema Validator) são integradas no pipeline de CI/CD.
- Strict HTTP Method Validation: Apenas métodos HTTP estritamente necessários (GET, POST, etc.) são aceites, com rejeição e logging das tentativas indevidas.

Stored Cryptography

Os dados sensíveis são protegidos com criptografia forte em repouso, garantindo a integridade e confidencialidade das informações:

- Data Classification: Dados são classificados quanto à sua criticidade, definindo requisitos para criptografia.
- Encryption at Rest: Utilização de algoritmos robustos (AES-256) para a criptografia de informações sensíveis armazenadas em bases de dados. (Como por exemplo passwords)
- Key Management: As chaves criptográficas são geridas de forma segura, com políticas de rotação periódica e segregação de acesso.

- No Plain text Storage: Nunca são armazenadas senhas ou informações sensíveis em texto plano. Senhas, por exemplo, utilizam algoritmos de hashing adequados (bcrypt, Argon2).
- Integrity Check: Verificação de integridade para dados criptografados, prevenindo adulterações.

Error Handling and Logging

A solução adota práticas seguras para tratamento de erros e logging como a utilização de um middleware que garante uma globalização das exceptions da aplicação, evitando a exposição de informações internas e garantindo rastreabilidade para auditoria:

- No Sensitive Data in Errors: Mensagens de erro não expõem detalhes técnicos, stack traces ou informações sensíveis (como paths internos ou variáveis).
- Fail Securely: Por padrão, operações falham de forma segura, sem revelar lógica interna ou comprometer a segurança.
- Centralized Logging: Uso de logging centralizado com registros detalhados de atividades críticas e tentativas de acesso não autorizado.
- Log Protection: Logs são protegidos contra acesso não autorizado e armazenados em sistemas monitorados.
- Alerting: Implementação de alertas para eventos suspeitos, como tentativas de acesso inválidas ou padrões anômalos.

API and Web Service Security

Foram aplicados controlos rigorosos de segurança para APIs e web services, alinhados com o OWASP ASVS e as melhores práticas do setor:

- Secure HTTP Headers: Todas as respostas incluem headers de segurança essenciais (Content-Type, X-Content-Type-Options: nosniff, Strict-Transport-Security, Referrer-Policy, Content-Security-Policy, entre outros).
- CORS Policy: Política CORS restritiva, aceitando apenas domínios confiáveis, rejeitando null origins e prevenindo uso indevido de *.
- Authentication and Authorization: Todas as APIs exigem autenticação forte, e o acesso é controlado com base em perfis e permissões.
- CSRF Protection: Mecanismos anti-CSRF implementados em endpoints críticos, utilizando SameSite em cookies e/ou tokens anti-CSRF.
- Rate Limiting and Throttling: Aplicação de rate limits e mecanismos de detecção de abuso em APIs públicas e sensíveis.

Ameaças

Um dos pressupostos iniciais, de qualquer análise deste tipo é identificar as potenciais ameaças do sistema, tomando por base os seus componentes. Para o efeito, estas foram classificadas usando as seguintes fases:

- Categorização;
- Árvores de ameaças;
- Prioritização das ameaças;
- *Misuse cases*.

Categorização

Como metodologia adotada para a categorização das ameaças, optou-se pelo modelo **STRIDE** pela sua simplicidade, clareza e eficácia na identificação de uma ampla gama de ameaças.

Mas também, porque os modelos que identificamos como alternativos não se aparentavam como os de acessíveis, ou porque se posicionavam em questões muito específicas que poderão vir-se a equacionar noutras fases do projeto:

- DREAD (**D**amage Potential, **R**eproducibility, **E**xploitability, **A**ffected Users e **D**iscoverability): este modelo é utilizado para avaliar a criticidade das ameaças identificadas. Enquanto o STRIDE categoriza ameaças, o DREAD ajuda a priorizá-las com base no impacto potencial.
- PASTA (**P**rocess for **A**ttack **S**imulation and **T**hreat **A**nalysis): Este modelo é mais complexo e envolve várias etapas para simular ataques e analisar ameaças. É útil para organizações que necessitam de uma análise detalhada e abrangente, mas pode ser mais difícil de implementar comparado ao STRIDE.
- OCTAVE (**O**perationally **C**ritical **T**hreat, **A**sset, and **V**ulnerability **E**valuation): Focado na avaliação de riscos organizacionais, este modelo é mais adequado para grandes organizações que precisam de uma abordagem holística para a gestão de riscos.
- LINDDUN (**L**inking, **I**dentifying, **N**on-repudiation, **D**etecting, **D**ata **D**isclosure, **U**nawareness and **N**on-compliance): Este modelo é específico para a privacidade e ajuda a identificar ameaças relacionadas à privacidade em sistemas de software. É útil quando a proteção de dados pessoais é uma prioridade.

