



CO2 Dashboard

Uma plataforma digital escalável de análise de indicadores de gases com efeito de estufa

Mestrado em Computação Móvel – Engenharia Informática

Gonçalo Simões Bastos, n.º 2220650

Leiria, setembro de 2024



CO2 Dashboard

Uma plataforma digital escalável de análise de indicadores de gases com efeito de estufa

Mestrado em Computação Móvel – Engenharia Informática

Gonçalo Simões Bastos, n.º 2220650

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação da Professora Doutora Sílvia Odete da Silva Ferrão e do Professor Doutor Ricardo Filipe Gonçalves Martinho

Leiria, setembro de 2024

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Computação Móvel, no ano letivo 2023/2024, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, pais, irmã e namorada, pela sua constante inspiração e apoio. Quero ainda dedicar este trabalho a todos os profissionais que de uma maneira ou outra contribuem para o combate contra as alterações climáticas, assim como àqueles que investigam os gases de efeito de estufa, bem como a todos os utilizadores que venham a utilizar e usufruir da plataforma criada.

Agradecimentos

Na realização do presente relatório de projeto, contei com o apoio direto ou indireto de múltiplas pessoas e instituições às quais estou profundamente grato. Contudo, correndo o risco de injustamente não mencionar algum dos contributos quero deixar expresso os meus agradecimentos.

Como tal, quero agradecer aos meus pais, irmã e à minha namorada, que me proporcionaram um suporte incondicional ao longo de todo o meu mestrado, tese e percurso académico no geral, agradecer-lhes pela motivação dada e pela perseverança para que nunca desistisse, sem eles teria sido impossível.

Agradeço também aos meus professores e orientadores, Sílvia Ferrão e Ricardo Martinho, por toda a disponibilidade prestada e pela motivação para a conclusão deste projeto e tese. Acredito vivamente que sem estes, o trabalho aqui presente, seria totalmente diferente.

Gostaria ainda de expressar o meu profundo agradecimento à NET4CO2 pela total abertura, facilidade e constante disponibilidade ao longo deste processo. Um agradecimento especial à Rita Martinho, que foi a minha principal ligação à NET4CO2 e que esteve sempre pronta a apoiar-me, demonstrando uma enorme dedicação e generosidade durante todo o processo.

Não poderia também de deixar de agradecer a todos os meus amigos, por toda a ajuda, motivação e companheirismo que sempre demonstraram e continuam a demonstrar.

Um agradecimento também, à empresa onde trabalho, a Digidelta – Software, que sempre me facilitou e ajudou a conciliar os horários para a realização do mestrado.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização da presente tese.

A todos o meu sincero e profundo **Muito Obrigado!**

Resumo

A importância de plataformas digitais eficientes para a monitorização de indicadores de *Greenhouse gases* (GHG) não pode ser subestimada no contexto atual, de gestão ambiental e esforços de sustentabilidade. Tais plataformas são fundamentais para a recolha e integração de dados precisos em tempo real, facilitando o cumprimento das normas regulamentares e permitindo uma tomada de decisão estratégica informada. No entanto, o desenvolvimento de uma plataforma digital eficaz para a monitorização de GHGs apresenta desafios significativos devido à complexidade de integrar diversas fontes de dados, assegurar a sua precisão e fiabilidade, bem como, fornecer interfaces intuitivas e acessíveis para os diferentes *stakeholders*.

Apesar da disponibilidade de várias fontes oficiais de dados sobre emissões de GHGs, não existe atualmente uma plataforma digital específica, que agregue e permita administrar de forma abrangente, estes dados. Os sistemas existentes, frequentemente, carecem da flexibilidade necessária para incorporar novos indicadores e adaptar-se a requisitos regulamentares em constante evolução. Este documento apresenta uma plataforma digital capaz de integrar dados de diversas fontes de forma eficiente e oferecer uma usabilidade robusta, de modo a melhorar a monitorização das emissões de GHGs. A plataforma desenvolvida (<https://www.net4co2.info/>) pode ser uma ferramenta valiosa para diversas partes interessadas, incluindo entidades reguladoras, líderes da indústria, organizações ambientais, e o público em geral, ajudando a enfrentar as complexidades dos dados ambientais e a promover esforços globais de sustentabilidade.

Palavras-chave: Visualização de dados, *Greenhouse gases*, *Dashboard* interativo, usabilidade.

Abstract

The importance of efficient digital platforms for monitoring greenhouse gas (GHG) indicators cannot be underestimated in the current context of environmental management and sustainability efforts. Such platforms are essential for the accurate and real-time collection and integration of data, facilitating regulatory compliance and enabling informed strategic decision-making. However, developing an effective digital platform for GHG monitoring presents significant challenges due to the complexity of integrating various data sources, ensuring their accuracy and reliability, as well as providing intuitive and accessible interfaces for different stakeholders.

Despite the availability of several official data sources on GHG emissions, there is currently no specific digital platform that comprehensively aggregates and allows for the management of this data. Existing systems often lack the flexibility necessary to incorporate new indicators and adapt to constantly evolving regulatory requirements. This document presents a digital platform capable of efficiently integrating data from various sources and offering robust usability to improve the monitoring of GHG emissions. The developed platform (<https://www.net4co2.info/>) can be a valuable tool for various stakeholders, including regulatory bodies, industry leaders, environmental organizations, and the general public, helping to address the complexities of environmental data and promote global sustainability efforts.

Keywords: Data Visualization, Greenhouse gas emissions, Interactive Dashboard, Usability.

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	i
Dedicatória	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	xi
Lista de listagens	xii
Lista de siglas e acrónimos	xiii
1. Introdução	1
2. Trabalhos relacionados	4
2.1. Trabalhos de investigação científica	4
2.2. Análise de mercado - Plataformas existentes	7
3. Metodologias	11
3.1. Metodologias de desenvolvimento	11
3.1.1. Prototipagem rápida e validação.....	13
3.1.2. Colaboração e feedback com a equipa parceira (NET4CO2).....	14
3.2. Ambientes de Desenvolvimento	14
3.2.1. Configuração de ambientes e integração contínua.....	14
3.2.2. Ferramentas de suporte e gestão do código.....	15
3.2.3. Implementação em produção e manutenção.....	16
4. Arquitetura de software	17
4.1. Requisitos	17
4.1.1. Requisitos funcionais.....	17
4.1.2. Requisitos não funcionais.....	19
4.2. Arquitetura	20
4.2.1. Modelo da arquitetura (c4model.com).....	20
4.2.2. Escolhas tecnológicas.....	23
4.2.3. Modelo de dados.....	24
5. Implementação	27

5.1. Indicadores para Portugal	27
5.1.1. Protótipo inicial.....	27
5.1.2. Estrutura e rotinas de importação da plataforma.....	29
5.1.3. Reestruturação da plataforma e autenticação.....	35
5.1.4. Correções e <i>deploy</i> para testes.....	38
5.1.5. Restantes rotinas de importação e mapa regional.....	39
5.1.6. Finalização dos indicadores para Portugal.....	42
5.2. Indicadores para o Mundo	45
5.3. Componente para testes automatizados e registos de interação	52
6. Verificação e validação	56
6.1. Testes de usabilidade e observação direta da 1 ^o versão.....	56
6.2. Testes de usabilidade e observação direta finais.....	62
7. Conclusões e trabalho futuro	69
Bibliografia	72
Anexos	75

Lista de figuras

Figura 1 - <i>Timeline Jira</i>	12
Figura 2 - <i>Jira board</i>	12
Figura 3 - Protótipos fornecidos.	13
Figura 4 - Repositórios de código.	15
Figura 5 - Modelo de arquitetura.	21
Figura 6 - Modelo de dados.	25
Figura 7 - Pequeno protótipo da plataforma.	28
Figura 8 - Criação de variáveis na <i>Dashboard</i>	29
Figura 9 - Página inicial 1º protótipo.	30
Figura 10 - Página individual indicador 1º protótipo.	31
Figura 11 - Janela de importação.	31
Figura 12 - Página inicial 1º protótipo pós reunião.	35
Figura 13 - Página de detalhes com diversos indicadores.	36
Figura 14 - Exemplo de gráficos página inicial.	37
Figura 15 - Componentes de autenticação.	37
Figura 16 - Barra lateral esquerda fixa e dois painéis por linha.	38
Figura 17 - Tabelas para o painel setorial.	40
Figura 18 - Tabelas para o painel regional.	40
Figura 19 - Painel das regiões.	41
Figura 20 - Novas janelas de importação.	42
Figura 21 - Agregação de painéis por setores.	44
Figura 22 - Novos filtros adicionados e fontes.	44
Figura 23 - Painel das regiões com alterações.	45
Figura 24 - Tipos de visualização indicadores do Mundo.	46
Figura 25 - Opção de <i>snapshot</i> de gráficos.	50
Figura 26 - Componente de testes automatizados.	52
Figura 27 - Tabelas de testes e registo de interações.	53

Figura 28 - Componente de testes durante o uso.....	53
Figura 29 - Responsividade da plataforma.....	55
Figura 30 - Tempo utilizado por tarefa.....	58
Figura 31 - Total de <i>clicks</i> errados por tarefa.....	59
Figura 32 - Utilizador seguiu o caminho esperado nos 1º testes.....	60
Figura 33 - Diagrama de frequência tarefa 3.....	64
Figura 34 - Diagrama de desempenho tarefa 3.....	65
Figura 35 - Diagrama de frequência tarefa 4.....	66
Figura 36 - Diagrama de desempenho tarefa 4.....	67
Figura 37 - Página inicial da plataforma, após a finalização da 1º versão.....	75
Figura 38 - Página de Portugal após finalização da 1º versão – primeiros indicadores.....	76
Figura 39 - Página de Portugal após finalização da 1º versão – segundos indicadores.....	76
Figura 40 - Página de Portugal após finalização da 1º versão – terceiros indicadores.....	77
Figura 41 - Página de Portugal com possibilidade após finalização da 1º versão.....	77
Figura 42 - Página inicial da plataforma - versão final.....	80
Figura 43 - Página de detalhes para Portugal - <i>Evolution of total GHGs emissions</i>	81
Figura 44 - Página de detalhes para Portugal - <i>Carbon intensity</i>	81
Figura 45 - Página de detalhes para Portugal - <i>Sectorial analysis</i>	82
Figura 46 - Página de detalhes para Portugal - <i>Fuel line analysis</i>	82
Figura 47 - Página de detalhes para Portugal - <i>Regional analysis</i>	83
Figura 48 - Página de detalhes para o Mundo - <i>Evolution of total GHGs emissions</i>	83
Figura 49 - Página de detalhes para o Mundo - <i>Evolution of Global Warming Potential</i>	84
Figura 50 - Página de detalhes para o Mundo - <i>Sectorial analysis</i>	84
Figura 51 - Página de detalhes para o Mundo - <i>Fuel line analysis</i>	85
Figura 52 - Página de detalhes para o Mundo - <i>Regional analysis</i>	85
Figura 53 - Diagrama de frequência tarefa 1.....	86
Figura 54 - Diagrama de desempenho tarefa 1.....	87
Figura 55 - Diagrama de frequência tarefa 2.....	88
Figura 56 - Diagrama de desempenho tarefa 2.....	89
Figura 57 - Diagrama de frequência tarefa 5.....	90

Figura 58 - Diagrama de desempenho tarefa 5.....	91
Figura 59 - Diagrama de frequência tarefa 6.....	92
Figura 60 - Diagrama de desempenho tarefa 6.....	93
Figura 61 - Diagrama de frequência tarefa 7.....	94
Figura 62 - Diagrama de desempenho tarefa 7.....	95
Figura 63 - Diagrama de frequência tarefa 8.....	96
Figura 64 - Diagrama de desempenho tarefa 8.....	97
Figura 65 - Diagrama de frequência tarefa 9.....	98
Figura 66 - Diagrama de desempenho tarefa 9.....	99
Figura 67 - Diagrama de frequência tarefa 10.....	100
Figura 68 - Diagrama de desempenho tarefa 10.....	101
Figura 69 - Diagrama de frequência tarefa 11.....	102
Figura 70 - Diagrama de desempenho tarefa 11.....	103

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparação de tecnologias para criação de <i>dashboards</i>	23
Tabela 2 - Comentários sobre a organização da página.....	43
Tabela 3 - Registo de iterações dos utilizadores.....	54
Tabela 4 - Características dos utilizadores para os testes da 1º versão	56
Tabela 5 - Tarefas a realizar por utilizador para os testes da 1º versão.....	57
Tabela 6 - Comentários PSSUQ 1º versão	61
Tabela 7 - Características dos utilizadores para os testes da versão final.....	62
Tabela 8 - Tarefas a realizar por utilizador para os testes da versão final.	63
Tabela 9 - Pontos a melhorar, PSSUQ testes finais	68
Tabela 10 - Resultados testes de observação direta 1º versão	77

Lista de listagens

Listagem 1 - Exemplo <i>query</i> MySQL utilizada no painel.....	29
Listagem 2 - Exemplo de URL com variáveis	29
Listagem 3 - Rotina de importação - recepção dos dados.	32
Listagem 4 - Rotina de importação - funções para obter dados.	33
Listagem 5 - Rotina de importação - funções auxiliares.	34
Listagem 6 - Comandos Laravel Scheduling.	47
Listagem 7 - Classe de execução comando Laravel Scheduling	48
Listagem 8 - <i>Logs</i> chamadas API NASA.	48
Listagem 9 - Exemplo de rotina de importação NASA.....	49
Listagem 10 - Rotina de exportação de <i>snapshots</i>	51

Lista de siglas e acrónimos

API	Application Programming Interface
GHG	Greenhouse gas
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IA	Inteligência Artificial
KPIs	Key performance indicators
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OWID	Our World in Data
PNG	Portable Network Graphics
PSSUQ	Post-Study System Usability Questionnaire
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
SVG	Scalable Vector Graphics

1. Introdução

A crescente preocupação com as alterações climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de *greenhouse gases* (GHG) têm incentivado o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas que apoiem a monitorização, análise e tomada de decisão em matéria de descarbonização. No contexto de Portugal, a necessidade de integrar e consolidar dados dispersos sobre emissões de GHGs torna-se ainda mais premente, dadas as metas nacionais e internacionais de redução de emissões estabelecidas nos acordos climáticos, como o Acordo de Paris [1]. Dessa forma, a criação de plataformas digitais que possibilitem uma análise aprofundada e acessível destes dados, agregando múltiplas fontes de informação, é essencial para apoiar tanto investigadores como decisores políticos na formulação de estratégias eficazes [2].

Tendo em conta que a plataforma desenvolvida se encontra em inglês, alguns dos termos usados serão também eles apresentados em inglês. Como tal, a sigla GHG em português é gases de efeito de estufa (GEE), no entanto para simplificar e compreender melhor as imagens, será utilizado ao longo do trabalho a designação GHG.

Nos últimos anos, os níveis de emissões de GHGs na atmosfera tornaram-se um indicador crítico para medir o aquecimento global e as mudanças climáticas, criando a necessidade de monitorá-los e analisá-los de forma eficiente. A monitorização eficiente dos GHGs é crucial devido à crescente gravidade do aquecimento global, que tem levado a eventos climáticos extremos, aumento do nível do mar e impactos significativos na biodiversidade e na saúde humana. Considerando o amplo e disperso acesso público a dados relevantes de emissões de GHGs, a existência de plataformas digitais que combinam indicadores selecionados para permitir uma análise mais facilitada e detalhada, proporcionando uma compreensão mais abrangente dos problemas emergentes, torna-se essencial [3].

Para lidar com estes desafios, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma que agregue dados sobre emissões de GHGs, oferecendo uma solução centralizada e acessível. Esta plataforma deverá facilitar o acesso a dados relevantes, que atualmente se encontram dispersos em várias fontes, e fornecer uma ferramenta intuitiva para uma vasta gama de utilizadores, desde investigadores a decisores políticos. O principal foco será fornecer funcionalidades que permitam filtrar e personalizar a análise dos dados de emissões,

oferecendo uma interface flexível e interativa que apoie a interpretação de grandes volumes de informação.

Além disso, a integração de múltiplas fontes de dados será um dos principais requisitos da plataforma, garantindo a sua escalabilidade e capacidade de expansão futura. A plataforma deverá também permitir a visualização de dados de maneira intuitiva e dinâmica, com opções que ofereçam diferentes perspectivas para que os utilizadores possam explorar os dados de acordo com as suas necessidades específicas. Esta funcionalidade será vital para garantir uma compreensão clara dos padrões e tendências de emissões.

Além das funcionalidades essenciais mencionadas, a plataforma deverá suportar a integração contínua de novas fontes de dados, garantindo a sua escalabilidade e adaptabilidade ao longo do tempo. A incorporação de *Application Programming Interface* (APIs) externas permitirá que o processo de atualização de dados seja automatizado, assegurando que a informação mais recente esteja sempre disponível aos utilizadores sem a necessidade de atualizações manuais frequentes. Esta característica torna-se particularmente relevante num contexto onde a quantidade e a diversidade de dados sobre emissões de GHGs estão em constante crescimento. A modularidade da plataforma também será uma prioridade, facilitando a adição de novas funcionalidades ou componentes sem comprometer a estabilidade ou o desempenho geral do sistema. Esta abordagem garante que a solução desenvolvida não só atenda às necessidades atuais, mas poderá também evoluir de acordo com as futuras exigências e requisitos identificados.

Outro aspeto fundamental para o sucesso da plataforma, será a realização de testes de usabilidade e de observação, que visam avaliar a experiência do utilizador e otimizar a navegação e o *design* da interface. Estes testes são essenciais para garantir que a plataforma seja acessível a utilizadores com diferentes níveis de conhecimento técnico e para identificar possíveis melhorias antes do lançamento da plataforma.

Este trabalho foi realizado no âmbito da Unidade Curricular de Projeto, na modalidade de projeto, em cooperação com o CoLab NET4CO2 [4]. Esta colaboração ofereceu a oportunidade de desenvolver uma solução adaptada às necessidades reais do setor e garantir

que o projeto se alinha com os esforços em curso para promover a descarbonização em Portugal.

Os principais objetivos deste projeto foram o desenvolvimento de uma solução centralizada para a monitorização das emissões de GHGs, proporcionando uma ferramenta flexível, escalável e de fácil utilização. A plataforma deverá oferecer uma integração eficiente de múltiplas fontes de dados, visualizações dinâmicas e interativas, e uma interface que permita aos utilizadores personalizar a visualização dos dados em função das suas necessidades. Estes objetivos serviram de base para a conceção da plataforma, garantindo que a solução desenvolvida oferece valor a todos os seus utilizadores, desde investigadores a decisores políticos.

No que toca à estrutura deste documento, de seguida, no Capítulo 2 apresenta-se a revisão da literatura, abordando trabalhos relacionados e plataformas existentes, na área da monitorização de emissões de GHGs. O Capítulo 3 detalha as metodologias a serem adotadas para o desenvolvimento da plataforma, explicando as abordagens que devem ser implementadas para garantir uma solução escalável, flexível e de fácil utilização. O Capítulo 4 explora a arquitetura de software, incluindo os requisitos, escolha das tecnologias e o modelo de dados. O Capítulo 5, foca-se na implementação da plataforma e na descrição das principais funcionalidades. Por sua vez, o Capítulo 6, diz respeito à verificação e validação do sistema, com os resultados dos testes de usabilidade e observação, bem como a validação funcional. Finalmente, no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões, destacando os resultados alcançados, e as perspetivas para o futuro desenvolvimento da plataforma.

2. Trabalhos relacionados

Neste capítulo, apresenta-se uma contextualização, apresentando-se alguns trabalhos relacionados organizados em duas grandes secções: (1) os trabalhos de investigação científica, que exploram metodologias, e as tecnologias emergentes para a monitorização de gases de efeito de estufa, e (2) a secção para análise de mercado, que avalia plataformas digitais existentes dedicadas à gestão e visualização de dados sobre emissões.

Estas secções fornecem uma visão abrangente das soluções disponíveis, destacando os desafios e as lacunas existentes. Este levantamento permite fundamentar o desenvolvimento de uma nova plataforma, focada na flexibilidade, escalabilidade e usabilidade, com o objetivo de integrar múltiplas fontes de dados e simplificar o acesso às informações relevantes para o processo de descarbonização.

2.1. Trabalhos de investigação científica

Nos últimos anos, a monitorização e análise dos gases de efeito estufa têm ganho uma grande importância devido ao impacto significativo que estes exercem sobre as alterações climáticas. Neste contexto, a investigação científica tem sido fundamental para progredir no que toca ao conhecimento sobre as fontes, os processos e os efeitos dos GHGs. Diversos estudos e projetos têm contribuído para o desenvolvimento de tecnologias e metodologias inovadoras que permitem uma monitorização mais precisa e eficiente dos indicadores de vários tipos de gases.

Como é visível em [5] os autores analisam as emissões de CO₂ nas cidades que pertencem à rede C40, comparando inventários urbanos com dados globais distribuídos. O estudo destaca diferenças significativas nas emissões reportadas e estimadas, sublinhando a necessidade de metodologias padronizadas para uma monitorização precisa e eficaz das emissões urbanas de GHGs, essenciais para apoiar políticas climáticas globais. Os autores sugerem uma abordagem integrada para alinhar os inventários de GHGs das cidades com os dados globais, destacando grandes variações regionais e a importância de usar fatores de emissão específicos de cada local para tornar os dados mais precisos.

Já no trabalho [6], os autores analisam a medição de CO₂ atmosférico para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono nas cidades, focando-se na iniciativa

Origins.earth, que vai de Paris até Itália. O estudo explora metodologias avançadas de medição e monitorização de CO₂, destacando a importância de dados precisos para apoiar políticas e ações climáticas urbanas eficazes. Estes propõem ainda uma solução digital avançada que combina estações de monitorização de CO₂ inovadoras e *big data* para fornecer dados de emissões de alta qualidade em menos de um mês. Esta abordagem, inicialmente implementada em Paris e agora expandida para Itália, visa apoiar decisões políticas e acelerar as transições urbanas para baixo carbono, fornecendo dados climáticos precisos e oportunos.

Por sua vez, no trabalho [7], os autores introduzem um sistema abrangente projetado para monitorizar e gerir as emissões de GHGs em explorações agrícolas mistas. Esta plataforma, tem como objetivo, melhorar a sustentabilidade ao integrar várias fontes de dados e ao fornecer informações úteis, para que os agricultores possam reduzir o seu impacto ambiental. O sistema proposto oferece uma solução completa para a gestão de emissões, combinando dados de diferentes fontes para proporcionar uma visão detalhada das operações agrícolas e apoiar a tomada de decisões que promovam práticas agrícolas mais sustentáveis e amigas do ambiente.

Como é visível no trabalho [8], os autores definem uma estratégia para ajudar os governos a reduzir as emissões de GHGs através de quatro pontos principais: aumentar a captação de carbono, melhorar a eficiência das emissões agrícolas, incentivar mudanças alimentares e utilizar bioenergia. Este quadro de desenvolvimento visa equilibrar objetivos ambientais com o desenvolvimento sustentável, garantindo a segurança alimentar, a preservação da biodiversidade, a redução da pobreza e a criação de empregos.

Como é visível na tese [9], que se foca na criação de uma aplicação web que integra diversas fontes de dados de sustentabilidade para ajudar os utilizadores a visualizar os cálculos de emissões de CO₂. O estudo, parte do projeto WISER, aborda os principais desafios, quer seja nos cálculos, bem como na rastreabilidade das emissões de gases de efeito estufa, permitindo melhorar a transparência e a fiabilidade ao interligar diferentes formatos e fontes de dados. A implementação e os resultados são demonstrados, com discussão sobre melhorias futuras.

Já no trabalho [10], o autor foca-se na análise da eficiência energética dos edifícios em Nova Iorque através da perspetiva da justiça ambiental. O estudo utiliza métodos estatísticos,

análise de regressão e Análise de Decisão Multicritério (MCDA) para avaliar a eficiência energética e desenvolver um índice de Justiça na Eficiência Energética dos Edifícios (BEEJ). O principal resultado é um *dashboard* interativo que permite a visualização destes dados, combinando informações espaciais e estatísticas para auxiliar na tomada de decisão pelos diversos *stakeholders*. O *dashboard*, construído com tecnologias como HTML, CSS, JavaScript, Python, PostgreSQL e Tableau, permite que os utilizadores explorem os *scores* de eficiência energética e sua interseção com indicadores de justiça ambiental.

Em [11], os autores descrevem uma plataforma que utiliza dados de sensores e dispositivos *IoT* para auxiliar os agricultores na otimização do uso de recursos, redução de custos e minimização dos impactos ambientais. A plataforma integra tecnologias avançadas como Inteligência Artificial (IA) e análise de *big data* para melhorar a gestão agrícola e promover práticas agrícolas sustentáveis. Este trabalho foca-se no *design* e desenvolvimento de ferramentas e de um *dashboard* para o *Climate Policy Center*, proporcionando uma interface interativa que permite aos agricultores monitorizar e gerir suas operações de forma eficiente e sustentável.

No estudo [12], é introduzido um sistema baseado em *blockchain* para rastrear as emissões dos GHGs, com foco nas divulgações relacionadas com o clima. A solução proposta, denominada *Gets*, visa melhorar a transparência e a rastreabilidade dos dados de emissões de GHGs através da tecnologia *blockchain*. O sistema permite que empresas e organizações registem as suas emissões de forma segura e imutável, facilitando o cumprimento das normas de divulgação climática e apoiando ações regulamentares. O *Gets* aborda os desafios de confiança e integridade dos dados, assegurando que as informações sobre emissões sejam precisas e verificáveis. Esta abordagem pode ser particularmente útil para apoiar políticas climáticas e práticas de sustentabilidade em diversos sectores.

Por sua vez o trabalho [13], apresenta uma ferramenta interativa, um *dashboard* 4D para visualização e avaliação das emissões de carbono de edifícios urbanos. Esta oferece uma forma avançada de monitorizar e avaliar o impacto ambiental dos edifícios ao longo do tempo, integrando dados de emissões com elementos espaciais e temporais (4D). A ferramenta permite a visualização dinâmica das emissões de carbono, facilitando uma análise detalhada dos impactos ambientais a nível urbano. Utilizando técnicas avançadas de visualização, a plataforma apoia gestores urbanos, engenheiros e decisores políticos na tomada de decisões mais informadas sobre como mitigar o impacto ambiental de

infraestruturas urbanas, promovendo práticas de construção sustentáveis e uma transição eficiente para uma economia de baixo carbono.

2.2. Análise de mercado - Plataformas existentes

Atualmente, diversas plataformas oferecem indicadores sobre a evolução do clima, desempenhando um papel crucial tanto na análise de dados quanto no combate às mudanças climáticas. Essas plataformas permitem o acesso a dados históricos, facilitando a consulta e o acompanhamento das tendências até os dias de hoje.

O principal foco da *United Nations Climate Change* (UNCC) [14] é facultar o acesso de uma forma abrangente e transparente, ao inventário de GHGs reportado pelos diferentes países da união europeia, através do tratado *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Estes dados são extremamente importantes para perceber as diferentes fontes de emissões que existem, assim como os indicadores por país, apoiando no combate às alterações climáticas. Esta permite aos utilizadores selecionarem a *party* que pretendem visualizar e é referido *party* pois não são tratados apenas países, sendo que podemos visualizar dados a nível mundial ou europeu, por exemplo. Existe ainda a possibilidade de filtrar dados pela categoria de informação que se pretende, fazendo a seleção pelos tipos de gases (ex. CO₂, CH₄, N₂O), e também pela sua unidade de medida. Desta forma, é possível ter uma elevada personalização nas pesquisas, visualização e análise das diferentes emissões de GHG. A visualização dos dados pode ser feita apenas através de tabelas ou gráficos, sendo que existem apenas gráficos de barras e gráficos circulares, no entanto, alguns tipos de dados apenas têm a visualização em modo de tabela.

O *Our World in Data* (OWID) [15], não se trata apenas de uma plataforma ao nível das emissões gases como também possui uma imensidão de dados que visam outros setores (ex. Saúde, Direitos Humanos, Guerras). O objetivo da OWID é democratizar e facilitar o acesso à informação, permitindo que meros utilizadores ou investigadores tomem decisões informadas, com base em evidências sólidas. A plataforma destaca-se pela sua interface intuitiva e pelas inúmeras ferramentas de visualização de dados. Os utilizadores podem navegar através das mais diversas categorias, interagir com inúmeros gráficos e aceder a casos de estudo dos mais variados problemas da atualidade. Cada *dataset* é acompanhado normalmente por uma explicação, que acaba por oferecer ao utilizador um contexto histórico e temporal dos dados. Para além disto, e de à partida parecer um repositório de dados, a

OWID é também uma plataforma educacional, que permite a criação dos próprios gráficos e até mesmo contribuir para o crescimento do repositório.

A plataforma *Eurostat* [16], destaca-se pela sua interface intuitiva e pelas inúmeras ferramentas de visualização de dados. Os utilizadores podem navegar através de várias categorias, interagir com diferentes tipos de gráficos e aceder a casos de estudos sobre os mais diversos problemas da atualidade. Cada conjunto de dados é geralmente acompanhado por uma explicação, que oferece ao utilizador um contexto histórico e temporal dos dados. Para além de funcionar como um repositório de dados, a plataforma *Eurostat* é também uma plataforma educativa que permite a criação de gráficos personalizados e a contribuição para o crescimento do repositório. Esta plataforma, disponibiliza ainda estatísticas detalhadas sobre várias áreas políticas da União Europeia, incluindo dados ambientais e métricas de emissões de GHGs.

O principal objetivo do website *National Aeronautics and Space Administration (NASA) Climate Change* [17], é fornecer o acesso abrangente e atualizado a dados, pesquisas e notícias sobre as alterações climáticas. A plataforma distingue-se pela sua interface intuitiva e pelas várias ferramentas interativas que permitem aos utilizadores explorar gráficos dinâmicos e recursos educativos. Estes recursos ajudam a compreender os impactos das mudanças climáticas no planeta. Além de funcionar como um repositório de dados, a plataforma fornece atualizações constantes sobre as pesquisas mais recentes e notícias relacionadas às mudanças climáticas, promovendo uma melhor compreensão e tomada de decisão informada, permitindo ainda a consulta dos dados através de uma API.

A plataforma *Climate Watch* [18], oferece dados acessíveis sobre emissões globais de gases com efeito de estufa, políticas climáticas e o progresso dos países em direção aos seus objetivos climáticos. Através destas informações, a plataforma auxilia no planeamento de ações climáticas. Com uma interface intuitiva, permite aos utilizadores visualizar dados de várias fontes e fazer comparações entre diferentes países e setores. Esta ferramenta é essencial para investigadores, formuladores de políticas e outros interessados no acompanhamento e análise das mudanças climáticas e na implementação de medidas eficazes.

A *Climate Data* do Fundo Monetário Internacional (IMF) [19] é uma *dashboard* que fornece dados económicos e financeiros relacionados com as mudanças climáticas, ajudando a analisar o impacto das políticas climáticas no desempenho económico. Os utilizadores

podem aceder a dados detalhados e gráficos interativos que facilitam a compreensão dos efeitos económicos das ações climáticas.

A plataforma *Carbon Monitor* [20] oferece estimativas quase em tempo real das emissões de CO2 a nível global, nacional e setorial, proporcionando *insights* sobre as tendências de emissão e os impactos das políticas. Esta ferramenta permite acompanhar as variações nas emissões de carbono com alta frequência, facilitando a avaliação rápida de medidas políticas e eventos globais. Os dados atualizados são essenciais para investigadores e membros políticos que precisam de informações rigorosas e atuais para formular estratégias eficazes de redução de emissões.

O *World Resources Institute (WRI)* [21] é uma organização global de pesquisa que se foca na gestão sustentável dos recursos naturais, mudanças climáticas, energia e desenvolvimento urbano. O WRI fornece soluções baseadas em dados e recomendações políticas para promover a sustentabilidade ambiental e oportunidades económicas em todo o mundo. A plataforma oferece uma ampla gama de recursos, incluindo relatórios de pesquisa, ferramentas interativas e dados que suportam a tomada de decisão informada e a implementação de políticas sustentáveis.

Apesar de todas as iniciativas mencionadas acima, e tanto quanto sabemos, nenhuma destas plataformas digitais e trabalhos científicos aborda os desafios de flexibilidade, escalabilidade e usabilidade, principalmente devido ao crescente número de fontes de dados e *Key performance indicators (KPIs)* baseados em emissões de GHGs correlacionados. Além disso, a combinação destas fontes de dados dispersas cria desafios quanto à sua integração numa única plataforma, à configuração de propriedades adequadas de visualização de dados e à usabilidade da plataforma, considerando a quantidade de hierarquias de dados e opções de filtragem necessárias. A plataforma desenvolvida dedica especial atenção a estes desafios, propondo uma arquitetura de software adequada e testes de usabilidade apropriados, suportando análises de dados detalhadas e dinâmicas em várias áreas. Para além disso, oferece um sistema de visualização interativo e extremamente adaptativo, permitindo que os utilizadores personalizem a forma como os dados são apresentados e filtrados, de acordo com suas necessidades específicas. Esta flexibilidade na configuração dos dados é essencial para permitir uma análise mais profunda e contextualizada, seja para investigadores que necessitam de precisão e granularidade ou para decisores políticos que exigem uma visão mais macro e estratégica. Com foco em integrar eficientemente múltiplas fontes de dados, a

plataforma facilita a comparação, correlação e exploração dos indicadores de GHGs, proporcionando uma ferramenta poderosa para apoiar decisões mais informadas e fundamentadas na luta contra as alterações climáticas.

3. Metodologias

Este capítulo descreve as metodologias aplicadas durante o desenvolvimento da plataforma, com um foco na integração da *framework Scrum* [22], [23], técnicas de prototipagem rápida e a estruturação de ambientes de desenvolvimento. Estas abordagens foram escolhidas para garantir uma implementação eficiente e adaptável às necessidades do projeto, promovendo a colaboração entre as equipas e facilitando a integração contínua de *feedback* ao longo do ciclo de desenvolvimento.

3.1. Metodologias de desenvolvimento

O processo de desenvolvimento da plataforma baseou-se numa combinação entre o *Scrum*, uma metodologia ágil amplamente utilizada, e a prototipagem rápida, que permitiu uma iteração constante com base no *feedback* dos utilizadores e orientadores.

Visto que o *Scrum*, é uma metodologia ágil, acaba por dividir o processo de desenvolvimento em ciclos curtos de duas a três semanas, chamados *sprints*. Em cada *sprint*, a equipa tinha objetivos bem definidos e discutia semanalmente o progresso nas reuniões de acompanhamento, que contavam com os professores orientadores. Para além disso, eram ainda realizadas reuniões quinzenais com a equipa parceira (NET4CO2). Estas reuniões permitiram uma comunicação eficaz entre os membros da equipa, garantindo que qualquer bloqueio ou desafio fosse rapidamente identificado e resolvido.

Durante as reuniões de planeamento, realizadas no início de cada *sprint*, a equipa discutia as funcionalidades prioritárias, baseadas num *backlog*, presente na Figura 1, previamente organizado no *Jira*. Cada funcionalidade era dividida em *user stories* e tarefas mais pequenas, permitindo que todos os membros da equipa soubessem exatamente o que deveria ser feito em cada *sprint*. O uso de *user stories* facilitou a criação de objetivos tangíveis, assegurando que cada funcionalidade era desenvolvida para responder diretamente às necessidades do utilizador final.

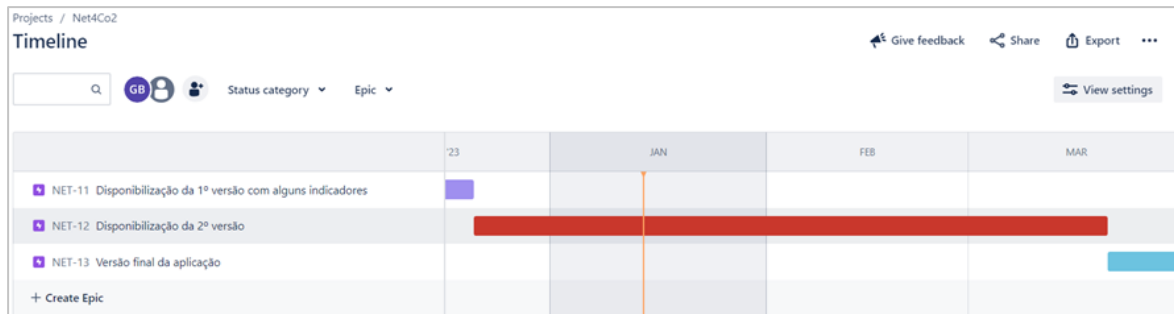


Figura 1 - Timeline Jira.

A aplicação de *Scrum* foi particularmente vantajosa para este projeto, uma vez que permitiu uma flexibilidade considerável em relação a alterações e ajustes de requisitos ao longo do tempo, bem como no cumprimento dos prazos de entrega. À medida que novos dados eram disponibilizados pela equipa parceira (NET4CO2), ou novas exigências surgiam, o *backlog* era ajustado e os *sprints* eram adaptados, mantendo sempre o projeto alinhado com os objetivos do cliente. Foram ainda utilizados os painéis de *Kanban* e *Scrum* do Jira presente na Figura 2 para visualizar o progresso das tarefas, identificar possíveis problemas e garantir a transparência em todas as etapas do processo de desenvolvimento.

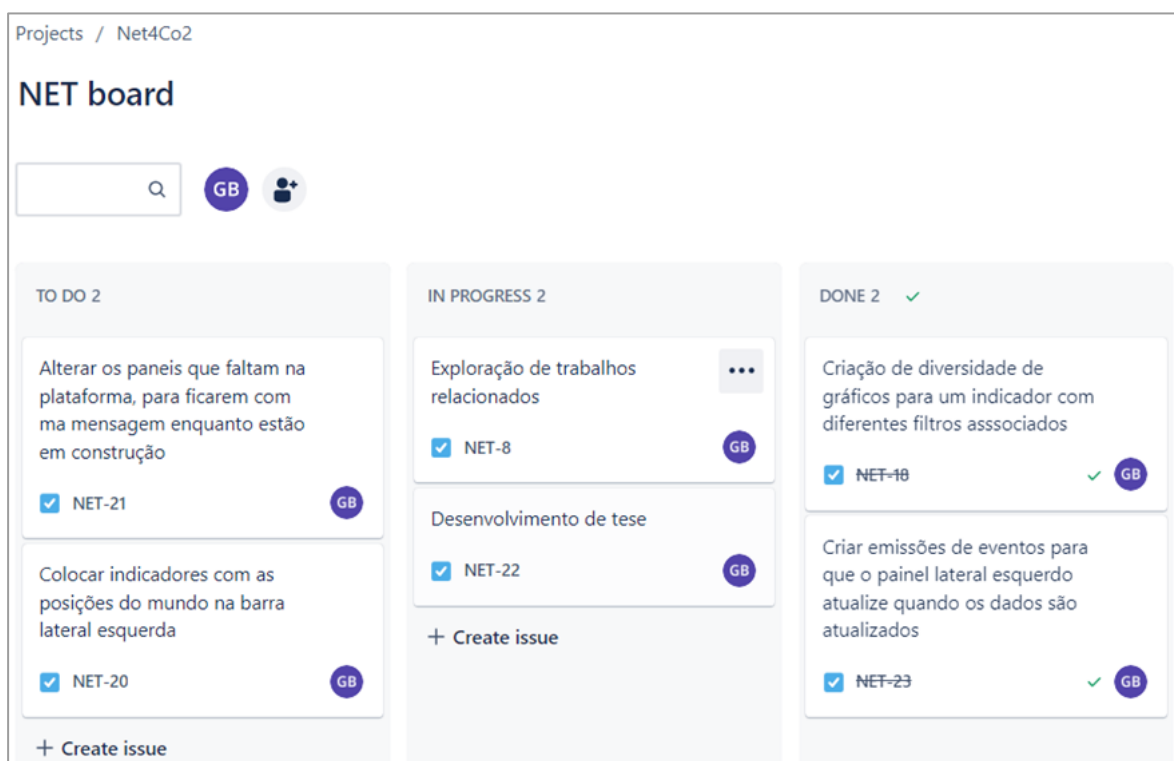


Figura 2 - Jira board.

3.1.1. Prototipagem rápida e validação

Paralelamente ao *Scrum*, a equipa utilizou a prototipagem rápida, visível na Figura 3, como uma forma de testar novas funcionalidades com a equipa parceira, de forma contínua. Logo no início do projeto, foram criados protótipos funcionais da interface do utilizador, permitindo assim que o desenvolvimento da plataforma, progredisse de forma fluida sem a necessidade de aguardar por respostas ou decisões de interface, visto que existia um protótipo para ser seguido. Isto revelou-se essencial para ajustar o *design* da interface e assegurar que a usabilidade estava de acordo com as expectativas e necessidades dos utilizadores finais.

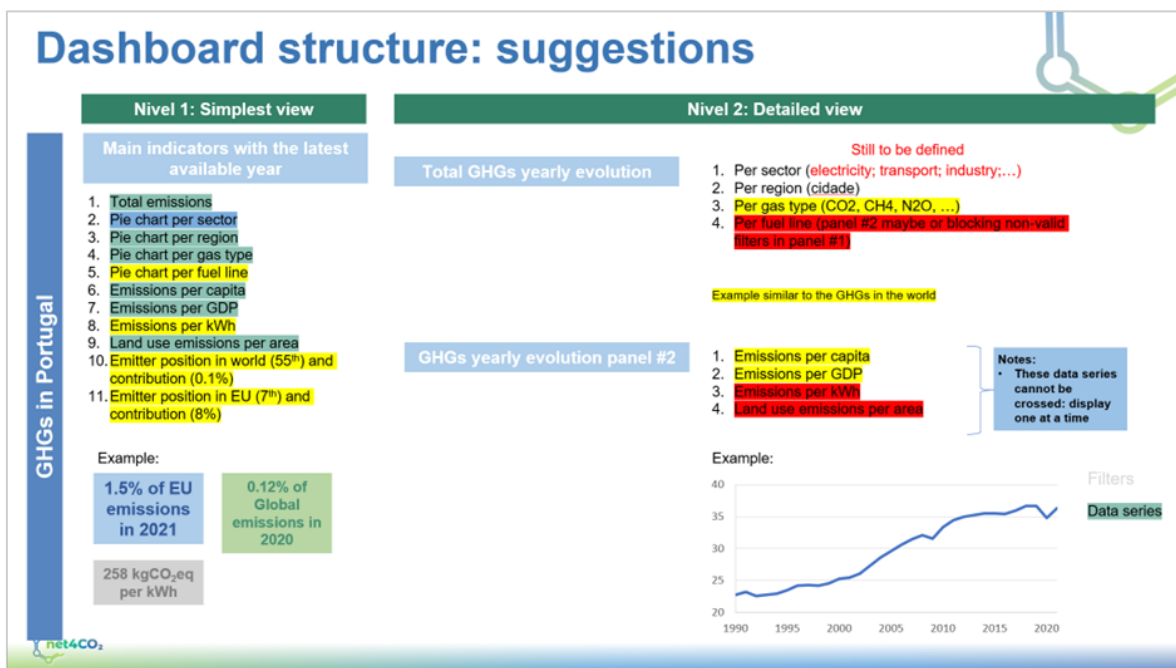


Figura 3 - Protótipos fornecidos.

A prototipagem rápida também facilitou a implementação de correções e ajustes nas funcionalidades à medida que o projeto progredia. Por exemplo, ao receber *feedback* sobre a complexidade da interface em alguns painéis, a equipa foi capaz de ajustar rapidamente os gráficos e as opções de filtragem, otimizando a experiência do utilizador sem comprometer prazos.

Esses protótipos também permitiram a realização de testes de usabilidade em fases mais iniciais, envolvendo tanto membros da equipa de desenvolvimento quanto utilizadores da empresa parceira.

O uso de protótipos não só ajudou a validar as funcionalidades antes de serem implementadas completamente, mas também garantiu que o *feedback* dos utilizadores fosse incorporado no ciclo de desenvolvimento desde o início, evitando trabalho posterior.

3.1.2. Colaboração e feedback com a equipa parceira (NET4CO2)

O envolvimento da equipa parceira foi um fator essencial para o sucesso do projeto. Além das reuniões quinzenais já mencionadas, a equipa parceira desempenhou um papel ativo na definição dos KPIs e na escolha das fontes de dados a serem integradas na plataforma. Esta colaboração contínua garantiu que as funcionalidades desenvolvidas estivessem sempre alinhadas com os objetivos reais da empresa.

A validação das funcionalidades, feita em conjunto com a equipa parceira, foi também um processo iterativo. A cada *sprint*, novas funcionalidades eram entregues e validadas com base em critérios de aceitação, garantindo que cada elemento da plataforma correspondia às expectativas e necessidades operacionais. Este processo de validação contínua foi fundamental para assegurar que o produto final estivesse pronto para ser utilizado logo após a sua implementação.