A escolha do modelo STRIDE, desenvolvido pela Microsoft, é largamente adotado pela forma como procede à categorização:

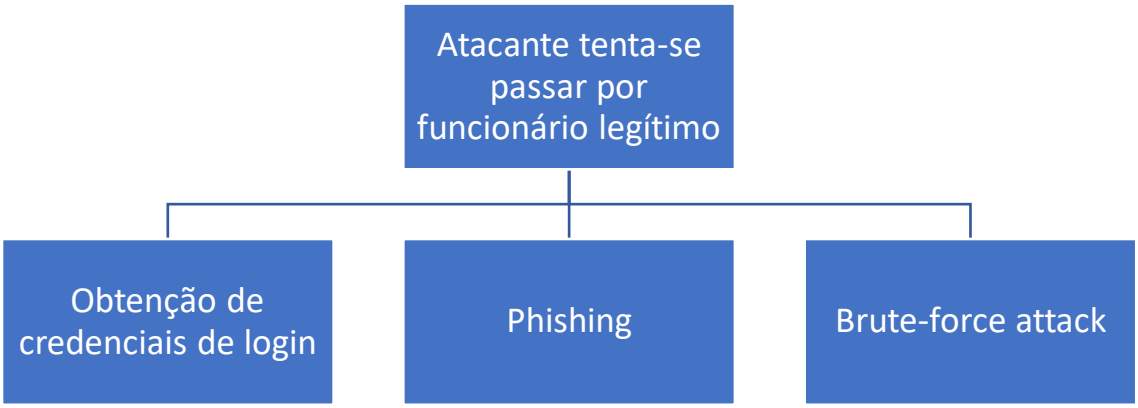
- Abrangência: O STRIDE categoriza ameaças em seis tipos principais: Falsificação de Identidade (**S**poofing), Adulteração (**T**ampering), Repúdio (**R**epudiation), Divulgação de Informação (**I**nformation Disclosure), Negação de Serviço (**D**enial of Service) e Elevação de Privilégios (**E**levation of Privilege). Esta categorização abrangente ajuda a identificar uma ampla gama de ameaças potenciais.
- Simplicidade e Clareza: O modelo é fácil de entender e aplicar, tornando-o acessível tanto para iniciantes quanto para profissionais experientes. A sua estrutura clara facilita a comunicação das ameaças identificadas aos stakeholders.

- Foco na Segurança Proativa: O STRIDE incentiva uma abordagem proativa à segurança, ajudando as equipas de desenvolvimento a pensar como atacantes e a implementar medidas de segurança antes que ocorram violações.
- Integração com Diagramas de Fluxo de Dados (DFDs): Utiliza DFDs para identificar fronteiras do sistema, eventos e entidades, o que facilita a visualização e análise das ameaças.

Árvores de ameaça

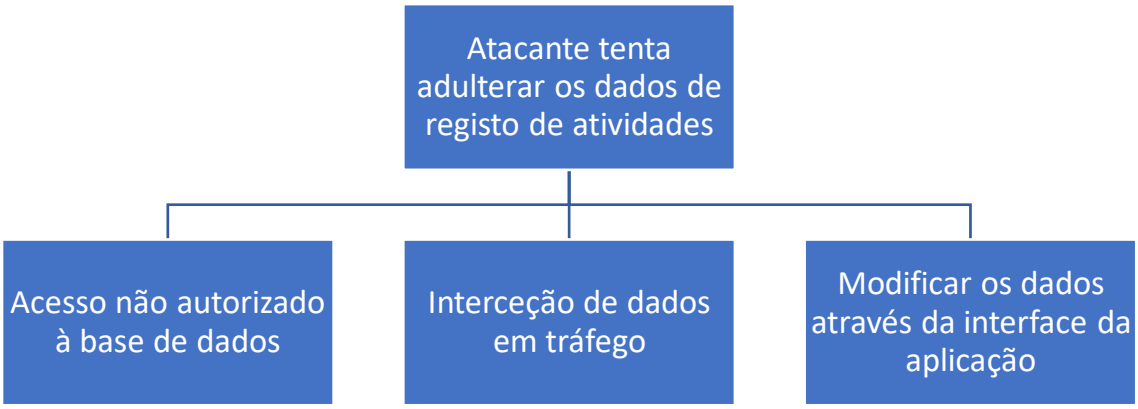
O recurso a árvores de ameaça fornece uma descrição da segurança dos sistemas, pela exploração de vários ataques tais como:

Atacante tenta-se passar por funcionário legítimo



Para este cenário identificou-se três métodos de ação, podendo-se implementar como medidas de contenção a implementação de autenticação multifator, a formação dos utilizadores em como evitar ações de phising. Ou mesmo a implementação de ações que limitem o brute-force ao nível do login, cache e storage local do browser.

Atacante tenta alterar os dados de registo de atividades

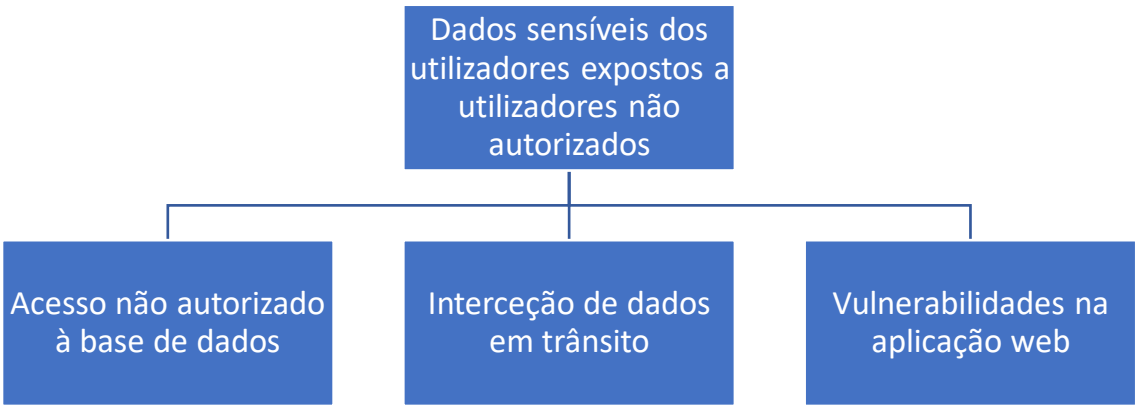


Como formas de mitigar estas potenciais vulnerabilidades deve ser adotada a implementação de criptografia dos dados e controlos de acesso rigorosos. As comunicações serem todas por HTTPS (com TLS), e a existência logs de auditoria a todos os acessos.

Um funcionário nega ter registado determinada atividade

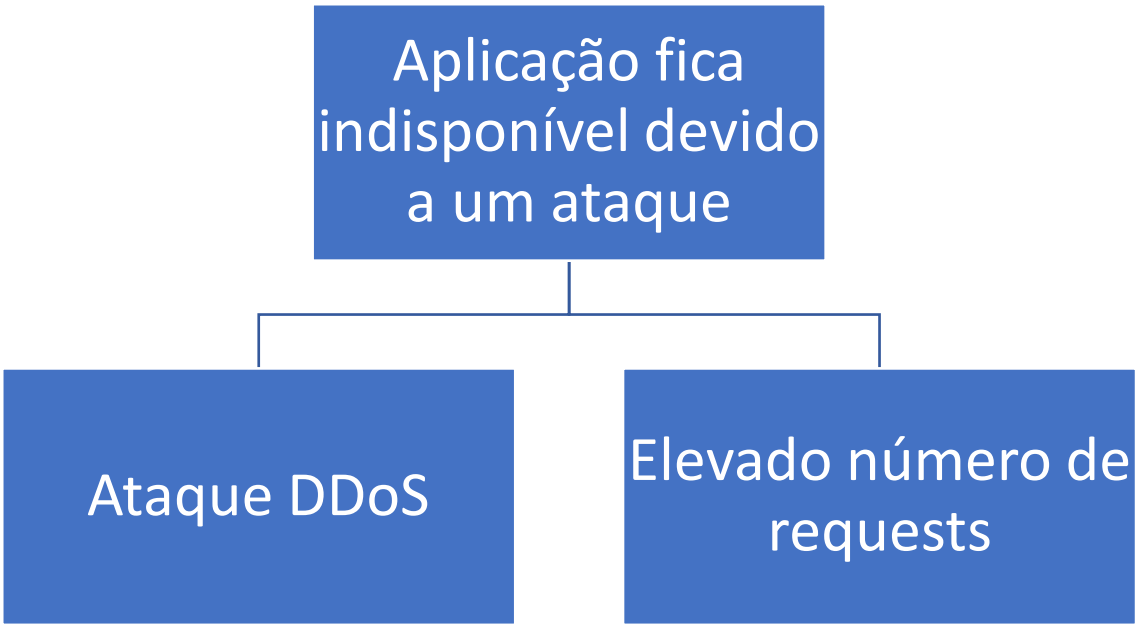
Na ausência de logs de auditoria, uma ação é implementá-los. Garantir a sua segurança é atingível com a implementação de assinaturas digitais nestes.