Numa primeira fase os testes de usabilidade da plataforma foram realizados manualmente, com inquéritos e com registos manuais das interações de cada utilizador realiza. Numa fase posterior, foi desenvolvida uma funcionalidade na plataforma que permite o registo automático das interações dos utilizadores, sem a necessidade de alguém estar presente aquando da realização dos testes, bastando pedir a um utilizador que use a plataforma e siga o *wizard* disponibilizado para os testes.

3.2. Ambientes de Desenvolvimento

Para garantir a consistência no desenvolvimento e minimizar o risco de erros, o projeto utilizou uma infraestrutura sólida de ambientes de desenvolvimento e de integração contínua.

3.2.1. Configuração de ambientes e integração contínua

Os ambientes de desenvolvimento foram estruturados com base em três principais níveis: desenvolvimento local, integração contínua e produção.

O ambiente local foi configurado para que fosse possível trabalhar de forma independente, com acesso às mesmas bibliotecas e dependências que seriam depois usados para produção. O uso de *Docker Compose* facilitou o processo de configuração de múltiplos serviços (como bases de dados e APIs externas) num único ambiente, proporcionando um ambiente de trabalho coeso.

Já o *Bitbucket Pipelines* foi utilizado para garantir uma integração contínua eficiente. Este processo de integração contínua foi essencial para manter a qualidade do código ao longo de todo o projeto. O facto de as alterações serem testadas e validadas antes de serem integradas no *branch* principal, minimizou a ocorrência de erros e garantiu que o trabalho pudesse avançar rapidamente, sem comprometer a estabilidade da plataforma.

3.2.2. Ferramentas de suporte e gestão do código

Para a gestão do código-fonte, a plataforma *Bitbucket*, presente na Figura 4, foi a escolhida, não só pela sua integração com os *pipelines* de integração contínua, mas também pela facilidade de gerir múltiplos *branches* de desenvolvimento. A equipa de desenvolvimento utilizou um modelo de *Gitflow*, onde cada nova funcionalidade era desenvolvida numa *branch* separada, e apenas após ser completamente testada e validada, era integrada no *branch* principal.

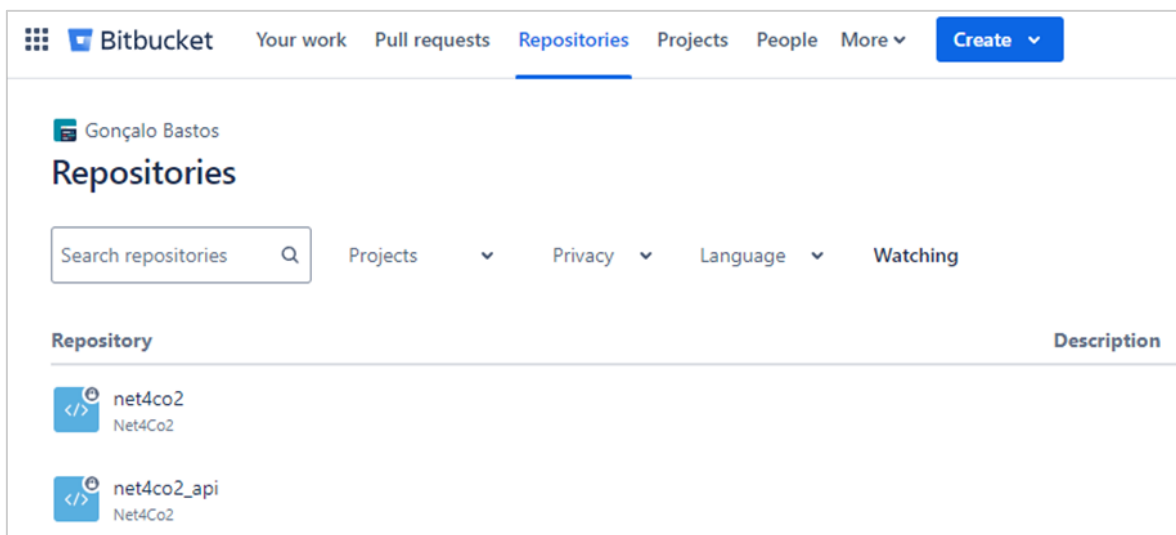


Figura 4 - Repositórios de código.

A utilização do *Jira* foi crucial para a gestão do projeto e acompanhamento das tarefas. Cada funcionalidade ou melhoria era organizada como uma *issue* no *Jira*, o que permitiu à equipa visualizar claramente o progresso de cada *sprint*, identificar potenciais bloqueios e priorizar

tarefas críticas. A integração entre o *Jira* e o *Bitbucket* facilitou o acompanhamento do desenvolvimento, associando *commits* específicos a determinadas tarefas, e fornecendo uma visão clara do estado de cada funcionalidade ao longo do sprint.

3.2.3. Implementação em produção e manutenção

A transição para o ambiente de produção foi feita de forma cuidadosa, com várias etapas de validação antes do *deploy* final. Uma vez que a plataforma lidava com uma grande quantidade de dados e diversas fontes, foi necessário garantir que o ambiente de produção suportava o aumento de carga e a integração de novos dados de forma eficiente.

Para mitigar o risco de falhas, foram implementados *backups* regulares dos dados e configurações da plataforma, assegurando que qualquer falha técnica pudesse ser rapidamente resolvida sem perda de informações.

4. Arquitetura de software

O levantamento de requisitos é crucial para que a arquitetura da plataforma cumpra com as necessidades de escalabilidade, flexibilidade e usabilidade. Utilizando uma estrutura modular baseada no *C4 model*¹, a plataforma é projetada para atender, quer o público em geral, quer os administradores, permitindo uma gestão eficaz de dados e KPIs. A análise de requisitos aborda as funcionalidades específicas, assim como os atributos de qualidade, garantindo uma arquitetura robusta e adaptável.

4.1. Requisitos

Os requisitos da plataforma foram definidos com base nas necessidades identificadas pelos utilizadores e pela visão geral do projeto. Estes requisitos são divididos em duas categorias principais: requisitos funcionais e requisitos não funcionais. Os requisitos funcionais descrevem as funcionalidades específicas que a plataforma deve fornecer aos utilizadores, enquanto os requisitos não funcionais tratam de atributos de qualidade que a aplicação deve cumprir, como facilidade de manutenção, escalabilidade, usabilidade e desempenho.

4.1.1. Requisitos funcionais

Filtragem de dados:

User story: "Como utilizador, eu quero filtrar os dados de emissões de GHGs por região geográfica, tipo de gás (CO₂, CH₄, N₂O, etc.), setor de atividade e outras categorias relevantes, para que eu possa obter uma análise específica e detalhada".

Uma funcionalidade essencial da plataforma é a capacidade de filtrar dados de emissões de GHGs com base em diferentes critérios, como regiões geográficas, tipos de gases (CO₂, CH₄, N₂O, etc.), setores de atividade, e outras categorias relevantes. Esta funcionalidade deve ser implementada de maneira a permitir uma pesquisa aperfeiçoada e personalizada, facilitando a análise detalhada e específica dos dados. A filtragem deve ser interativa, permitindo que os utilizadores vejam os resultados em tempo real, à medida que ajustam os filtros.

¹ <https://c4model.com>

Importação de dados:

User story: "Como administrador, eu quero importar novos conjuntos de dados ou atualizar os existentes de forma eficiente, para garantir que a plataforma contenha sempre as informações mais recentes".

Os administradores da plataforma devem ter a capacidade de importar novos conjuntos de dados ou atualizar os existentes de forma eficiente e segura. A funcionalidade de importação de dados deve suportar múltiplos formatos de arquivo (como CSV, Excel, JSON) e permitir a integração com APIs externas para automatizar o processo de atualização de dados. A plataforma deve validar os dados importados para garantir a sua precisão e conformidade com o esquema da base de dados, alertando os administradores para quaisquer inconsistências ou erros.

Diferentes tipos de visualização de dados:

User story: "Como utilizador, eu quero escolher entre diferentes tipos de visualizações de dados, como gráficos de barras, linhas, dispersão ou mapas interativos, para que eu possa analisar as emissões de GHGs de maneira que melhor atenda às minhas necessidades de interpretação".

A plataforma deve oferecer múltiplos tipos de visualização de dados para proporcionar uma compreensão clara e abrangente das emissões de GHGs. Os utilizadores devem ser capazes de escolher entre gráficos de barras, linhas, dispersão, *heatmaps* (mapas de calor), mapas interativos, entre outros, dependendo do tipo de análise que desejam realizar. Estas visualizações devem ser personalizáveis, permitindo ajustes como escalas, legendas, cores e intervalos de tempo. A capacidade de alternar entre diferentes tipos de visualização e de personalizar a apresentação dos dados é essencial para atender a diferentes perfis de utilizadores.

Exportação de Dados:

User story: "Como utilizador, eu quero exportar visualizações de gráficos para poder partilhar as informações com outras partes interessadas".

A plataforma deve permitir que os utilizadores exportem visualizações dos gráficos. Esta funcionalidade é fundamental para utilizadores que desejam partilhar as informações com terceiros. A exportação deve ser intuitiva, bem como a abrangência dos dados a serem exportados (por exemplo, dados filtrados ou dados completos).

4.1.2. Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais são igualmente críticos para o sucesso da plataforma, pois definem atributos de qualidade que garantem o seu funcionamento eficiente e sustentável ao longo do tempo.

Facilidade de manutenção e evolução: A plataforma deve permitir uma manutenção contínua e a fácil introdução de novas funcionalidades ao longo do tempo. Para isso, deve ser concebida com uma arquitetura modular, que permitam a separação de responsabilidades e a implementação de melhorias incrementais. O *design* modular deve permitir que programadores possam adicionar, remover ou modificar componentes da aplicação sem comprometer a integridade geral do sistema. Além disso, a integração com plataformas externas, usadas para a criação de painéis e *dashboards*, deve permitir que os administradores possam configurar e atualizar essas visualizações de forma independente, sem necessidade de intervenção de um programador para alterar o código.

Escalabilidade: A plataforma deve ser escalável para acomodar um número crescente de utilizadores e o aumento das informações disponibilizadas na plataforma. Para alcançar essa escalabilidade, a arquitetura deve suportar tanto a escalabilidade horizontal quanto vertical, utilizando *containers* para o *frontend* e *backend*. A base de dados, deve ser configurada para permitir consultas eficientes e rápidas, mesmo com grandes volumes de dados. A integração com outras plataformas, deve de ser escalável, possibilitando a adição de novas visualizações e fontes de dados sem comprometer o desempenho do sistema.

Usabilidade: A plataforma deve proporcionar uma interface de utilizador intuitiva e fácil de navegar para garantir uma experiência de utilização eficaz tanto para o público em geral quanto para os administradores. A interface construída, deve ser desenhada para que os utilizadores possam interagir de forma clara e eficiente com os dados, utilizando elementos visuais como filtros interativos, mapas dinâmicos e gráficos personalizáveis. O *design* deve seguir princípios de usabilidade que minimizem o esforço de aprendizagem dos utilizadores,

garantindo uma navegação fluida e acessível. No que toca à integração com as plataformas externas, para o utilizador comum, essa integração deve ser transparente, sendo que para este não importa onde é que os painéis estão a ser criados.

Desempenho: O desempenho da plataforma deve ser otimizado para garantir tempos de resposta rápidos e uma interação eficiente. Para isso, deve-se utilizar *APIs RESTful* para comunicação eficaz entre o *frontend* e o *backend* e aplicar técnicas de compressão de dados. A plataforma deve ser capaz de lidar com grandes volumes de dados e múltiplos utilizadores simultâneos sem comprometer a velocidade de resposta. A criação de *dashboards* e painéis deve ser gerida para evitar sobrecarga no sistema, garantindo que as visualizações de dados permaneçam rápidas e responsivas.

4.2. Arquitetura

A estrutura da plataforma foi desenhada com foco em escalabilidade, flexibilidade e facilidade de manutenção. Nos próximos capítulos, detalham-se os principais componentes da arquitetura, começando pela apresentação do modelo utilizado, seguido das escolhas tecnológicas que sustentam a implementação, terminando com uma análise detalhada do modelo de dados. Estes capítulos oferecem uma visão abrangente das decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento, e como estas se alinham com os requisitos funcionais e não funcionais identificados.

4.2.1. Modelo da arquitetura (c4model.com)

Visando os requisitos de escalabilidade e flexibilidade da plataforma, bem como a capacidade de determinados utilizadores, atualizarem os conjuntos de dados disponíveis e configurar visualizações de KPIs, propomos na Figura 5 a arquitetura de software da plataforma, utilizando a nomenclatura do *C4 model*.

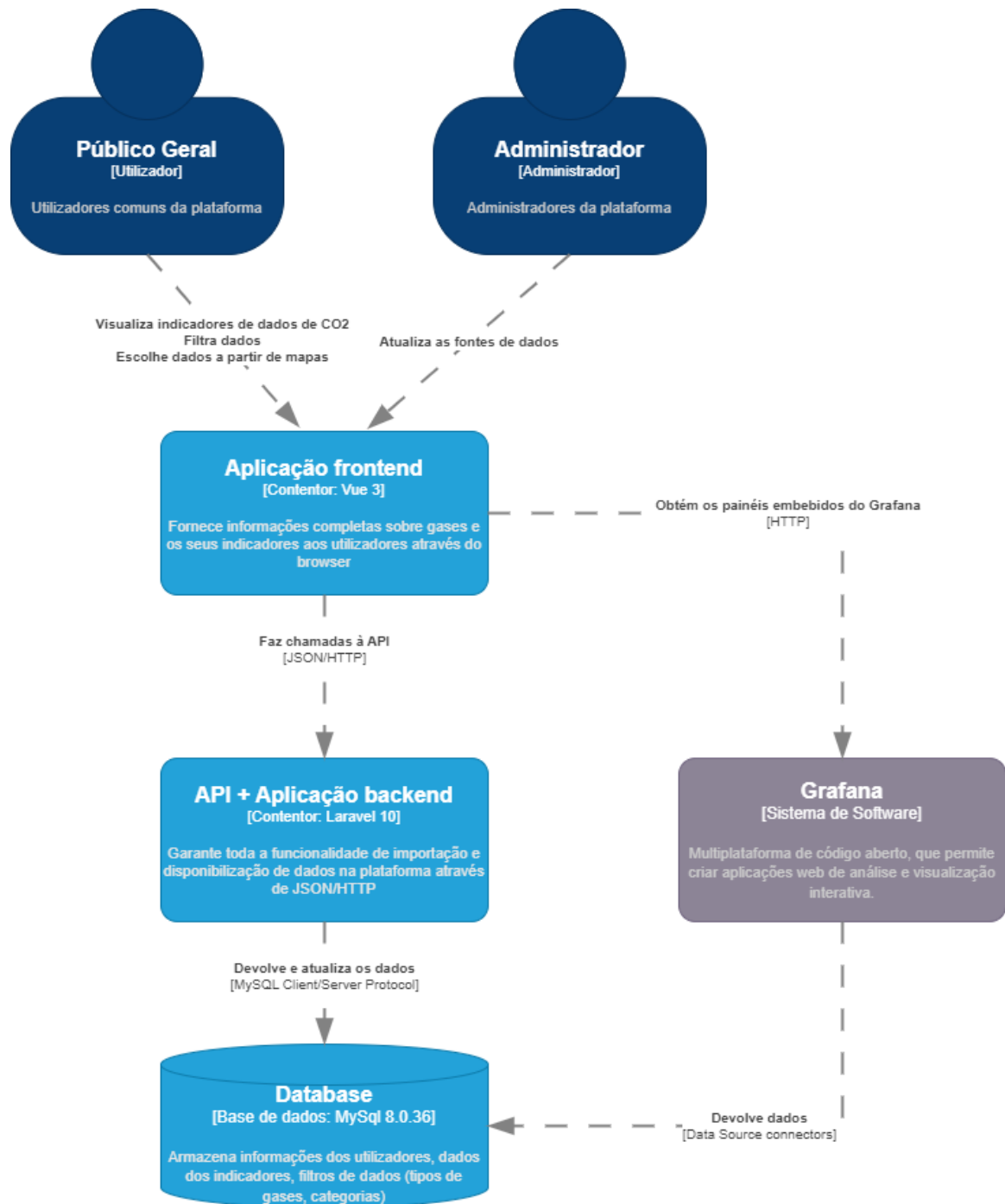


Figura 5 - Modelo de arquitetura.

A arquitetura é dividida em vários componentes com relações entre si, que lidam com diferentes aspetos da aplicação, desde a gestão de utilizadores até à visualização e administração de dados. A arquitetura serve dois tipos principais de utilizadores: o público em geral e os administradores. Os utilizadores do público em geral acedem ao sistema através de uma aplicação web *frontend*. Esta aplicação é construída usando *Vue 3*, uma *framework* de *JavaScript* progressiva conhecida pela sua eficiência e estrutura flexível. O *frontend* fornece uma interface de utilizador, permitindo aos utilizadores visualizar dados de

GHGs através de vários elementos interativos. Os utilizadores podem filtrar e seleccionar dados com base em parâmetros específicos, como regiões geográficas ou períodos de tempo específicos. A possibilidade de escolher dados a partir de mapas aumenta a interatividade, proporcionando uma compreensão espacial dos dados. Os utilizadores de perfil administrador têm uma interação diferente com o sistema. Eles utilizam a mesma interface *frontend*, mas acedem também a funcionalidades adicionais de *software* para atualizar e gerir fontes de dados e KPIs. Este papel é crucial para manter a precisão e relevância dos dados apresentados aos utilizadores do público em geral.

O núcleo da funcionalidade da aplicação reside na API, desenvolvida utilizando *Laravel* 10. As robustas funcionalidades e arquitetura *Model-View-Controller* do *Laravel* permitem lidar com lógica de negócios complexa e gestão de dados. O *backend* é responsável por toda a lógica do lado do servidor, incluindo importação de dados, processamento e gestão da API. Comunica-se com o *frontend* via JSON sobre *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), facilitando um fluxo de dados contínuo que suporta as funcionalidades dinâmicas da aplicação. A persistência de dados é gerida por uma base de dados *MySQL*, que armazena todos os dados essenciais, como informações de utilizadores, indicadores ambientais e filtros. O *MySQL* foi escolhido pela sua fiabilidade, desempenho e suporte generalizado. O esquema da base de dados é projetado para armazenar e consultar eficientemente grandes conjuntos de dados ambientais, otimizando tanto as operações de recuperação quanto de atualização.

Uma característica significativa desta arquitetura é a integração do *Grafana*², uma plataforma *open-source* para monitorização e observabilidade. Neste caso, o *Grafana* é utilizado para permitir que os administradores configurem visualizações de KPIs às quais os utilizadores do público em geral terão acesso. Portanto, os administradores podem aceder ao seu portal *Grafana* através de uma conta simples e configurar vários painéis de KPIs e fontes de dados diretamente. Estes painéis incorporados do *Grafana* são então incorporados na aplicação de *frontend*, proporcionando aos utilizadores do público em geral ferramentas avançadas de visualização de dados, que incluem gráficos, tabelas e mapas.

No geral, a arquitetura é projetada com foco na escalabilidade e flexibilidade. Ao separar responsabilidades entre os componentes *frontend*, *backend* e base de dados, o sistema garante que cada componente possa evoluir de forma independente, mantendo a

² <https://grafana.com>

integridade geral do sistema. O uso de *containers* tanto para o *frontend Vue 3* quanto para o *backend Laravel 10* aumenta a portabilidade e escalabilidade da aplicação, facilitando a fácil implementação e escalabilidade em diferentes ambientes.

4.2.2. Escolhas tecnológicas

A escolha das tecnologias, tem um peso importante no que toca ao desenvolvimento, evolução e manutenção de qualquer projeto. Sendo que para tal existem vários fatores, que levam à escolha de determinadas tecnologias, tais como: (1) quem ficará responsável pelo projeto após a sua conclusão, para manutenção e uma possível evolução; (2) os custos de manutenção; ou até mesmo (3) a performance e otimização de certas ferramentas. Posto isto, e tendo em conta o modelo de negócio que estava pensado, os principais fatores que levaram à escolha das tecnologias usadas, foram principalmente a escalabilidade, flexibilidade, facilidade de manutenção e evolução após a conclusão do projeto e a familiarização com as mesmas. Sendo assim, no que toca à escolha das tecnologias para *frontend* e *backend*, o ponto chave para a sua escolha foi exatamente a pré-existente familiaridade com elas, visto que são ferramentas altamente utilizadas no mercado [24], [25] e com bons resultados de desempenho, como tal não existiu qualquer entrave para a sua utilização.

Quanto à escolha tecnológica para a construção dos gráficos e painéis de indicadores, a razão da escolha foi ligeiramente diferente. Apesar de existirem no mercado diversas tecnologias que permitem fazer o que se pretendia, existem certos pontos que pesam efetivamente na decisão, como é visível na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação de tecnologias para criação de *dashboards*.

	Grafana	Power BI	Tableau
Custo	Gratuito para uso básico. Grafana Cloud: 8€/mês/utilizador.	Versão gratuita limitada. Power BI Pro: 10€/mês/utilizador. Power BI Premium: 20€/mês/utilizador.	Versão gratuita razoável para uso básico. Tableau Creator: 70€/mês/utilizador.
Facilidade de uso	Requer conhecimentos técnicos.	Interface amigável e intuitiva.	Interface intuitiva, mas com curva de aprendizagem.

	Open Source com suporte comunitário robusto.	Fácil para utilizadores não técnicos.	Pode ser complexa para novos utilizadores.
Flexibilidade	Suporta múltiplas fontes de dados via <i>plugins</i> .	Integra-se bem com Excel, Azure, SQL Server.	Suporte amplo para fontes de dados, mas requer ajustes para algumas.
	Boa integração com sistemas de monitorização.	Suporte para diversas fontes de dados.	
Capacidades de visualização	Focado em gráficos de séries temporais e métricas.	Visualizações variadas e personalizáveis.	Visualizações avançadas e detalhadas.
	Excelente para <i>dashboards</i> interativos.	Ideal para relatórios de negócios.	Foco em análise interativa e personalizada.
Suporte a dados em tempo real	Suporte nativo.	Suporta <i>streaming</i> de dados com configuração extra.	Suporta dados em tempo real com ajustes conforme a fonte.
Escalabilidade	Altamente escalável (Cloud ou servidores dedicados).	Escalável com Power BI Premium e Azure.	Escalável para pequenas e grandes empresas.