Dados sensíveis dos utilizadores expostos a utilizadores não autorizados

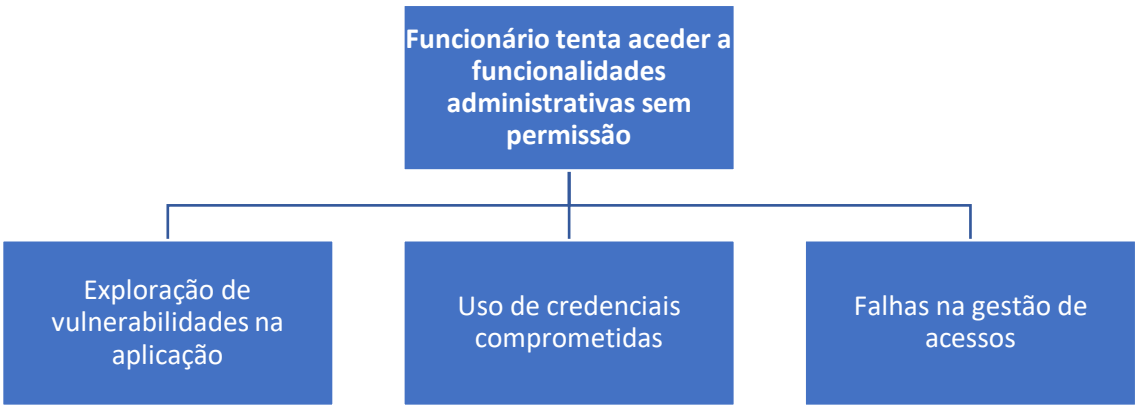


Abordagens a esta vulnerabilidade, podem ser mitigadas com a implementação de controlos de acesso baseados em funções (RBAC), utilização de criptografia TLS e ter um plano regular de testes de penetração (com a respetiva implementação das recomendações).

Aplicação fica indisponível devido a um ataque



Os mecanismos que podem auxiliar neste cenário, é a implementação de balanceadores e proteção contra DDoS. Mas também limitar o número de requests e monitorização de tráfego.



Uma revisão constante do código, e implementação de medidas de segurança ajuda a mitigar estas vulnerabilidades. Mas também manter ativos mecanismos de monitorização de atividades suspeitas e implementar alertas de segurança, nunca descurando a necessidade de

Validação de Campos Obrigatórios:

Garante o preenchimento de todos os campos essenciais e obrigatórios.

Exemplo: Não é permitido submeter dados sem indicar pelo menos um hábito diário.

também permanente de rever permissões e políticas de acesso.

Categorização

Na vertente de categorização, e tal como referido anteriormente, o modelo DREAD (Damage Potential, Reproducibility, Exploitability, Affected Users, Discoverability) ajuda a quantificar, comparar e priorizar ameaças à segurança. Entende-se por:

- **D**amage Potential: Avalia a gravidade do dano que pode resultar se uma vulnerabilidade for explorada. Considera fatores como perda de dados, comprometimento do sistema, impacto financeiro, danos à reputação e violações de conformidade regulatória.
- **R**eproducibility: Mede a facilidade com que um ataque pode ser replicado. A maior reprodutibilidade indica uma exploração mais confiável e menos requisitos de habilidades para os atacantes.
- **E**xploitability: Analisa a facilidade com que uma vulnerabilidade pode ser explorada. Considera os requisitos técnicos e a disponibilidade de ferramentas para realizar o ataque.
- **A**ffected Users: Calcula quantos utilizadores seriam afetados por um ataque. Pode variar de um único utilizador a todos os utilizadores do sistema.