Com isto, é possível ver que em termos de custos, escalabilidade, flexibilidade o *Grafana* destaca-se, sendo que o custo era um fator bastante importante para o desenvolvimento do projeto. Tendo em conta a pré-familiarização com a tecnologia também pesou na decisão de escolha.

Iniciando-se assim, uma pequena fase de testes para verificar se o *Grafana* cumpria os requisitos desejados, primeiro em ambiente local de testes e posteriormente, passando para um ambiente já de *cloud*.

4.2.3. Modelo de dados

Como é visível na Figura 6, que representa a estrutura da base de dados é possível ver diversas tabelas, sendo que as principais são as de importação, começando por *ghg_** e que detêm toda a informação presente na plataforma.

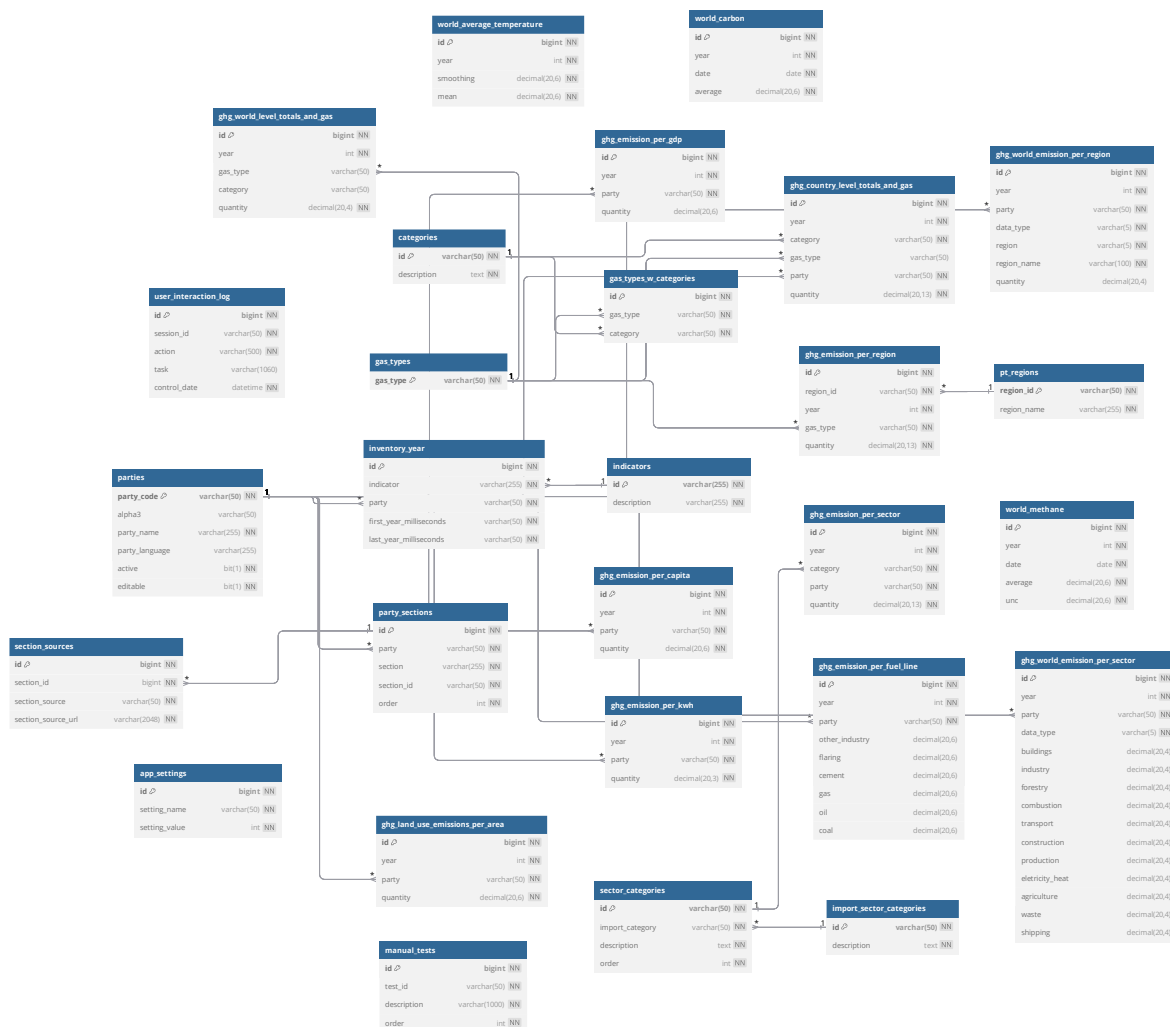


Figura 6 - Modelo de dados.

A plataforma está preparada para o registo de informação de inúmeras *parties*. É utilizado este nome, pois tanto podem ser países como por exemplo Continentes, ou até mesmo o Mundo num só, para tal, desde que os dados a importar correspondam à estrutura realizada para Portugal, basta apenas criar a *party* e importar os dados nos respetivos sítios.

Para o Mundo foram criadas algumas tabelas novas, pois as fontes diferiram um pouco e continha dados que não eram usados para Portugal. Sendo que foi até implementada a importação automática para as tabelas *world_**, onde não é necessário o utilizador interferir para que os dados sejam obtidos e como tal estas tabelas não têm qualquer associação com outras tabelas, visto que foram desenhadas e criadas única e exclusivamente para este.

As tabelas seguem uma estrutura relacional, sendo que maioritariamente o campo que é usado como chave primária, é a *party*, o ano e por vezes uma categoria ou tipo de gás. Por exemplo nas emissões por setor é possível verificar que existe a *party, year, category*, onde

podem existir diferentes dados para Portugal, no mesmo ano em categorias diferentes. Mas com a presente estrutura, posso colocar dados para Espanha por exemplo com os mesmos anos e categorias, necessitando apenas de acrescentar o país Espanha neste caso na tabela *parties*.

Para além disto, existem ainda tabelas auxiliares para o correto funcionamento da plataforma, sendo estas a *indicators*, *inventory_year*, *party_sections*. A primeira contém os indicadores, para os quais os GHGs são importados, sendo estes utilizados para estrutura e visualização de dados na plataforma. Já a segunda tabela, contém o primeiro e o último ano em que cada serie de dados começa e acaba, isto para que depois ao obter os dados do *Grafana* a linha temporal venha correta, sendo que para isso é enviado para o respetivo indicador o ano de início e o ano de fim. Já a última tabela, contém as secções que permitem uma navegação facilitada na plataforma. Todas os dados destas tabelas estão associados a uma *party* e ou um indicador um que faz com que estes possam ser dinâmicos de *party* para *party*.

Existem ainda tabelas para os testes da plataforma, que são a *app_settings*, *user_interaction_log* e a *manual_tests*. A primeira tabela, tem pequenas configurações da plataforma, como por exemplo, se deve de registar as interações dos utilizadores com a plataforma, registos estes que ficam na *user_interaction_log* e se o *wizard* para os testes deve estar visível, sendo este construído através da informação presente na tabela *manual_tests*, podendo ser alterada, fazendo com que os testes à plataforma sejam dinâmicos.

Posto isto, as restantes tabelas são apenas auxiliares de importação, para que seja mais fácil manipular os dados a importar. Existem também tabelas de autenticação que não estão presentes no diagrama, pois não são relevantes para o projeto em si, sendo apenas utilizadas para a autenticação dos utilizadores, para que estes possam realizar importações de dados.

De seguida, será abordada a implementação da plataforma, onde são descritas as principais funcionalidades desenvolvidas, os desafios encontrados e as soluções adotadas. O foco principal, será na aplicação prática dos conceitos discutidos anteriormente, destacando as etapas do desenvolvimento.

5. Implementação

O presente capítulo foca-se na implementação da plataforma desenvolvida com ênfase na flexibilidade, escalabilidade e usabilidade. A implementação é baseada nos requisitos identificados e nas decisões de arquitetura de *software* delineadas nos capítulos anteriores. O desenvolvimento da plataforma foi realizado em ciclos iterativos, com cada ciclo a incluir o desenvolvimento de protótipos, testes e ajustes conforme necessário. Neste capítulo, detalham-se as várias fases de implementação, desde a criação de protótipos iniciais até à versão final da plataforma, abordando os desafios encontrados, as soluções adotadas, e as ferramentas e tecnologias utilizadas para alcançar os objetivos propostos.

5.1. Indicadores para Portugal

Tendo em conta o principal foco da NET4CO2, a implementação deste projeto começou a ser delineada com dados de Portugal, pois o grande interesse inicial foi agregar uma grande variedade de dados sobre determinados indicadores referentes a Portugal numa só plataforma.

Começou-se por analisar se nas fontes fornecidas pelo cliente existiria alguma onde fosse possível recolher dados através de API. Constatou-se, no entanto, que das fontes que visavam os requisitos, e que eram consideradas fidedignas, nenhuma permitia a utilização de API, o que levou à decisão de fazer a implementação de rotinas de importação de ficheiros.

5.1.1. Protótipo inicial

Após as primeiras reuniões e a escolha das possíveis tecnologias a utilizar, bem como do que se pretendia realmente implementado, decidiu-se começar por criar um pequeno protótipo. Assim, seria possível ver o que realmente conseguíamos extrair do *Grafana*, enquanto plataforma para a criação de gráficos e *Dashboard* e ao mesmo tempo do *Vue* e *Laravel* para integração e junção destas plataformas. Numa fase inicial, como ainda não existiam máquinas alojadas na *cloud*, ficou definido que as instalações das ferramentas necessárias ao desenvolvimento seriam feitas na máquina local. Posto isto, a implementação iniciou com a criação de dois gráficos simples que permitiam verificar tecnicamente qual seria o processo necessário para embeber os gráficos de *Grafana* diretamente no *Vue* e ainda, de que forma é que era possível interagir com os eles.

Após alguma pesquisa, através de fóruns bem como da documentação [26] do próprio *Grafana*, constatou-se que seria possível fazer esta integração, como é visível na Figura 7.

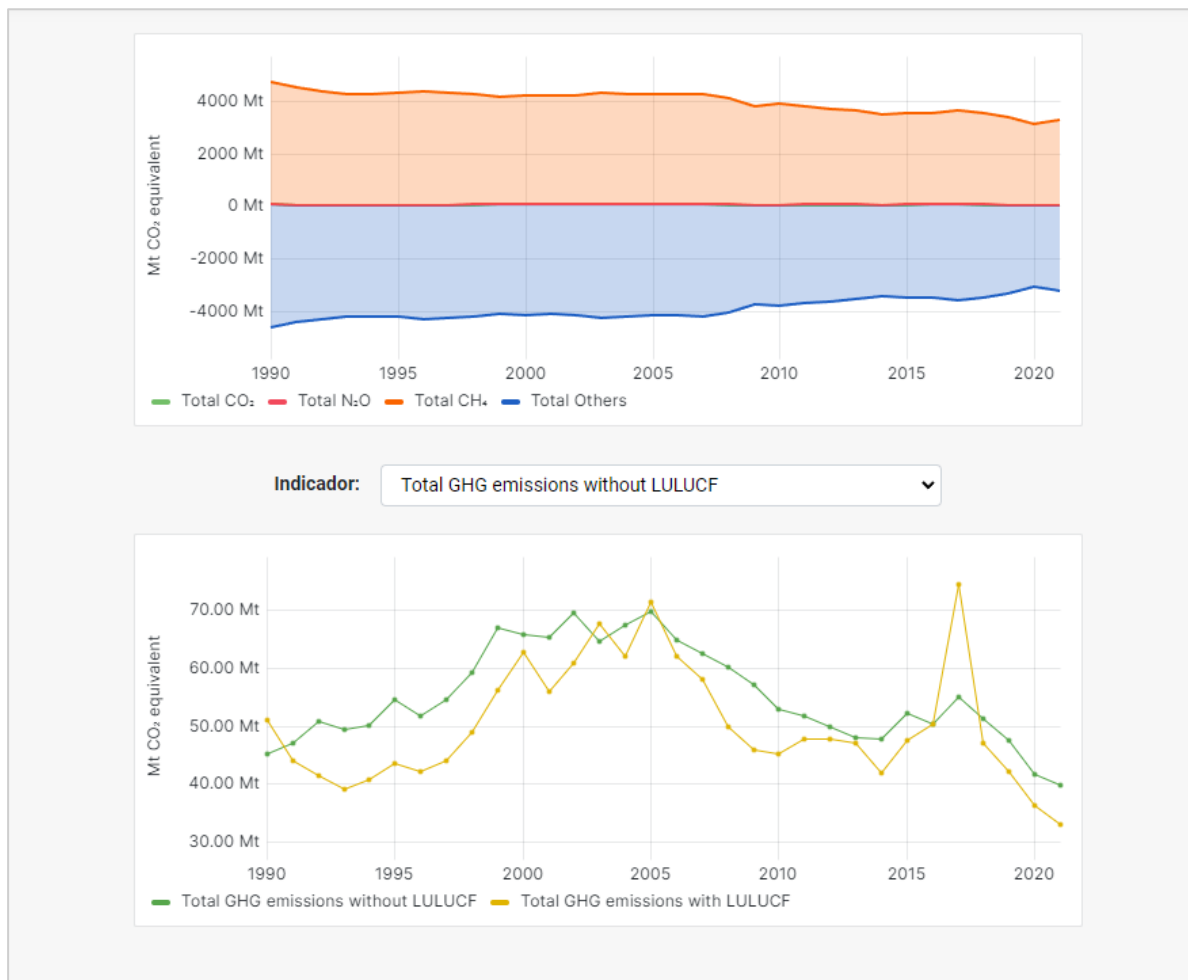


Figura 7 - Pequeno protótipo da plataforma.

Para que os painéis tivessem a permissão para serem embebidos foi necessário configurar alguns parâmetros no próprio *Grafana*. Assim, estes painéis passam a estar associados a uma organização (definida pelos administradores) e esta pode ser pública, ou não, dando assim permissões de visualização apenas a utilizadores não autenticados. No entanto, apenas isto não seria suficiente, pois se apenas tivéssemos a visualização de painéis com gráficos, sem possibilidade de interação, não cumpria os requisitos exigidos pelo NET4CO2. Por este motivo, o objetivo seguinte passou por encontrar formas de interagir com esta informação providenciada pelo *Grafana* e como tal identificou-se uma possibilidade através de parâmetros enviados pelo *Uniform Resource Locator* (URL) do próprio painel. Sabendo que estes parâmetros são passados como variáveis que depois são criadas do lado da *dashboard*, (como é visível na Figura 8), para serem interpretadas neste caso pela *query* de *My Structured Query Language* (MySQL) (visível na Listagem 1).



Figura 8 - Criação de variáveis na *Dashboard*.

```
SELECT STR_TO_DATE(CONCAT(year, '-01-01'), '%Y-%m-%d') AS time, quantity
FROM net4co2.ghg_country_level_totals_and_gas
WHERE category = '$category' AND gas_type IS NULL AND party = '$party'
ORDER BY time;
```

Listagem 1 - Exemplo *query* MySQL utilizada no painel

Explicando um pouco melhor o URL em si, observando a Listagem 2, a cor amarela representa o identificador único de cada *dashboard* e a cor a verde representa o seu nome. Após este segmento vem a organização à qual a *dashboard* pertence. Tudo o que se segue de cor vermelha e azul são variáveis criadas ou já existentes do próprio *Grafana*. Todas as que possuem `var-*` são variáveis criadas pelo utilizador, já as restantes como o *from* e o *to*, ou até mesmo o *panelId* são variáveis da própria plataforma. O *panelId*, tal como o próprio nome indica trata-se do identificador do painel que se quer visualizar dentro da *dashboard*. Já o *from* e o *to* são utilizados para painéis com linha temporal para se definir um limite temporal de visualização de dados.

```
https://example.com/grafana/d-solo/be2a94cf-de6b-4274-a590-cc049dd49c7e/total-ghg-
evolutions?orgId=1&theme=light&var-party=pt&var-category=TGL&panelId=3&var-
gas=null&var-paneltitle=Aggregate Gases&var-seriesName=Total GHG emissions with
LULUCF&from=631152000000&to=1609459200000
```

Listagem 2 - Exemplo de URL com variáveis

5.1.2. Estrutura e rotinas de importação da plataforma

Após este pequeno protótipo, que serviu apenas para verificar se era possível a integração do *Grafana* com o *Vue*, confirmou-se que era funcional e decidiu-se avançar com o primeiro protótipo da aplicação (tendo em conta os requisitos fornecidos).

Este protótipo teve dois pontos fundamentais definidos, (1) a estruturação da aplicação, para se perceber qual o melhor caminho que o utilizador teria de fazer para chegar até à informação; e (2) a criação da rotina de importação para um único indicador, de forma a perceber o que seria necessário (fazer e usar) para se interpretar os ficheiros das diversas fontes de dados.

Deste modo, decidiu-se criar uma página inicial, visível na Figura 9, que reunia todos os indicadores mencionados até à data. O objetivo desta página era permitir a interação com cada indicador, encaminhando o utilizador para uma página mais detalhada sobre cada um. Toda a informação relativa a estes indicadores foi armazenada numa base de dados.

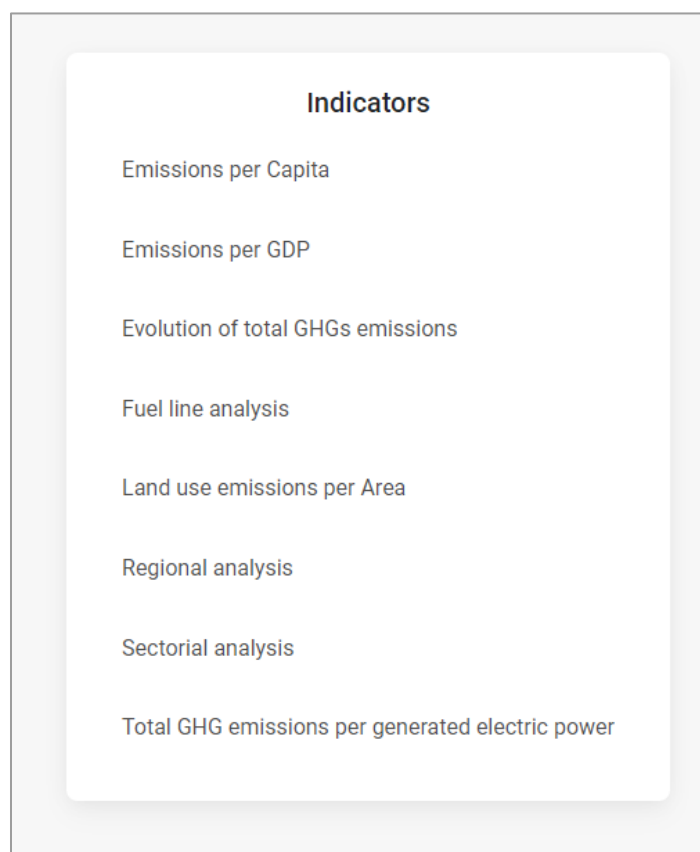


Figura 9 - Página inicial 1º protótipo.

Estando apenas a implementar inicialmente o indicador principal denominado até à data de *Evolution of total GHGs emissions*, foi construída a página relativa a este indicador onde era possível ver o seu respetivo gráfico, filtros e opção para importar novos dados, tal como demonstra a Figura 10.

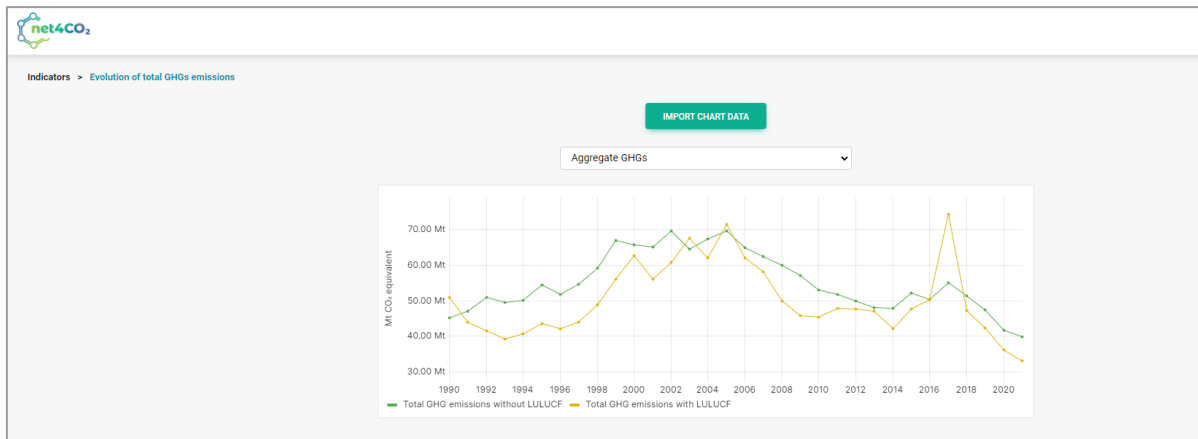


Figura 10 - Página individual indicador 1º protótipo.

Na Figura 11, é possível ver a janela de importação, onde se tem a possibilidade de colocar o ficheiro a importar e devido à necessidade de ter dados da União Europeia para realizar estatísticas. Pode-se ainda importar dados relativos a esta, sendo que para estes dados, basta importar em cada indicador, que acabam por ser partilhados entre diferentes *parties*.

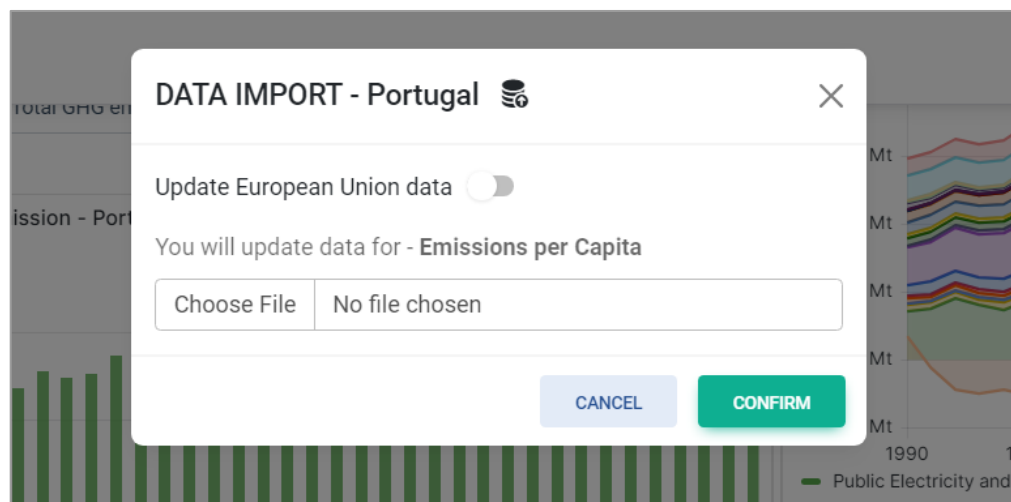


Figura 11 - Janela de importação.

Especificando um pouco a rotina de importação, a mesma difere de indicador para indicador, no entanto todas assentam sobre uma base desenvolvida por mim inicialmente que me permite depois estender diversas classes consoante o tipo de importação que pretendo fazer e os dados que pretendo tratar. Usando uma biblioteca para ler ficheiros Excel, foram implementadas rotinas que permitem obter colunas, linhas ou até mesmo matrizes. Assim, para criar uma nova rotina de importação para qualquer tipo de indicador basta criar uma nova classe que estenda desta.

Mostrando um pouco da classe base da rotina de importação que é o que permite obter os dados do Excel, como é visível na Listagem 3, o modelo recebe cada linha do ficheiro e cria uma matriz com linhas e colunas, representando o Excel. Depois, para se obter os dados do mesmo, são devolvidos através da função *getExcelData*.

```
public function model(array $row)
{
    $this->excelData[] = $row;

    return null;
}

public function getExcelData()
{
    return $this->excelData;
}
```

Listagem 3 - Rotina de importação - receção dos dados.

Com os dados guardados em memória foram desenvolvidas funções específicas para conseguir navegar dentro do *array* como se se estivesse a navegar diretamente no ficheiro Excel. Para tal, como é visível na Listagem 4, foram criadas as funções *getCellValue* que permite obter o valor de uma célula em específico, a função *getColumnValues*, que permite obter o valor de uma coluna em específico, a *getRowValue* para obter o valor de uma linha em específico e a principal que é a *getColumnValues*, que permite obter os dados através de uma matriz. Com isto, sempre que se importam dados basta verificar de que setores é que são necessários importar e chamar a respetiva função. O valor é sempre subtraído com -1, pois, ao chamar a função, a primeira coluna do Excel ou primeira linha, no *array* na realidade é na posição 0.

```
public function getCellValue($columnIndex, $RowIndex)
{
    $adjustedColumnIndex = $columnIndex - 1;
    $adjustedRowIndex = $RowIndex - 1;

    if (isset($this->excelData[$adjustedRowIndex][$adjustedColumnIndex]))
    {
        return $this->excelData[$adjustedRowIndex][$adjustedColumnIndex];
    }

    return [];
}

public function getColumnValues($columnIndex, $startRowIndex, $endRowIndex)
{
    $adjustedColumnIndex = $columnIndex - 1;
    $adjustedStartRowIndex = $startRowIndex - 1;
    $adjustedEndRowIndex = $endRowIndex - 1;

    $columnValues = [];

    for($i = $adjustedStartRowIndex; $i <= $adjustedEndRowIndex; $i++) {
        if (isset($this->excelData[$i][$adjustedColumnIndex])) {
            $columnValues[] = $this->excelData[$i][$adjustedColumnIndex];
        }
    }
}
```

```

    return $columnValues;
}

public function getRowValue($startColumn, $endColumn, $rowIndex)
{
    $adjustedStartColumnIndex = $startColumn - 1;
    $adjustedEndColumnIndex = $endColumn - 1;
    $adjustedRowIndex = $rowIndex - 1;

    $cellValues = [];

    for($i = $adjustedStartColumnIndex; $i <= $adjustedEndColumnIndex; $i++) {
        if (isset($this->excelData[$adjustedRowIndex][$i])) {
            $cellValues[] = $this->excelData[$adjustedRowIndex][$i];
        }
    }

    return $cellValues;
}

public function getColumnsValues($startColumn, $endColumn, $startRow, $endRow)
{
    $adjustedStartColumnIndex = $startColumn - 1;
    $adjustedEndColumnIndex = $endColumn - 1;
    $adjustedStartRowIndex = $startRow - 1;
    $adjustedEndRowIndex = $endRow - 1;

    $cellValues = [];

    for($i = $adjustedStartRowIndex; $i <= $adjustedEndRowIndex; $i++) {

        $rowValues = [];

        for($j = $adjustedStartColumnIndex; $j <= $adjustedEndColumnIndex; $j++) {
            if (isset($this->excelData[$i][$j])) {
                $rowValues[] = $this->excelData[$i][$j];
            }
        }

        $cellValues[] = $rowValues;
    }

    return $cellValues;
}

```

Listagem 4 - Rotina de importação - funções para obter dados.

No restante ficheiro, estão as funções auxiliares de gravação e formatação, como se pode verificar na Listagem 5. A função para formatar os anos e assim poder associar os dados aos respetivos anos (*formatYears*) e a própria função para guardar o intervalo de tempo para o qual os dados estavam associados (*saveOrUpdateFirstAndLastYearInv*). Para além disso, existe também a *getTotalColumns*, pois quando se pretende importar o ficheiro completo, é necessário saber o limite de colunas.

```

public function getTotalColumns()
{
    if (isset($this->excelData[0])) {
        return count($this->excelData[0]);
    }

    return 0;
}

public function formatYears($years)

```

```

{
  if(isset($years[0])) {
    $lastIndex = array_key_last($years);
    $year = explode(",", $years[$lastIndex]);
    $years[$lastIndex] = count($year) > 1 ? trim($year[1], ",") : trim($year[0], ",");

    return $years;
  }

  return [];
}

public function saveOrUpdateFirstAndLastYearInv($indicator, $firstYear, $lastYear, $party,
$generateDate = true)
{
  $invYear = InventoryYear::where('indicator', $indicator)->where('party', $party)-
>first();

  $startDate = strtotime(($generateDate ? ($firstYear.'-01-01') : $firstYear));
  $endDate = strtotime(($generateDate ? ($lastYear.'-01-01') : $lastYear));

  $timeFirstYear = ($startDate * 1000);
  $timeLastYear = ($endDate * 1000);

  if ($invYear != null && $invYear instanceof InventoryYear)
  {
    $invYear->update([
      'first_year_milliseconds' => $timeFirstYear < $invYear-
>first_year_milliseconds ? $timeFirstYear : $invYear->first_year_milliseconds,
      'last_year_milliseconds' => $timeLastYear > $invYear->last_year_milliseconds
? $timeLastYear : $invYear->last_year_milliseconds,
    ]);
  }
  else
  {
    InventoryYear::create([
      'indicator' => $indicator,
      'first_year_milliseconds' => $timeFirstYear,
      'last_year_milliseconds' => $timeLastYear,
      'party' => $party,
    ]);
  }
}
}

```

Listagem 5 - Rotina de importação - funções auxiliares.

Com a rotina já implementada, verificou-se que era possível tratar os dados sem a necessidade de intervenção do utilizador, sendo que estes apenas têm de obter o ficheiro da fonte e carregar o mesmo para o servidor.

Após isto, surgiu a necessidade de se ter uma página inicial mais atrativa e não apenas uma listagem. Como tal optou-se por remover a listagem de indicadores da página inicial e criar algumas categorias predefinidas, como é possível ver na Figura 12. Pretendia-se que mostrassem, algo logo à partida, como por exemplo, um dos principais gráficos de cada categoria.

Os indicadores foram colocados dentro da respetiva categoria, sendo que o caminho do utilizador para consultar a informação até à data passava por entrar dentro da categoria e

depois escolher o indicador que pretendia visualizar, para pôr fim, entrar dentro da vista detalhada deste indicador.

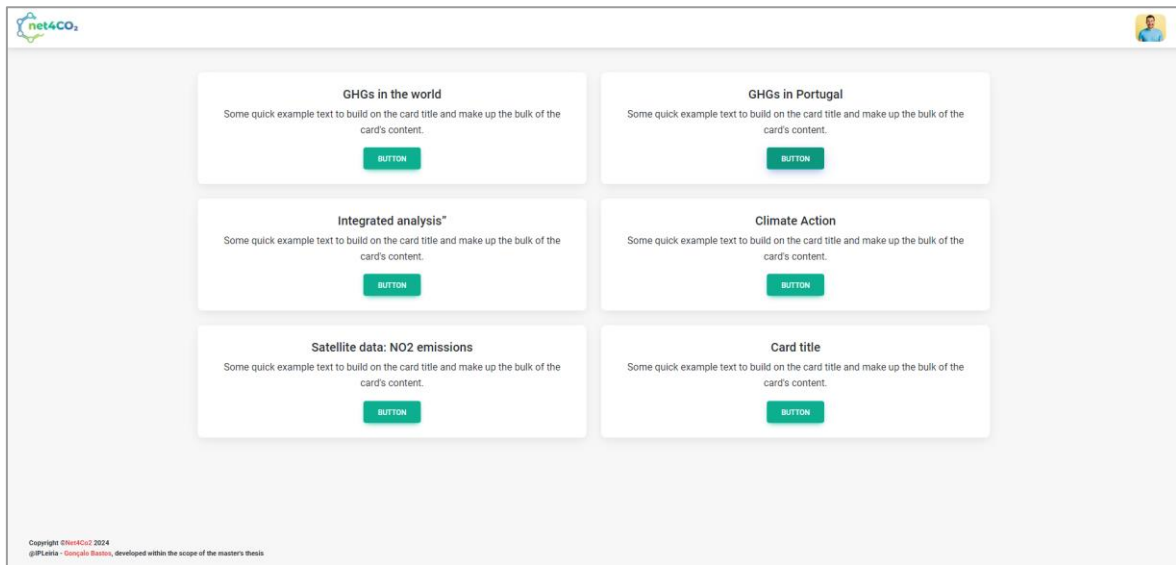


Figura 12 - Página inicial 1º protótipo pós reunião.

5.1.3. Reestruturação da plataforma e autenticação

Após apresentar a nova proposta, verificou-se que os cliques necessários para que o utilizador obtivesse realmente a informação detalhada sobre algo, eram demasiados. O principal objetivo do segundo protótipo foi, portanto, a reestruturação de toda a página de informação detalhada para que todos os indicadores fossem agregados numa só página, por forma a que a interação com a plataforma ficasse mais simples, permitindo a seleção da categoria na página inicial, passando-se logo para a vista detalhada, com diversos indicadores, como é possível de visualizar na Figura 13.

Foi também criada uma barra que começou por estar localizada na parte superior da página, por cima da informação detalhada, sendo que o objetivo desta barra era mostrar os dados de alguns indicadores relativamente ao último ano e também uma estatística com alguns valores a serem calculados automaticamente para o último ano de informação disponível, facilitando aos utilizadores a visualização dos dados de uma forma mais rápida e prática. No entanto, o cliente verificou que, esteticamente e a nível técnico, a posição desta não era o ideal e, portanto, optou-se por ser reposicionada para o lado esquerdo.

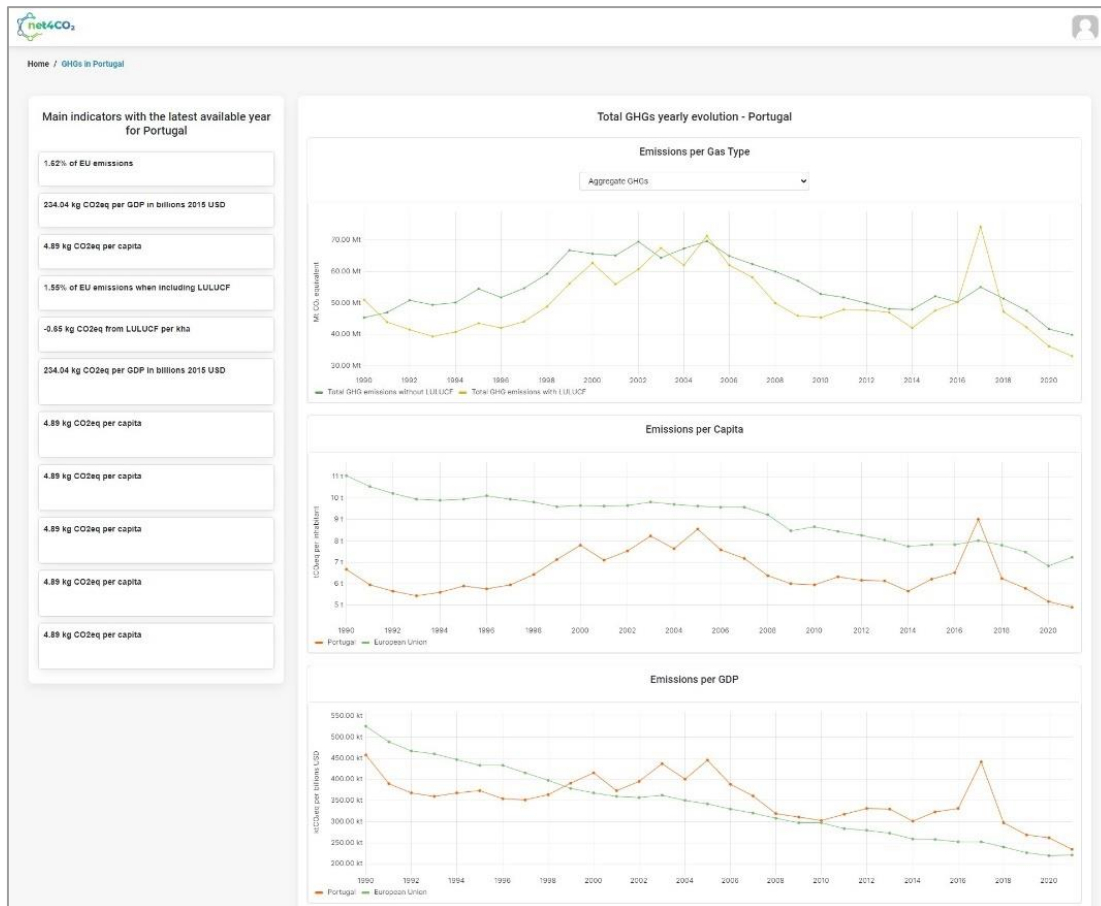


Figura 13 - Página de detalhes com diversos indicadores.

A página inicial foi ainda adaptada para receber os gráficos principais de cada categoria, sendo que os gráficos colocados nas outras categorias (sem ser a de Portugal) eram apenas exemplificativos, pois não tínhamos dados para as mesmas até à data - como é possível ver na Figura 14. Após esta reestruturação e adaptação, a base de dados teve de ser alterada também, assim como as rotinas de gravação. Inicialmente, não se tinha pensado que a plataforma poderia suportar a adição de outros países à mesma, e como tal, os dados deixaram de estar associados diretamente ao indicador apenas e passaram a estar associados a algo denominado *party*, isto porque as *parties*, englobam tanto países como dados com origem da união europeia, do mundo inteiro ou até mesmo de outra fonte que não seja diretamente um país. Como tal, apesar de não ser dada essa opção até à data deste protótipo na plataforma, a estrutura da mesma permite que os dados relativos a outras *parties* sejam descarregados e importados, desde que as fontes sejam as mesmas e o formato do ficheiro siga o mesmo padrão, não haverá problema e as vistas construir-se-ão automaticamente.

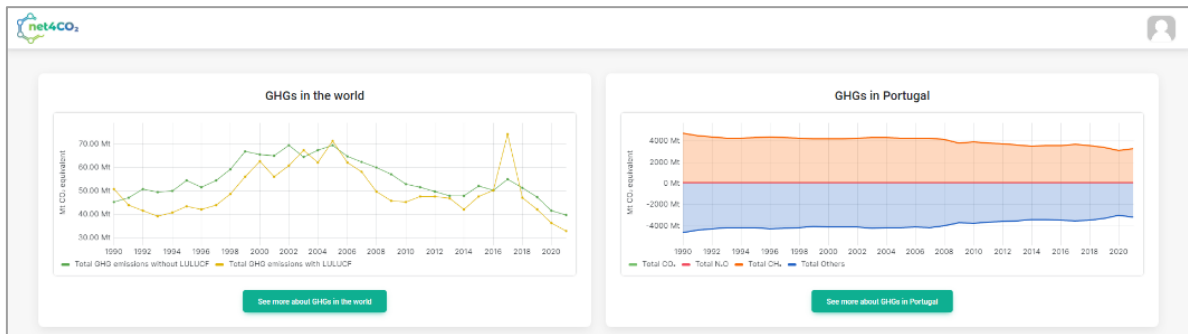


Figura 14 - Exemplo de gráficos página inicial.

Foi ainda implementado o sistema de autenticação, para que apenas utilizadores devidamente autenticados possam atualizar os dados na plataforma. Para tal utilizou-se o *Laravel Passport*, pois para além de ser simples e prático de implementar, permite ainda o suporte de *OAuth 2.0*. Posto isto, foram feitos métodos, para iniciar sessão, terminar sessão, pedir a recuperação de palavra-passe e para repor a palavra-passe. Como tal, foram criadas as janelas presentes na Figura 15, onde consta também um exemplo de um email que o utilizador recebe para efetuar a recuperação da sua palavra-passe.

The figure shows four components of the authentication system. Top-left: Login form with 'Email Address' and 'Password' fields, a 'Forgot password?' link, and a 'Login' button. Top-right: Password reset request form with an 'Email Address' field, a 'Reset Password' button, and a 'Back to Login' link. Bottom-left: Password reset confirmation form with 'Email Address', 'Password', and 'Confirm Password' fields, a 'Reset Password' button, and a 'Back to Login' link. Bottom-right: An email template with the net4CO2 logo, a 'Hello net4co2!' greeting, instructions to click a 'Click here to reset' button, a 20-minute expiration notice, and a signature from Net4Co2. A URL for the reset link is provided at the bottom.

Figura 15 - Componentes de autenticação.

5.1.4. Correções e *deploy* para testes

Com a estrutura já definida, foi apresentada ao cliente, para que este verificasse se efetivamente era o que se pretendia. Apesar de o *feedback* ser positivo, foram necessários acertar alguns pormenores, como a necessidade da barra lateral esquerda ser fixa, para que independentemente da localização do utilizador na página de detalhes, fosse possível ver os dados relativos ao último ano. Foi ainda pedido que, ao invés de um painel por linha como é visível na Figura 13, fossem colocados dois painéis lado a lado de forma a compactar a informação e a navegação da página não ficar tão extensa - visível na Figura 16.

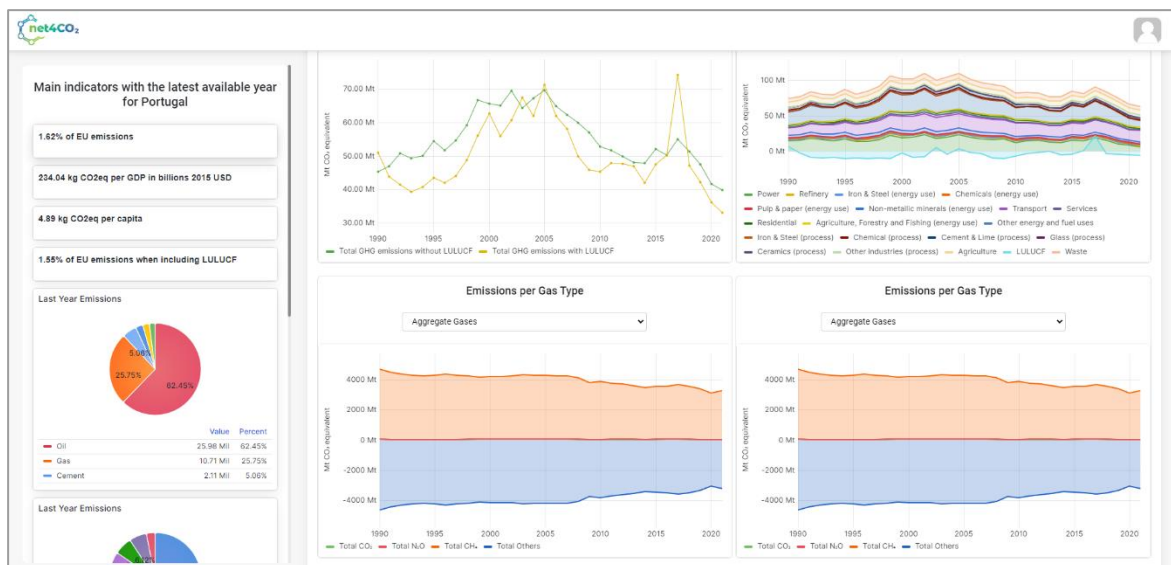


Figura 16 - Barra lateral esquerda fixa e dois painéis por linha.

Nesta fase, o cliente solicitou acesso constante à plataforma, para que de uma forma mais fácil e rápida, fosse possível ver a evolução do projeto e dar *feedback* mais efetivo nas sucessivas reuniões, nomeadamente quanto aos pontos que gostaria de ver alterados e ou refeitos. Como tal, em conjunto com o informático da NET4CO2, foi configurada uma conta de desenvolvimento na plataforma *Azure*, pois já era uma plataforma que a empresa usava internamente e tendo em conta o objetivo de agilizar o processo e simplificar o mais possível. Foi criada uma máquina virtual de testes onde a plataforma era atualizada constantemente à medida do desenvolvimento, sendo que nesta máquina foi necessário configurar o servidor de *Grafana* que utiliza uma *proxy* reversa [27]. Posto isto, o servidor de *Grafana* passou a ser acedido diretamente, através da configuração do servidor de *Nginx* com as portas standard de HTTP. Para aceder então à *dashboard* do *Grafana* em vez de colocar algo como www.exemplo.com:3000, passou a ser a algo como www.exemplo.com/grafana.

Foram necessárias algumas configurações adicionais para executar a API do *Laravel*.

Alguns dos pacotes *PHP* necessários para ler os ficheiros Excel não estavam instalados por defeito e como tal foi necessária proceder à sua instalação, sendo preciso também configurar o tamanho máximo permitido para os ficheiros carregados pelo utilizador, bem como o tempo máximo que uma função *PHP* poderia executar antes de lançar uma exceção por exceder esse tempo. Esta necessidade surgiu devido à presença de ficheiros grandes e à necessidade de os processar. Inicialmente, não estava claro por que razão o carregamento de ficheiros estava a falhar, pelo que foi necessário investigar estas questões. Todas estas informações sobre os variados parâmetros estão descritas no manual da própria linguagem [28].