- **D**iscoverability: Determina a facilidade com que uma vulnerabilidade pode ser descoberta por um atacante.

Cada categoria é avaliada numa escala de 0 a 10 (em que 0 é não há ameaça/enquadrável e 10 catastrófico), e a média das pontuações fornece uma classificação geral da ameaça.

Atacante tenta-se passar por funcionário legítimo

Damage Potential:

Avaliação: Se um atacante conseguir se passar por um funcionário, pode aceder a dados sensíveis e realizar ações em nome do funcionário, causando danos significativos.

Pontuação: 8 (Comprometimento de dados não sensíveis de indivíduos ou empregador)

Reproducibility:

Avaliação: A falsificação de identidade pode ser replicada se o atacante tiver acesso às credenciais do funcionário. Métodos como phishing podem facilitar isso.

Pontuação: 7 (Fácil)

Exploitability:

Avaliação: A exploração pode ser realizada com ferramentas disponíveis, como kits de phishing, e não requer habilidades técnicas avançadas.

Pontuação: 8 (Requer proxies de aplicação web)

Affected Users:

Avaliação: Dependendo do sucesso do ataque, pode afetar um ou vários funcionários, especialmente se o atacante conseguir escalar privilégios.

Pontuação: 6 (Poucos utilizadores)

Discoverability:

Avaliação: Vulnerabilidades de falsificação de identidade podem ser descobertas através de análise de tráfego de rede e monitoramento de atividades suspeitas.

Pontuação: 7 (Vulnerabilidade encontrada no domínio público)

Classificação Geral:

Cálculo: (8 + 7 + 8 + 6 + 7) / 5 = **7.2**

Atacante tenta alterar os dados de registo de atividades

Damage Potential:

Avaliação: Se um atacante conseguir adulterar os dados de registo, pode comprometer a integridade dos dados, levando a decisões erradas e perda de confiança na aplicação.

Pontuação: 9 (Comprometimento de dados não sensíveis de indivíduos ou empregador)

Reproducibility:

Avaliação: A adulteração de dados pode ser replicada se o atacante tiver acesso à base de dados ou à interface da aplicação. Métodos como injeção de SQL podem facilitar isso.

Pontuação: 8 (Fácil)

Exploitability:

Avaliação: A exploração pode ser realizada com ferramentas disponíveis, como scripts de injeção de SQL, e não requer habilidades técnicas avançadas.

Pontuação: 9 (Requer proxies de aplicação web)

Affected Users:

Avaliação: Dependendo do sucesso do ataque, pode afetar um ou vários funcionários, especialmente se os dados adulterados forem utilizados para avaliações ou relatórios.

Pontuação: 7 (Poucos utilizadores)

Discoverability:

Avaliação: Vulnerabilidades de adulteração de dados podem ser descobertas através de auditorias de segurança e monitoramento de atividades suspeitas.

Pontuação: 8 (Vulnerabilidade encontrada no domínio público)

Classificação Geral:

Cálculo: (9 + 8 + 9 + 7 + 8) / 5 = **8.2**

Um funcionário nega ter registado determinada atividade

Damage Potential:

Avaliação: Se um funcionário conseguir negar ações realizadas, pode comprometer a integridade dos registos e a confiança na aplicação, levando a decisões erradas e possíveis disputas internas.

Pontuação: 7 (Comprometimento de dados não sensíveis de indivíduos ou empregador)

Reproducibility:

Avaliação: A negação de ações pode ser replicada se não houver logs de auditoria adequados ou se os logs forem facilmente alteráveis.

Pontuação: 6 (Complexo)

Exploitability:

Avaliação: A exploração pode ser realizada por qualquer funcionário que tenha acesso à aplicação, especialmente se os logs não forem protegidos.

Pontuação: 7 (Requer ferramentas disponíveis)

Affected Users:

Avaliação: Dependendo do sucesso do ataque, pode afetar um ou vários funcionários, especialmente se os dados adulterados forem utilizados para avaliações ou relatórios.