5.1.5. Restantes rotinas de importação e mapa regional

Tendo em conta as funcionalidades e rotinas já implementadas, o objetivo passava agora, por finalizar a primeira versão (a nível de Portugal) de todos os indicadores. Para tal, era necessário criar as restantes rotinas de importação, para os indicadores em falta e realizar algumas alterações estruturais de interface com a plataforma.

Assim, tal como explicado no Capítulo 5.1.2, foram criadas rotinas para os restantes indicadores, no entanto apesar da origem dos dados ser a mesma, os ficheiros vão diferindo ligeiramente entre si. Por isso, houve necessidade de criação de métodos específicos para determinados indicadores. Cada indicador necessitou de uma rotina específica para o seu formato levando a que grande parte do tempo de desenvolvimento fosse com estes aspetos. Os que se diferenciaram mais, foram o *Emissions per Fuel Line* e o *Emissions per Sector*. No primeiro (*Emissions per Fuel Line*) foi necessário recorrer a uma biblioteca externa com todos os países, as respetivas siglas e abreviações [29], isto porque como a fonte de dados para este indicador não é a mesma da maioria, a estrutura do ficheiro a importar também difere. O principal problema neste caso, é o facto de não existir a possibilidade de descarregar o ficheiro com os dados de um país apenas, e como tal, foi necessário recorrer à biblioteca mencionada anteriormente. Os dados presentes no ficheiro estão associados pela sigla do país composta por três letras, sendo necessário proceder à sua filtragem para a *party* para onde se está a importar dados. Com esta biblioteca, ao registar uma *party*, função que não existe até à data de desenvolvimento deste protótipo, e pelo facto de que não se quer complicar a interação do utilizador com a necessidade de preencher diversos campos, este apenas terá de selecionar a *party* da lista providenciada e a biblioteca terá toda a restante informação necessária.

Já o segundo indicador (*Emissions per Sector*) apesar da sua fonte de dados ser semelhante aos demais, tem a necessidade de filtragem em diversos ficheiros, pois existem setores a importar que estão juntos com outros setores e como tal não se pode importar o ficheiro sem tratar primeiramente do mesmo. Para além disso, há setores usados na plataforma que na verdade são subsetores e como tal, quando o utilizador quer importar dados para o setor do *Cement*, terá de importar o ficheiro do seu indicador pai, que terá toda a informação dos subsetores. Como tal, foi necessário criar uma tabela (Figura 17), denominada de (*import_secot_categories*) que contem os nomes dos indicadores necessários a importar. Visto que estes contêm todos os setores e subsetores necessários para construir o painel ao nível sectorial, na Figura 17 é possível ver a relação das categorias de importação com as categorias posteriormente utilizadas pelos dados na plataforma, sendo que depois, a tabela onde se encontram os dados (*ghg_emission_per_sector*) já possui os dados associados a um setor.



Figura 17 - Tabelas para o painel setorial.

Existe ainda o indicador das regiões que, no que toca à importação, é semelhante ao indicador dos setores pois possui uma tabela auxiliar com os indentificadores de cada região para depois serem usados na plataforma, para filtrar os dados. Assim, ficam associados à região e ao gás a que pertencem, como é possível ver na relação de tabelas na Figura 18.

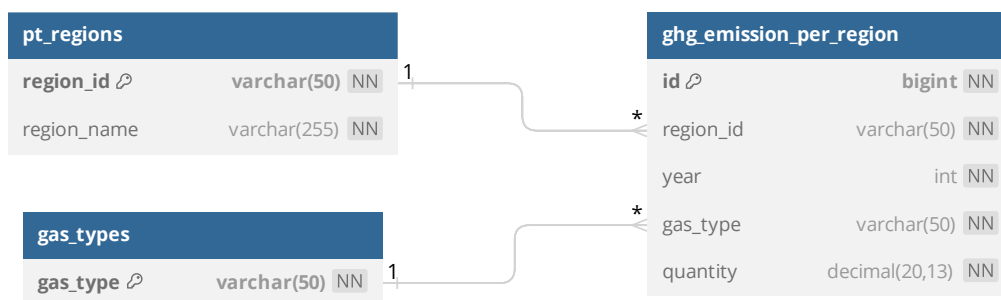


Figura 18 - Tabelas para o painel regional.

Para além disso, este é o único painel que não é inteiramente criado através do *Grafana*, isto porque, tendo em conta os requisitos, era necessário manipular um mapa ao nível de

concelhos, em termos de cores e de interação. Para além de não haver uma biblioteca que o permitisse diretamente, o que havia no que toca ao preenchimento das regiões não era bem o que se pretendia. Foi analisado, por exemplo, o plugin *Geomap* [30].

Para além disto poder-se-ia usar um *Scalable Vector Graphics* (SVG) de um mapa do lado do *Grafana*, no entanto, era mais complicado de implementar e criar código *javascript* para interagir e, por outro lado o resultado da integração também não correspondia às exigências. Como tal, optou-se por usar na mesma um gráfico de barras criado no *Grafana*, e colocar o mapa SVG diretamente no *Vue*. Esta solução permitiu uma melhor manipulação e interação em que é possível selecionar a região que se pretende, ver no painel de barras e esta altera automaticamente no mapa. Para esta funcionalidade foi necessário mapear cada região manualmente para que cada uma ficasse associada ao identificador presente na tabela da base de dados. As cores de cada região são preenchidas em função da quantidade de gás emitido, no respetivo ano, selecionado na região em causa.

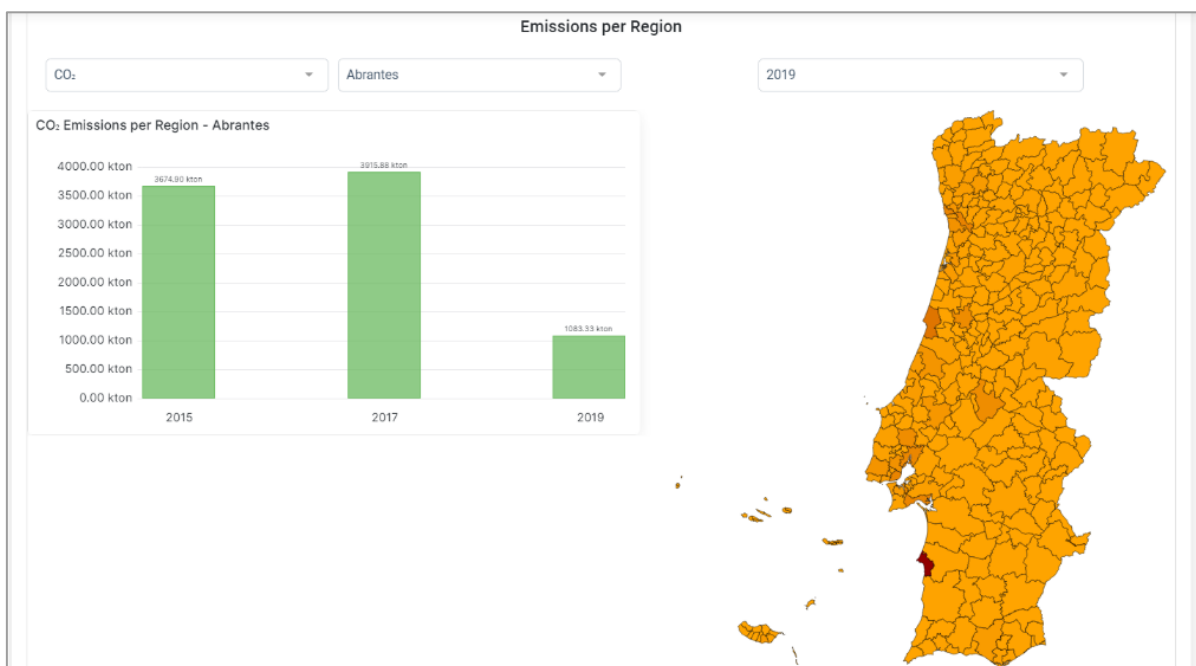


Figura 19 - Painel das regiões.

Na página inicial foram ainda removidos os painéis que facultavam informação errada, (apenas para teste), de forma a finalizar a primeira versão. Não era adequado possuir material e informação não funcional e errada na plataforma. Assim, a primeira versão da plataforma foi finalizada, para que se pudessem realizar os devidos testes. No Anexo A, é possível ver as restantes figuras, relativas ao estado de desenvolvimento nesse momento.

5.1.6. Finalização dos indicadores para Portugal

Finalizada a primeira versão da plataforma, foi necessário realizar testes como é descrito no capítulo 6.1. Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que havia margem para melhorias.

Como tal, algo que necessitou de uma reestruturação foi a janela de importação, pois para os testes, foram utilizados dois tipos de janelas principais de importação como já foi apresentado anteriormente na Figura 11. Uma em que tudo o que dizia respeito aos dados a importar se encontrava dentro da própria janela e outra em que os filtros aplicados ao painel se aplicavam aos dados a importar. No entanto, verificou-se que a interação do utilizador funcionava muito melhor quando tudo o que dizia respeito à importação se encontrava dentro da janela de importação.

Para além disso, para importar dados referentes à União Europeia, foi notório que o *toggle* que existia na janela não era eficaz e, portanto, procedeu-se igualmente a essa alteração. Como é visível na Figura 20, encontram-se as novas janelas de importação.

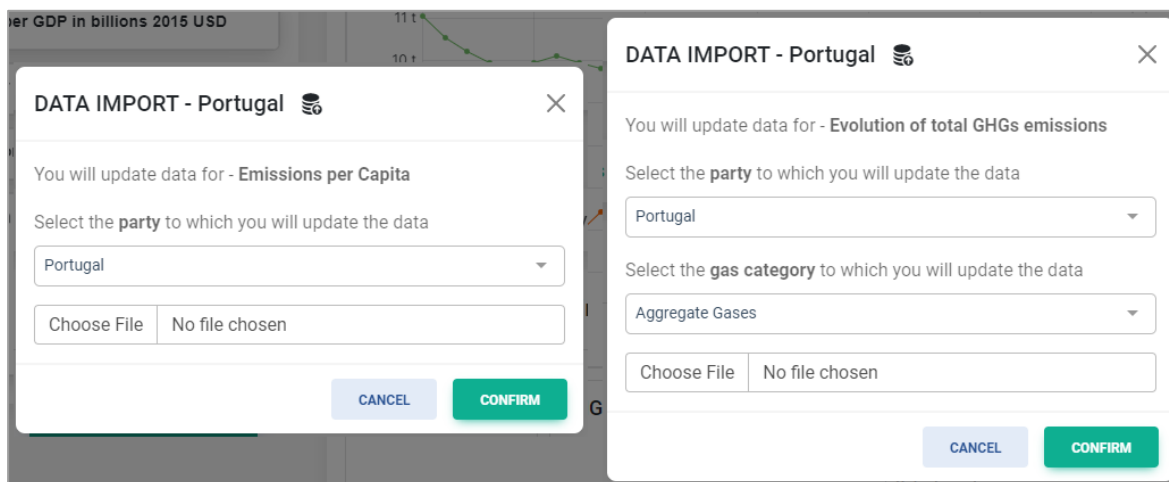


Figura 20 - Novas janelas de importação.

Para substituir o *toggle*, que permitia escolher se os dados a importar eram para a *party* em que o utilizador se encontrava ou para a União Europeia, foi encontrada a solução de uma *dropdown* que permite seleccionar a *party* como é visível do lado esquerdo da Figura 20. Por sua vez, do lado direito, temos também algumas alterações relativamente aos filtros dos indicadores, necessários para importar os dados. Estes passaram para dentro da janela, permitindo assim que toda a interação e tudo o que fosse necessário seleccionar, para importar dados fosse dentro da própria janela de importação. Sendo que vai variando entre a

necessidade de escolher uma determinada categoria ou setor, pois há indicadores que não têm qualquer necessidade de seleção.

Após esta alteração, tendo em conta os testes e as respostas obtidas (que podem ser vistos e analisados no ponto 6.1), foi notório que devido à grande variedade de informação os utilizadores se perdiam um pouco nos diversos indicadores antes de chegar realmente à informação pedida. E, portanto, após alguns comentários presentes na Tabela 2, bem como o tempo despendido em cada interação, a Net4CO2 verificou internamente que os dados e os painéis deveriam de estar organizados de maneira diferente, por forma a facilitar o acesso e a visualização dos dados.

Tabela 2 - Comentários sobre a organização da página.

Pergunta	Resposta
Item 1 - Em geral, estou satisfeito com a facilidade de utilização deste sistema	Em um primeiro momento, a página pode parecer confuso pois tem muita informação
	É intuitivo e está bem organizado (os tipos de informação a recolher estão bem agrupados à esquerda e direita).
Item 2 - Este sistema foi simples de utilizar.	Após entender a dinâmica de apresentação dos dados, ficou mais fácil de utilizar
	Mesmo comentário do item 1.
	Nem por isso, o utilizador é obrigado a ler a página inteira para localizar 1 gráfico. A interface devia estar construída para facilmente chegar à informação necessária. Algumas das opções são difíceis de reparar como a escolha dos gases a mostrar nos gráficos (ex. CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O).

Como tal, para além de se ter criado secções, para dividir os diversos indicadores, removeu-se ainda os *pie charts* da barra lateral esquerda.

Esta decisão foi debatida em reunião e, em conjunto com a NET4CO2, chegou-se à conclusão que alguns não acrescentavam em nada e que apenas dificultavam a visualização e navegação, pelo que acabaram por ser eliminados. Para tal, foi por isso, criada uma barra superior que contem as secções. Desta forma, o utilizador pode clicar para navegar diretamente para cada uma. Todas estas alterações são visíveis na Figura 21, Figura 22 e Figura 23.

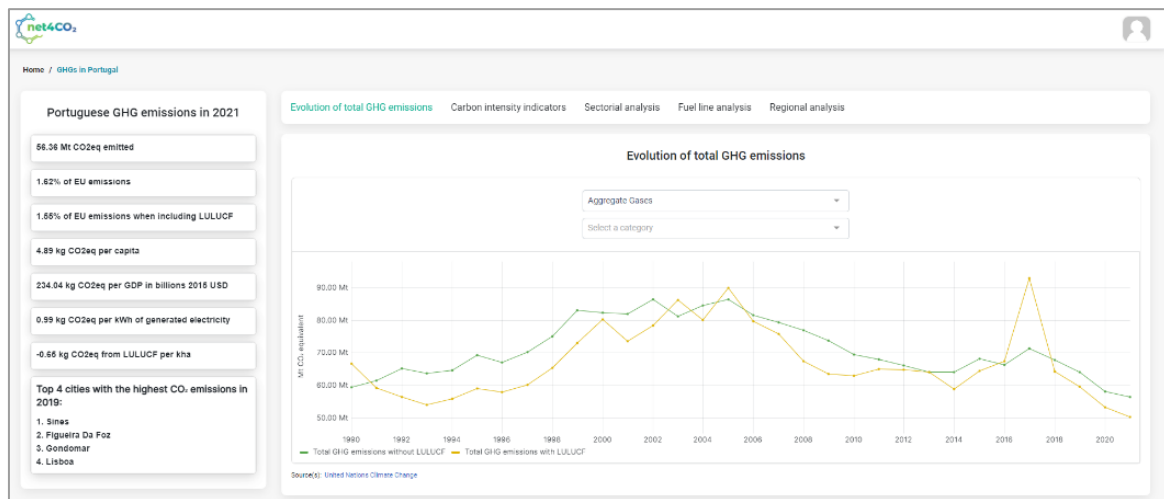


Figura 21 - Agregação de painéis por setores.

Foram ainda adicionados novos filtros no indicador relativo aos setores, como consta na Figura 22. Devido à vasta quantidade de setores, assim criou-se uma vista simplificada, onde se englobam os principais setores, definidos pela NET4CO2 e posteriormente temos uma vista mais detalhada onde se podem ver então todos os setores em simultâneo. Este filtro acaba por atuar tanto no painel de *stacked area*, como no *pie chart*. Para além disso, como complemento informativo foi sugerido pela Net4CO2, que fosse adicionado por baixo de cada painel/secção a respetiva fonte dos dados, tendo sido adicionada essa referência.

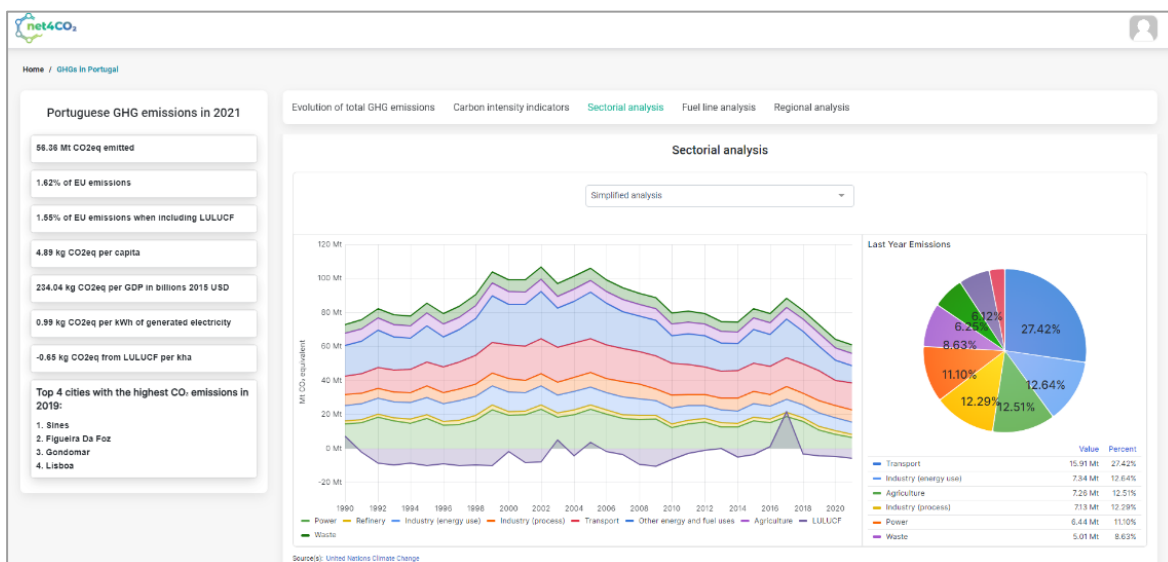


Figura 22 - Novos filtros adicionados e fontes.

Para além destas alterações, verificou-se que o mapa da *party* da forma como estava não acrescentava grande relevância à plataforma, pois não se permitia interagir, nem extrair

dados. Foi então sugerido que se acrescentasse uma legenda e se repensasse a forma de interação, ao selecionar a região nos filtros, por exemplo.

Foi então acrescentada uma legenda que varia consoante o tipo de gás que o utilizador selecione e o respetivo ano, pois as quantidades diferem de gás para gás, bem como de ano para ano. A interação com o mapa foi também adicionada, e para além de mostrar a região selecionada através dos filtros, foi também acrescentada a possibilidade de passar o ponteiro por cima do mapa e ver o nome de cada região, bem como ao carregar nessa região, alterar o filtro, bem como o painel do lado esquerdo. Apesar de na Figura 23, não ser possível ver o ponteiro do utilizador, este encontra-se sobre a região de Leiria, mostrando assim a legenda da região, pelo que se o utilizador optasse por carregar na mesma, o painel do lado esquerdo alteraria. É ainda possível ver que no filtro encontra-se selecionada a região de Abrantes aparecendo esta destacada no mapa.

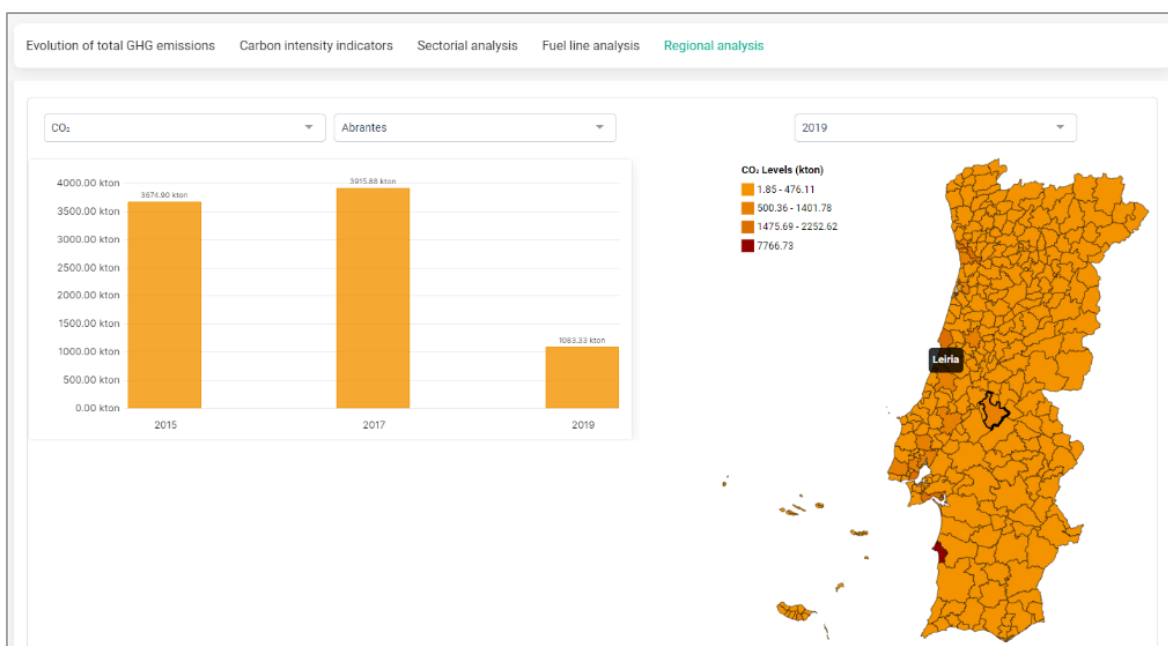


Figura 23 - Painel das regiões com alterações.

5.2. Indicadores para o Mundo

Com os indicadores para Portugal já implementados, a estrutura da plataforma já se encontrava definida. Assim, apesar de existirem alguns pontos diferentes para o Mundo, a implementação acabou por ser igual, começando-se pela prototipagem novamente, sendo que desta vez, as decisões foram muito mais assertivas. Como tal, as diferenças principais nos indicadores do Mundo comparativamente a Portugal, são a filtragem e visualização

detalhada, permitindo ter vários tipos de visualização como é visível na Figura 24 para os mesmos dados, algo que não acontecia para Portugal.

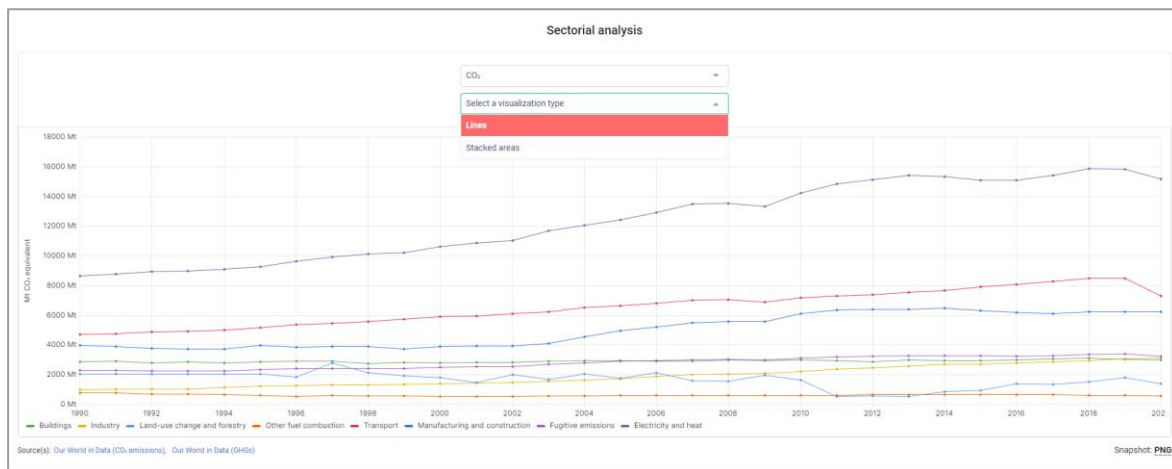


Figura 24 - Tipos de visualização indicadores do Mundo.

Estes tipos de visualização compactuam com os restantes filtros, sendo que diferentes tipos de gases podem ter diferentes tipos de visualização, fazendo com que combinados entre si, gerem inúmeras formas de visualização.

Outra grande diferença e inovação para a plataforma, foi a integração de importação de dados através de APIs externas. Como falado anteriormente, as fontes de dados presentes para os indicadores de Portugal não permitiram importar os dados automaticamente, sendo necessário criar rotinas de importação para que os administradores da plataforma possam carregar ficheiros para atualizar os dados. No entanto, para os indicadores do Mundo, três das fontes utilizadas pertencentes à NASA, possibilitaram a utilização de uma API, para tal, e para que o utilizador não tivesse de ter qualquer intervenção neste processo, foi utilizada uma ferramenta do *Laravel* denominada de *Laravel Scheduling*. Foi necessário configurar as tarefas para um intervalo de tempo específico e posteriormente construir a rotina que iria obter a informação.

Na Listagem 6, é possível ver que foram definidas três tarefas para serem executadas, sendo estas para obter os dados para a Temperatura, Carbono e Metano respetivamente. Foram configuradas para executar todos os meses no dia 20 de cada mês, à uma da manhã no horário de Lisboa. Esta decisão foi discutida em reunião para que chegássemos a um consenso sobre a periodicidade com que os dados tinham de ser atualizados e quando é que deveriam de ser atualizados, sendo que o dia 20 foi algo estratégico, pois os dados da NASA costumam ser atualizados entre o dia 15 e o dia 18 de cada mês. Já a decisão da hora, foi apenas atendendo

à baixa afilência que a plataforma teria durante esse horário e como tal, caso o servidor precise, pode consumir mais recursos.

```
protected function schedule(Schedule $schedule): void
{
    $schedule->command('app:get-temperature')->monthlyOn(20, '01:00')
        ->timezone('Europe/Lisbon')
        ->appendOutputTo(storage_path('logs/schedule.log'));
    $schedule->command('app:get-carbon')->monthlyOn(20, '01:00')
        ->timezone('Europe/Lisbon')
        ->appendOutputTo(storage_path('logs/schedule.log'));
    $schedule->command('app:get-methane')->monthlyOn(20, '01:00')
        ->timezone('Europe/Lisbon')
        ->appendOutputTo(storage_path('logs/schedule.log'));
}
```

Listagem 6 - Comandos Laravel Scheduling.

Cada um destes comandos chama a respetiva classe, tendo esta um identificador único visível na Listagem 7, denominado de *app:get-temperature*. Esta classe, por sua vez, injeta o controlador base que contem as funções das rotinas de importação e na função *handle* trata de executar o processo. Este processo foi construído, com um sistema de *logs* presente na Listagem 8, para que seja possível verificar se o processo é executado todos os meses, assim ficando registado, a data e hora de início em que os dados começaram a ser descarregados, bem como a data de termino. No caso de ocorrer alguma exceção durante a sua execução, esta é registada também nos *logs* para que seja fácil de identificar a razão da falha durante a importação, visto que se trata de um processo automático e transparente para o utilizador.

```
class GetTemperature extends Command
{
    /**
     * The name and signature of the console command.
     *
     * @var string
     */
    protected $signature = 'app:get-temperature';

    protected $partyController;

    /**
     * The console command description.
     *
     * @var string
     */
    protected $description = 'Get the temperature data.';

    public function __construct(PartyViewController $partyController)
    {
        parent::__construct();
        $this->partyController = $partyController;
    }

    /**
     * Execute the console command.
     */
    public function handle()
    {
        $this->info("INFO -> [" . $this->formatTime(microtime(true)) . "] Starting to get
        temperature data...");
    }
}
```

```

        try
        {
            $this->partyController->getTemperatureData();

            $this->info("INFO -> [" . $this->formatTime(microtime(true)) . "] Temperature
data retrieved successfully.\n");
        }
        catch (\Exception $e)
        {
            $this->error("ERROR -> [" . $this->formatTime(microtime(true)) . "] Error
getting temperature data: " . $e->getMessage() . "\n");
        }
    }

    private function formatTime($timestamp)
    {
        return date("Y-m-d H:i:s", $timestamp); // Format the timestamp as desired
    }
}

```

Listagem 7 - Classe de execução comando Laravel Scheduling.

Neste caso, os *logs* encontram-se com uma diferença horária relativamente ao que está presente no código devido ao horário que se encontra configurado no servidor.

```

INFO -> [2024-08-20 00:00:01] Starting to get temperature data...
INFO -> [2024-08-20 00:00:02] Temperature data retrieved successfully.

INFO -> [2024-08-20 00:00:02] Starting to get carbon data...
INFO -> [2024-08-20 00:00:03] Carbon data retrieved successfully.

INFO -> [2024-08-20 00:00:04] Starting to get methane data...
INFO -> [2024-08-20 00:00:04] Methane data retrieved successfully.

```

Listagem 8 - Logs chamadas API NASA.

Cada classe, chama a respetiva função de importação, presente no controlador base injetado, neste caso e tomando como exemplo a figura anterior, a função executada é a *getTemperatureData*, visível na Listagem 9.

Esta rotina chama o respetivo endereço e tem uma exceção para que, caso ocorra alguma falha durante essa chamada, faça cerca de cinco tentativas para que o processo seja executado com sucesso. Posteriormente, o processo é muito semelhante ao já demonstrado para as importações relativas aos indicadores de Portugal. Com a exceção de que (como o processo é executado automaticamente) foi criada uma validação que visa verificar se o último registo já existe na base de dados (como forma de otimizar a atualização dos registos). Se o registo já existir, não atualiza nada; caso este não exista, verifica todos os registos existentes; e caso sejam diferentes atualiza apenas os registos em que diferem dos valores descarregados.

Isto porque, a cada atualização ou inserção de novos valores nas fontes de dados a NASA, acaba por atualizar dados relativos a datas anteriores e como tal é necessário retificar esses mesmos valores.

```
public function getTemperatureData()
{
    try {
        $response = Http::retry(5, 5000)-
>get('https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/graph_data/Global_Mean_Estimates_based_on_L
and_and_Ocean_Data/graph.txt');

        if ($response->successful()) {
            $data = $response->body();
            $import = new WorldTemperatureImportClass();
            $filteredData = $import->filterData($data);
            if(!$import->checkIfLastYearAlreadyExists($filteredData))
            {
                $import->saveData($filteredData, 'world-average-temperature', 'wd');
            }
        }
        else
        {
            throw new \Exception($response->status());
        }
    }
    catch (\Exception $e)
    {
        throw $e;
    }
}
```

Listagem 9 - Exemplo de rotina de importação NASA.

Por fim, uma funcionalidade implementada inicialmente para os indicadores do Mundo e que depois acabou por ser espelhada para os restantes, foi a possibilidade de exportação de imagens dos gráficos da plataforma. Esta funcionalidade foi sugerida nas reuniões com a Net4CO2, sendo que em determinadas situações (como para fazer apresentações, por exemplo) seria interessante ter os gráficos exportados, para apresentar. Apesar de ser possível realizar uma captura de ecrã, a resolução da imagem dos gráficos iria depender da máquina do utilizador. Como tal, foi implementada uma opção de exportação em cada painel permitindo assim a exportação do gráfico com uma qualidade superior, denominada de *snapshot*, como é visível na Figura 25. O utilizador pode clicar em cima do campo *Portable Network Graphics* (PNG) onde lhe aparecerá uma imagem que indicará que a sua captura de ecrã está a ser gerada.

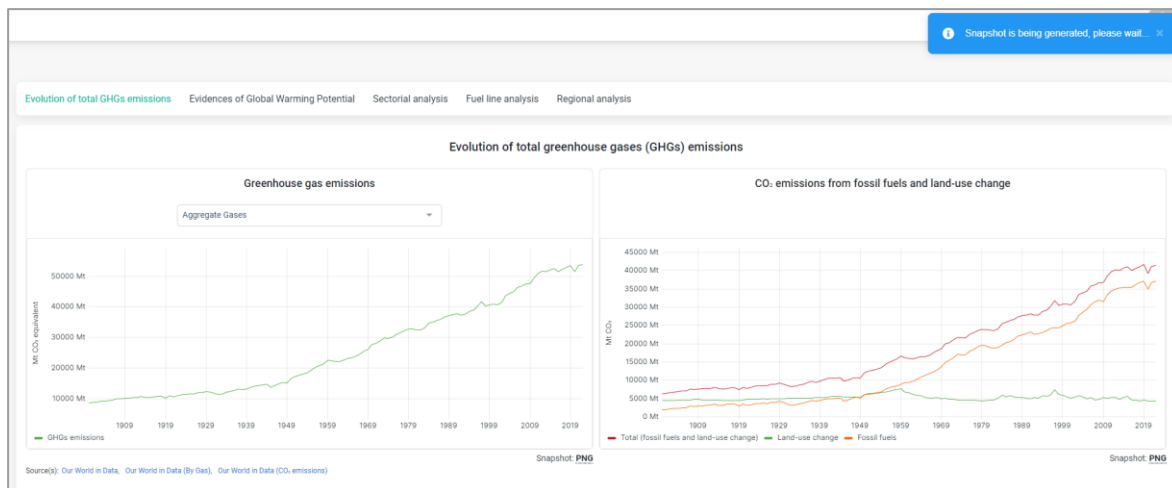


Figura 25 - Opção de *snapshot* de gráficos.

Como o *Grafana* não tem qualquer forma de exportar os painéis para uma imagem, foi encontrada uma solução que visasse resolver o problema. Após alguma análise, decidiu-se pela criação de uma rotina que recebe os parâmetros do painel que o utilizador gostaria de capturar e por sua vez, a rotina implementada no servidor abre uma janela do *browser* utilizando a ferramenta *Puppeteer* como se pode verificar na Listagem 10, onde realiza a captura, sendo que isto é completamente transparente para o utilizador.

Explicando um pouco melhor a Listagem 10, logo no início da função são obtidos alguns dados relevantes para a criação da *snapshot*, sendo estes o URL do painel que o utilizador pretende exportar a imagem, bem como o título do indicador para colocar como título da imagem. Após isto, é criada uma instância do *Puppeteer* e seguidamente é verificado o tipo de sistema operativo em que o *Laravel*, está a ser executado, isto porque dependendo do tipo de sistema operativo é necessário executar o *browser* para a realização da captura de forma diferente.

Após isto, o processo é trivialmente linear, é aberta uma nova página e definida o seu tamanho, e navega-se até ao à página do painel através do URL obtido anteriormente. Depois é só esperar que a página carregue para se realizar a captura e para devolver a imagem para o *frontend* é convertida para um *array* de caracteres.

```
public function getSnapshot(Request $request)
{
    $iframeUrl = $request->query('iframeUrl'); // Get the iframeUrl parameter from the
    query string
    $panelTitle = $request->query('panelTitle'); // Get the panelTitle parameter from the
    query string

    $puppeteer = new Puppeteer();

    //work on windows
```

```

$os = php_uname('s');

if(str_contains($os, 'Linux'))
{
    $browser = $puppeteer->launch([
        'executablePath' => '/usr/bin/google-chrome-stable',
        'args' => ['--no-sandbox', '--disable-setuid-sandbox'],
        'headless' => true,
    ]);
}
else
{
    $browser = $puppeteer->launch();
}

$page = $browser->newPage();

// Set the viewport size
$page->setViewport(['width' => 1800, 'height' => 550,]);

$page->goto($iframeUrl);

$page->waitForSelector('div.grafana-app', ['visible' => true]);
$page->waitForSelector('div.preloader', ['hidden' => true]);

$page->waitForSelector('[data-testid="uplot-main-div"]', ['visible' => true]);

$screenshot = $page->screenshot(['encoding' => 'base64']);

$browser->close();

// Decode the base64 image
$decodedImage = base64_decode($screenshot);
$screenshotImg = imagecreatefromstring($decodedImage);

// Create header
$headerHeight = 25; // Height of the header
$imgWidth = imagesx($screenshotImg);
$headerImg = imagecreatetruecolor($imgWidth, $headerHeight);
$white = imagecolorallocate($headerImg, 255, 255, 255);
$black = imagecolorallocate($headerImg, 0, 0, 0);
imagefilledrectangle($headerImg, 0, 0, $imgWidth, $headerHeight, $white);

$fontPath = storage_path('fonts/Roboto-Regular.ttf');
$panelTitle = str_replace(["_", "."], ["2", "4"], $panelTitle);
imagettftext($headerImg, 11, 0, 10, 20, $black, $fontPath, $panelTitle);

// Create final image with header and screenshot
$finalImg = imagecreatetruecolor($imgWidth, imagesy($screenshotImg) + $headerHeight);
imagefill($finalImg, 0, 0, $white); // Ensure the entire image is filled
imagecopy($finalImg, $headerImg, 0, 0, 0, 0, $imgWidth, $headerHeight);
imagecopy($finalImg, $screenshotImg, 0, $headerHeight + 5, 0, 2, $imgWidth,
imagesy($screenshotImg));

// Start output buffering to capture outputted image
ob_start();
imagepng($finalImg);
$finalImage = ob_get_clean();

imagedestroy($headerImg);
imagedestroy($screenshotImg);
imagedestroy($finalImg);

return response()->make($finalImage, 200, [
    'Content-Type' => 'image/png',
    'Content-Disposition' => 'inline',
]);
}

```

Listagem 10 - Rotina de exportação de *snapshots*.

5.3. Componente para testes automatizados e registos de interação

Após a implementação dos indicadores para o Mundo, mais uma vez foi necessário realizar testes para validar e verificar que a funcionalidade desenvolvida se encontrava em conformidade. Visto que uma funcionalidade interessante era possuir o registo de interações realizadas a plataforma, ao desenvolver o registo de interações acabou por se aproveitar este registo para a realização de testes mais direcionais e automatizados. Para tal, e como forma de automatizar os testes, decidiu-se que a plataforma, passaria a ter um *wizard*, como é possível observar na Figura 26, onde as questões dos testes iriam aparecer na página inicial para que o utilizador alvo, pudesse ser orientado.

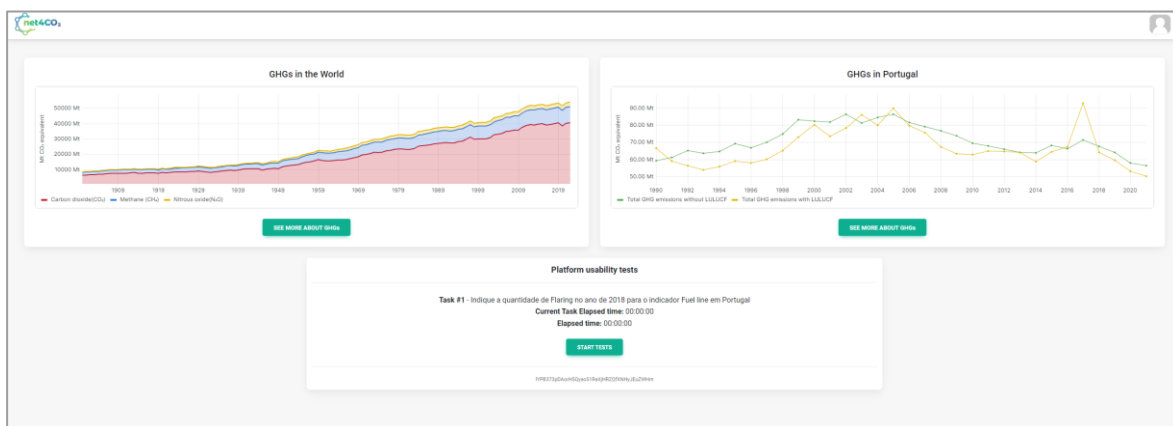


Figura 26 - Componente de testes automatizados.

Para a criação deste componente e da funcionalidade de registo de interações, foram criadas três tabelas, presentes na Figura 27. Descrevendo um pouco a função de cada tabela, a *manual_tests*, serve para criar os testes de forma dinâmica e para que estes não fiquem estáticos em código, podendo a qualquer altura alterar as questões dos testes sem a necessidade de alterar código e interromper o funcionamento da plataforma. Por sua vez, a *app_settings*, surge com a necessidade de o registo de interações não estar sempre ativa e do componente de testes, não estar sempre visível, como tal é uma tabela personalizável podendo guardar qualquer definição que se pretenda ter na aplicação. No entanto, aquando do desenvolvimento as duas definições presentes, são para fazer face às necessidades mencionadas anteriormente. Quanto à terceira tabela, *user_interaction_log*, é a tabela que detém todos os registos de interações dos utilizadores com a plataforma, sendo que cada utilizador é identificado anonimamente por um *session_id*, que se torna único por cada sessão.

manual_tests		app_settings		user_interaction_log	
id	bigint NN	id	bigint NN	id	bigint NN
test_id	varchar(50) NN	setting_name	varchar(50) NN	session_id	varchar(50) NN
description	varchar(1000) NN	setting_value	int NN	action	varchar(500) NN
order	int NN			task	varchar(1060)
				control_date	datetime NN

Figura 27 - Tabelas de testes e registo de interações.

Se o registo de interações estiver ativo, e o componente para a realização dos testes estiver visível, o utilizador poderá iniciar os testes, sendo que à medida que vai completando as tarefas terá a oportunidade de avançar para a próxima tarefa, sendo auxiliado pelo componente criado, visível na Figura 28.

Platform usability tests

Task #3 - Indique qual a quantidade de CO₂ para o setor Iron & Steel (process) no ano de 2011 em Portugal

Current Task Elapsed time: 00:01:01

Elapsed time: 00:01:27

CANCEL
NEXT TASK

SC9My4EiIKlPbBVC6mQt9oaA5VYV47j6yoMl4uk

Figura 28 - Componente de testes durante o uso.

Cada tarefa, é caracterizada por um identificador único, sendo que o tempo de cada tarefa é registado na base de dados, desde o seu início, bem como a sua finalização. O *session_id* torna-se imprescindível durante os testes, para posteriormente e apenas para a realização de testes guiados, se conseguir relacionar cada utilizador que fez os testes, com uma pessoa real, visto que os testes foram feitos num ambiente controlado com um grupo restrito e conhecido de utilizadores. Como é possível ver na Tabela 3, um utilizador iniciou os testes, seguidamente da tarefa 1, e pelo campo *control_date*, que regista a data em que cada iteração é executada, é visível que este levou cerca de 1 minuto e 27 segundos para concluir a tarefa, sendo que é possível ver ainda as ações realizadas, através do campo *action*. Através desta ferramenta de registo automático de ações, a análise de informação para os testes, foi facilitada no que toca à agilização de processos.

Tabela 3 - Registo de iterações dos utilizadores.

<i>id</i>	<i>sessions_id</i>	<i>action</i>	<i>task</i>	<i>control_date</i>
1	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	User has started the usability tests	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:40:25
2	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	Task - #1 started	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:40:25
3	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	User clicked on btn-see-more- about-ghgs-pt	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:41:07
4	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	User navigated to /ghgs/pt	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:41:07
5	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	User clicked on pt- sections-fuel-line- analysis	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:41:29
6	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	User clicked on app-path-home	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:41:47
7	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	User navigated to /	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:41:47
8	oM49ieHDuP2 xBwMrP9	Task Completed - #1	#1 - Indique a quantidade de Flaring no ano de 2018 para o indicador Fuel line em Portugal	2024-06-20 14:41:52

Todo o desenvolvimento da plataforma, teve em conta a necessidade de possuir uma plataforma responsiva, sendo que, como é possível ver na Figura 29, a mesma se adapta a qualquer resolução. No entanto, devido à dimensão dos gráficos, estes necessitam de uma barra de *scroll*, para serem visualizados.

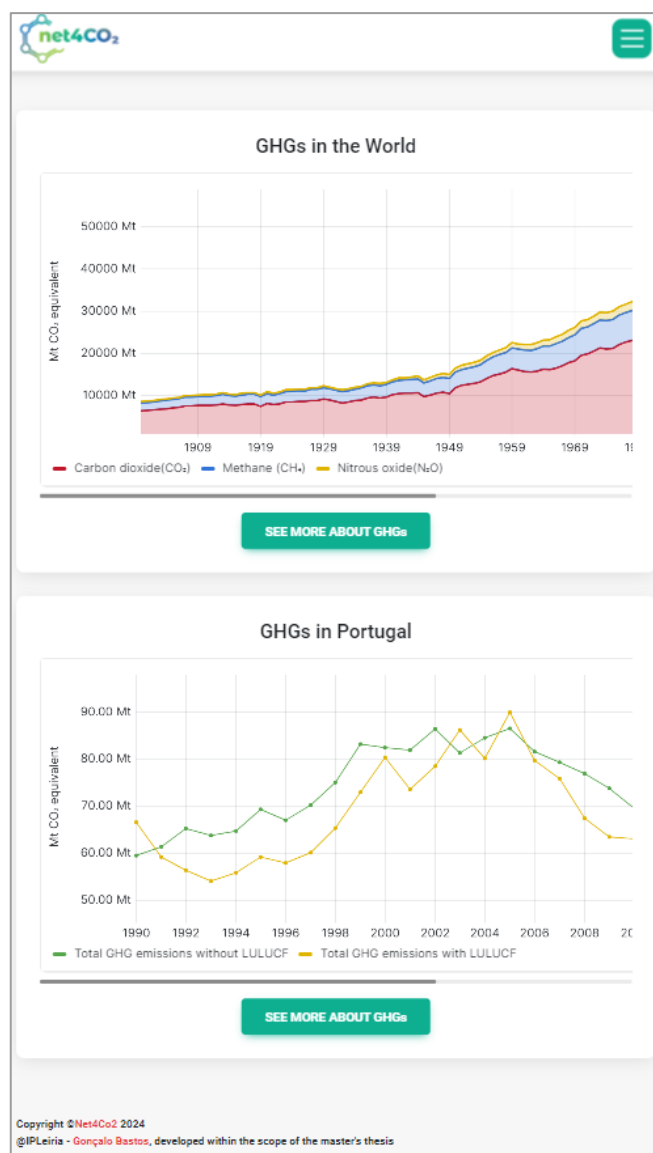


Figura 29 - Responsividade da plataforma.