Pontuação: 5 (Poucos utilizadores)

Discoverability:

Avaliação: Vulnerabilidades de repúdio podem ser descobertas através de auditorias de segurança e monitoramento de atividades suspeitas.

Pontuação: 7 (Vulnerabilidade encontrada no domínio público)

Classificação Geral:

Cálculo: (7 + 6 + 7 + 5 + 7) / 5 = **6.4**

Dados sensíveis dos utilizadores expostos a utilizadores não autorizados

Damage Potential:

Avaliação: A divulgação de informações sensíveis pode levar a violações de privacidade, danos à reputação da empresa e possíveis ações legais.

Pontuação: 9 (Comprometimento de dados sensíveis de indivíduos ou empregador)

Reproducibility:

Avaliação: A divulgação de informações pode ser replicada se houver vulnerabilidades na aplicação ou na infraestrutura de rede.

Pontuação: 8 (Fácil)

Exploitability:

Avaliação: A exploração pode ser realizada com ferramentas disponíveis, como sniffers de rede, e não requer habilidades técnicas avançadas.

Pontuação: 8 (Requer ferramentas disponíveis)

Affected Users:

Avaliação: Dependendo do sucesso do ataque, pode afetar um grande número de funcionários, especialmente se os dados expostos forem utilizados para fins maliciosos.

Pontuação: 7 (Muitos utilizadores)

Discoverability:

Avaliação: Vulnerabilidades de divulgação de informação podem ser descobertas através de auditorias de segurança e monitoramento de atividades suspeitas.

Pontuação: 7 (Vulnerabilidade encontrada no domínio público)

Classificação Geral:

Cálculo: (9 + 8 + 8 + 7 + 7) / 5 = **7.8**

Aplicação fica indisponível devido a um ataque

Damage Potential:

Avaliação: A indisponibilidade da aplicação pode causar interrupções significativas nas operações da empresa, afetando a produtividade e a confiança dos funcionários.

Pontuação: 8 (Interrupção significativa das operações)

Reproducibility:

Avaliação: Ataques de negação de serviço podem ser facilmente replicados utilizando ferramentas disponíveis, como botnets.

Pontuação: 9 (Muito fácil)

Exploitability:

Avaliação: A exploração pode ser realizada com ferramentas amplamente disponíveis e não requer habilidades técnicas avançadas.

Pontuação: 8 (Requer ferramentas disponíveis)

Affected Users:

Avaliação: Dependendo do sucesso do ataque, pode afetar todos os funcionários que utilizam a aplicação.

Pontuação: 9 (Todos os utilizadores)

Discoverability:

Avaliação: Vulnerabilidades de negação de serviço podem ser descobertas através de monitoramento de tráfego de rede e análise de padrões de ataque.

Pontuação: 7 (Vulnerabilidade encontrada no domínio público)

Classificação Geral:

Cálculo: (8 + 9 + 8 + 9 + 7) / 5 = **8.2**

Funcionário tenta aceder a funcionalidades administrativas sem permissão

Damage Potential:

Avaliação: Se um funcionário conseguir elevar seus privilégios, pode realizar ações administrativas não autorizadas, comprometendo a segurança e a integridade do sistema.

Pontuação: 8 (Comprometimento significativo da segurança do sistema)

Reproducibility:

Avaliação: A elevação de privilégios pode ser replicada se houver vulnerabilidades na gestão de permissões ou na aplicação.

Pontuação: 7 (Moderadamente fácil)

Exploitability:

Avaliação: A exploração pode ser realizada com ferramentas disponíveis e requer algum conhecimento técnico sobre a aplicação.

Pontuação: 7 (Requer ferramentas disponíveis e conhecimento técnico)

Affected Users:

Avaliação: Dependendo do sucesso do ataque, pode afetar um número limitado de funcionários, especialmente se as ações administrativas forem realizadas em nome de outros utilizadores.

Pontuação: 6 (Poucos utilizadores)

Discoverability:

Avaliação: Vulnerabilidades de elevação de privilégios podem ser descobertas através de auditorias de segurança e monitorização de atividades suspeitas.

Pontuação: 7 (Vulnerabilidade encontrada no domínio público)

Classificação Geral:

Cálculo: (8 + 7 + 7 + 6 + 7) / 5 = **7.0**