A versão final da plataforma é apresentada no Anexo D, sendo possível ver o estado final à data da submissão do relatório.

6. Verificação e validação

Neste capítulo, é abordado o processo de verificação e validação da plataforma. Após a fase de implementação, é essencial garantir que a plataforma cumpra os requisitos definidos e que as funcionalidades desenvolvidas operam de forma eficaz e intuitiva. O processo de verificação e validação inclui a realização de testes de usabilidade, testes funcionais e testes de desempenho, com o objetivo de avaliar a robustez, a eficiência e a experiência do utilizador na interação com a plataforma. São descritos os métodos de teste utilizados, os resultados obtidos e as melhorias implementadas com base no *feedback* dos utilizadores. Este capítulo também apresenta uma análise crítica dos resultados dos testes, fornecendo uma visão clara sobre a adequação da plataforma às necessidades dos utilizadores e destacando as áreas que requerem melhorias adicionais.

6.1. Testes de usabilidade e observação direta da 1^o versão

Após finalizar a primeira versão da plataforma, e com todos os indicadores relativos a Portugal implementados, procedeu-se então à realização e recolha dos testes para as funcionalidades implementadas até à data. Como tal, foram feitos testes de observação direta e posteriormente foi feito um *Post-Study System Usability Questionnaire* (PSSUQ). Para tal foi necessário angariar voluntários para *beta testing*, sendo as suas características demográficas aquelas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características dos utilizadores para os testes da 1^o versão

	Idade	Género	Formação / Profissão
Utilizador 1	26	Feminino	Engenharia Química
Utilizador 2	34	Masculino	Economias e Gestão Ambiental
Utilizador 3	25	Masculino	Engenharia Química
Utilizador 4	28	Masculino	Engenharia Química
Utilizador 5	38	Feminino	<i>CO2 Utilization Team Leader</i>
Utilizador 6	27	Feminino	Engenharia Química
Utilizador 7	52	Feminino	Investigação Científica
Utilizador 8	26	Masculino	Engenharia do Ambiente

Os testes de observação direta consistiram na criação de um percurso que os utilizadores teriam de realizar. Nesse percurso definido, os utilizadores teriam de executar diversas tarefas de modo a abranger o maior número de funcionalidades existentes na aplicação, sendo que a lista de tarefas pedidas a cada utilizador encontra-se presente na Tabela 5 e os resultados dos testes encontram-se presentes no Anexo B.

Tabela 5 - Tarefas a realizar por utilizador para os testes da 1º versão.

Nº Tarefa	Descrição
Tarefa 1	Indique qual a quantidade de emissões por área para Portugal em 2014
Tarefa 2	Indique qual é a quantidade de emissões de CO2 com LULUCF para Portugal em 2019
Tarefa 3	Indique qual é a quantidade de N2O em Leiria para 2017
Tarefa 4	Através dos Indicadores principais, ou seja, a barra lateral esquerda, indique qual é a quantidade de emissões por Gross domestic product (GDP) em Portugal no último ano disponível
Tarefa 5	Faça login na plataforma
Tarefa 6	Importe dados para os Total GHGs evolution, em Portugal e de seguida para a União Europeia
Tarefa 7	Importe dados para o setor de transporte em Portugal
Tarefa 8	Importe dados para o gás CH4 em Portugal
Tarefa 9	Faça logout da plataforma

Para além disso, cada uma das tarefas foi posteriormente classificada tendo em conta os seguintes parâmetros:

- **Conseguiu** – Caso o utilizador conseguisse realizar a tarefa.
- **Tempo utilizado** – O tempo utilizado pelo utilizador para realizar a tarefa.
- **N.º Clicks errados** – Quantos *clicks* é que este efetuou de forma errada, antes de concluir a tarefa.
- **Seguiu o caminho esperado** – Se este seguiu o caminho previsto para a tarefa executada, sem se desviar por outras páginas ou por outros aspetos, não indo praticamente diretamente ao objetivo.

Sendo assim, e começando pela análise dos parâmetros mencionados anteriormente, verificou-se que apenas um utilizador não concluiu a tarefa 6, e se verificarmos a Figura 30

podemos ver que a tarefa que levou mais tempo a concluir foi a tarefa 6, isto porque a forma como estava estruturada a janela de importação de dados não era a melhor, verificando-se de que esta janela necessitava de reestruturação.

Para além disso, podemos verificar que o tempo por tarefa, apesar de começar com valores elevados, acabou por estabilizar na sua maioria, no que toca às tarefas de recolha de dados através dos painéis. Isto porque os utilizadores não tinham qualquer noção de como a plataforma funcionava, estando-se a ambientar à mesma à medida que iam realizando as tarefas. No entanto, com isto, verificou-se que poderia existir uma organização de indicadores um pouco diferente, por forma a facilitar a vida dos utilizadores na pesquisa de informação. Para além da tarefa 6, verificámos ainda que, das restantes tarefas que se referem à importação, a tarefa 8 voltou a ter os tempos elevados, comparada com a tarefa 7, isto porque como referido anteriormente existiam três tipos de janelas de importação diferentes, sendo que a tarefa 7 era a que continha tudo o que era referente à importação, dentro da janela para importar dados.

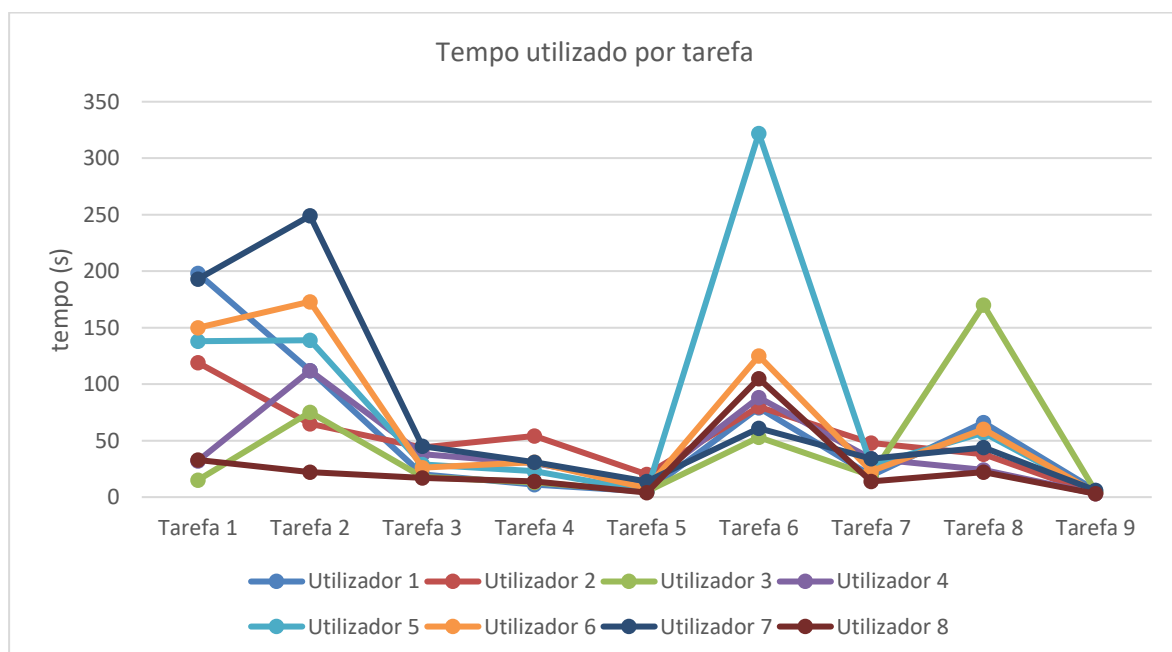


Figura 30 - Tempo utilizado por tarefa.

Quanto ao número de *clicks* errados, visível na Figura 31, praticamente todas as tarefas possuem, pois como dito anteriormente para além de inicialmente se estarem a ambientar, havia leituras erradas de certos painéis, e interações com painéis errados, daí verificar-se a necessidade de estrutura a plataforma de uma forma diferente para que um novo utilizador consiga chegar ao seu objetivo de leitura de uma forma mais rápida.

Para além disso, mais uma vez, verificámos que tanto a tarefa 6 como a tarefa 8, no que toca à importação, foram as únicas com *clicks* errados, face ao contraste que nos apresentou a tarefa 7 em que não houve qualquer *click* errado. Na tarefa 6, os *clicks* errados, foram provocados, pois os utilizadores possuíram alguma dificuldade em alterar a importação entre a *party* que se encontravam e a União Europeia, verificando-se uma necessidade de alteração com criação de uma janela de importação homogénea. Quanto à tarefa 8, este número de *clicks*, deveu-se primariamente ao facto dos filtros referentes ao gás a importar estarem fora e não dentro da janela de importação, levando mais uma vez a que esta janela sofresse uma alteração por forma a tornar-se mais homogénea.

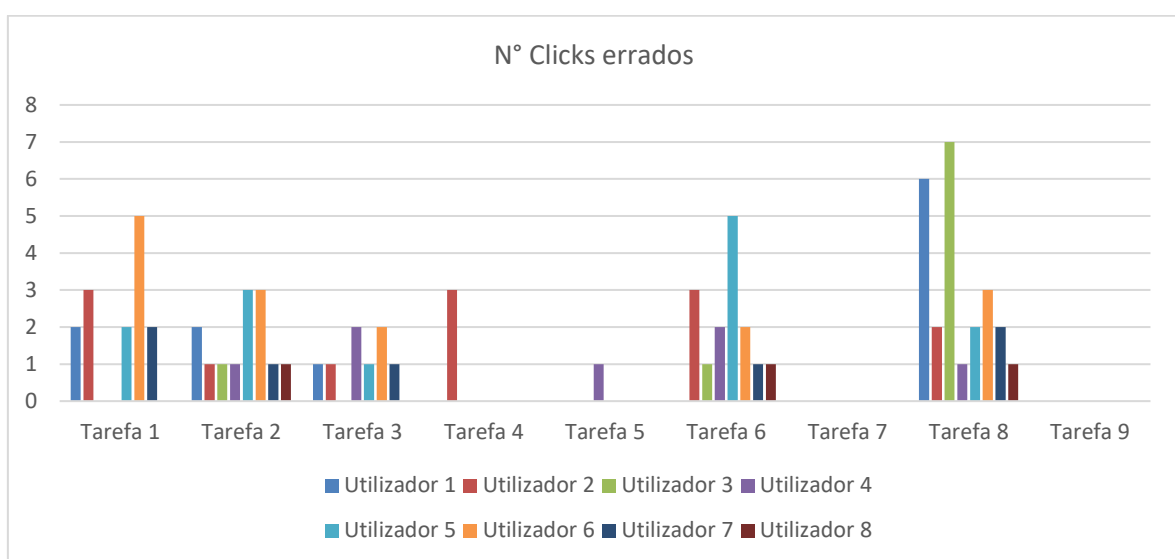


Figura 31 - Total de *clicks* errados por tarefa.

Quanto ao último parâmetro utilizado, presente na Figura 32, onde a vermelho se encontram os utilizadores que não seguiram o caminho esperado e a verde o oposto, praticamente todos os utilizadores seguiram o caminho esperado, no entanto, nas primeiras tarefas, é notório que há mais falhas, isto porque se estavam a ambientar à plataforma e para além disso, o gráfico que se encontra na página inicial da plataforma, induzia os utilizadores em erro, levando-os a pensar que teriam de extrair informação desse gráfico. Para além disso, a única tarefa de importação que acabou por ter um utilizador que não seguiu o caminho foi a 6, pois este acabou por não a concluir, devido à dificuldade em importar os dados para a União Europeia.

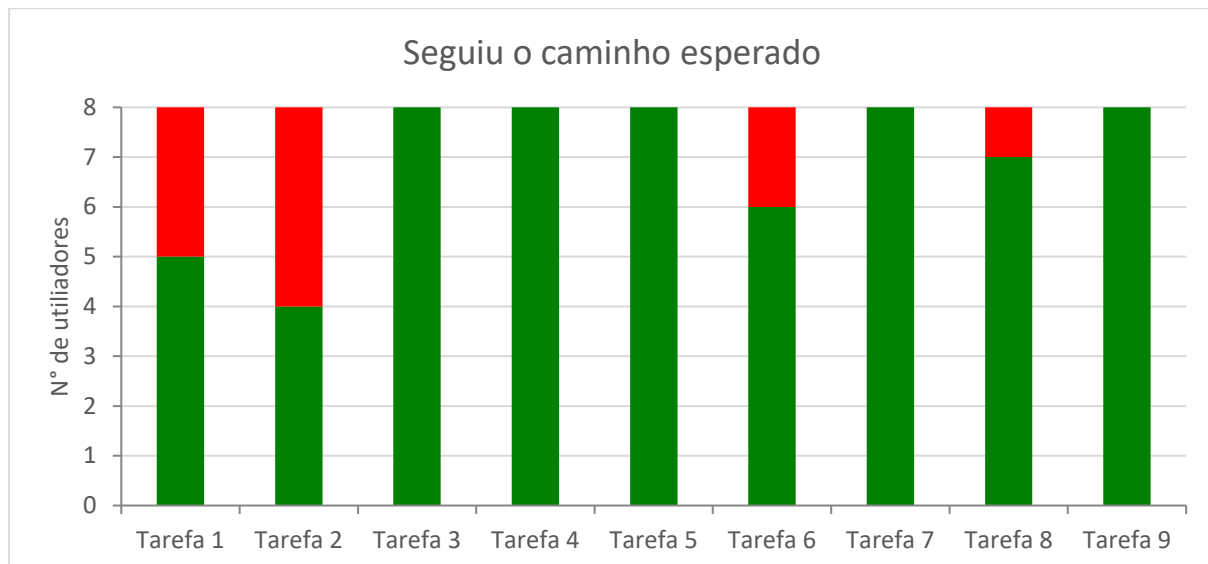


Figura 32 - Utilizador seguiu o caminho esperado nos 1º testes.

Feitos estes testes, foi dada a possibilidade de os utilizadores navegarem livremente pela plataforma durante cerca de trinta minutos para que depois pudessem responder ao PSSUQ, sendo que como era algo livre de responderem, nem todos os utilizadores o fizeram.

Com a recolha destes dados foi possível ver alguns comentários feitos no que toca ao funcionamento da plataforma, apesar de comentários positivos que acabam por ir de encontro a como a plataforma se encontrava construída, existiram também comentários com sugestões de alterações e que mais uma vez comprovam o que os resultados apresentados anteriormente, como é visível na Tabela 6, sugerem uma alteração à estrutura da plataforma de forma a que esta permita diminuir o ruído e chegar à informação necessário mais facilmente.

É visível ainda, que é sugerido também que a janela de importação como mencionado anteriormente para a tarefa 8, deveria de ser alterada pois o filtro do gás que se desejava importar estava colocado fora da janela de importação o que dificultava a interação. No entanto as respostas foram concordantes com o previsto, para o que foi desenvolvido, sendo possível analisar melhor os resultados presentes no Anexo C.

Tabela 6 - Comentários PSSUQ 1º versão

Pergunta	Resposta
Item 2 - Este sistema foi simples de utilizar.	Após entender a dinâmica de apresentação dos dados, ficou mais fácil de utilizar. Nem por isso, o utilizador é obrigado a ler a página inteira para localizar 1 gráfico. A interface devia estar construída para facilmente chegar à informação necessária. Algumas das opções são difíceis de reparar como a escolha dos gases a mostrar nos gráficos (ex. CO2, CH4, N2O).
Item 12 - Foi fácil encontrar a informação que precisava.	Acho que a forma como a informação está disposta pode ser melhorada para diminuir ruído e melhorar a target view dos dados.
Item 9 - O sistema deu mensagens de erros que me indicaram claramente como resolver os problemas.	Não cheguei a receber nenhuma mensagem de erro. Com relação à importação de dados, a janela de importação poderia ser mais fácil, principalmente com relação aos gases. Dar a opção de selecionar qual o gás das durante a importação (ou seja, na janela de importação) e não antes de começar o processo. A mesma coisa com a importação para os diferentes locais. No meu caso não tive mensagens de erros. Nunca me apareceram mensagens de erro.

Após a realização dos testes, verificou-se ainda que a página, por vezes, demorava a carregar os gráficos, isto porque, devido à integração com o *Grafana*, eram feitos milhares de pedidos à API do mesmo, sendo estes feitos automaticamente pelo painel para obter a informação necessária para o respetivo gráfico. Com o aumento dos gráficos por página, esta tornou-se um pouco lenta, sendo que, por vezes, chegava a demorar mais de 20 segundos a carregar completamente todos os gráficos. A solução encontrada, visto que não se tinha controle nos pedidos efetuados, foi criar o efeito de *lazy loading*. Isto é, os gráficos que são carregados inicialmente são os que o utilizador tem vivíveis no seu ecrã, e à medida que este vai dando *scroll* pela página, os restantes gráficos são carregados. Desta forma, os pedidos à API do *Grafana*, são significativamente reduzidas para meras centenas aumentando assim o desempenho da plataforma.

6.2. Testes de usabilidade e observação direta finais

Tal como referido anteriormente, para a segunda fase de testes foi utilizada a técnica de *process mining*, através dos dados recolhidos, quando um grupo de utilizadores restrito utilizou a plataforma. Esta recolha de dados foi feita automaticamente, através da funcionalidade implementada no ponto 5.3. Com estes dados, foi possível criar diagramas de frequência e de performance de forma a perceber o desempenho de cada tarefa e ao mesmo tempo avaliar pontos de melhoria. Para a realização destes testes, foram utilizados membros voluntários da equipa parceria, sendo as suas características demográficas apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Características dos utilizadores para os testes da versão final

	Idade	Género	Formação / Profissão
Utilizador 1	27	Feminino	Engenharia Química
Utilizador 2	31	Masculino	Engenharia Química
Utilizador 3	27	Feminino	Engenharia Química
Utilizador 4	26	Masculino	Engenharia Química
Utilizador 5	34	Masculino	Economista ambiental
Utilizador 6	24	Masculino	Engenharia Química
Utilizador 7	23	Feminino	Engenharia Química
Utilizador 8	39	Feminino	<i>CO2 Utilization Team Leader</i>
Utilizador 9	24	Feminino	Engenharia Química
Utilizador 10	30	Feminino	Biotecnologia
Utilizador 11	33	Feminino	Engenharia Química

Os testes de observação direta para esta versão da plataforma, seguiram a mesma linha de pensamento que os anteriores, ou seja, consistiram na criação de um percurso que os utilizadores teriam de realizar e nesse mesmo percurso, teriam de executar diversas tarefas de modo a abranger o maior número de funcionalidades existentes na aplicação, sendo que a lista de tarefas pedidas a cada utilizador encontra-se presente na Tabela 8.

Tabela 8 - Tarefas a realizar por utilizador para os testes da versão final.

Nº Tarefa	Descrição
Tarefa 1	Indique a quantidade de <i>Flaring</i> no ano de 2018 para o indicador <i>Fuel line</i> em Portugal
Tarefa 2	Através do mapa das regiões de Portugal, para o ano de 2017 e para o gás N ₂ O qual seria o intervalo de kton esperado para a região da Figueira da Foz
Tarefa 3	Indique qual a quantidade de CO ₂ para o setor <i>Iron & Steel (process)</i> no ano de 2011 em Portugal
Tarefa 4	Indique a quantidade de CO ₂ e CH ₄ no dia 18-03-2019 no Mundo
Tarefa 5	Descarregue uma <i>snapshot</i> do gráfico dos setores relativo ao mundo, onde devem de constar os <i>Aggregated GHGs</i> com uma visualização de <i>Stacked areas</i>
Tarefa 6	Usando a barra lateral esquerda no Mundo, indique as 3 regiões que mais emissões fazem atualmente
Tarefa 7	Faça Login na plataforma
Tarefa 8	Importe dados para o indicador <i>Regional analysis</i> do Mundo, para a categoria <i>Cumulative</i>
Tarefa 9	Em Portugal importe dados para o indicador <i>Emissions per GDP</i> para a União Europeia
Tarefa 10	No Mundo, importe dados para o indicador <i>CO₂ emissions from fossil fuels and land-use change</i>
Tarefa 11	Faça Logout

Posto isto, serão apresentados os diagramas de frequência e desempenho de duas tarefas, sendo uma delas, com um resultado melhor e outra com um resultado menos bom, relativamente ao que era esperado que o utilizador realizasse. Os restantes diagramas estão visíveis no Anexo F.

Sendo assim, e começando pela tarefa cujo resultado foi melhor, indo ao encontro do esperado, a tarefa 3. Começando então pela análise do diagrama de frequência, visível na Figura 33, apesar de parecer que tem várias ramificações comparativamente a outras tarefas, trata-se de uma das primeiras tarefas, e conseqüentemente os utilizadores não estavam habituados à plataforma. Para além disso é notório que a maioria dos utilizadores seguiu as linhas mais grossas, sendo estas a do caminho esperado ou caminho ideal. Isto mostra que

imensos ciclos repetidos, demonstrando confusão e dando um pouco a sensação de que estão perdidos. No entanto, verificamos também que existe um ponto de convergência, em que os utilizadores na sua maioria são concordantes acabando posteriormente por finalizar a tarefa. Com isto, podemos concluir que existe espaço para melhorar os passos, especialmente nas partes do diagrama onde há muitos desvios e *loops*, para tornar o processo mais direto e reduzir o tempo necessário para alcançar o objetivo.

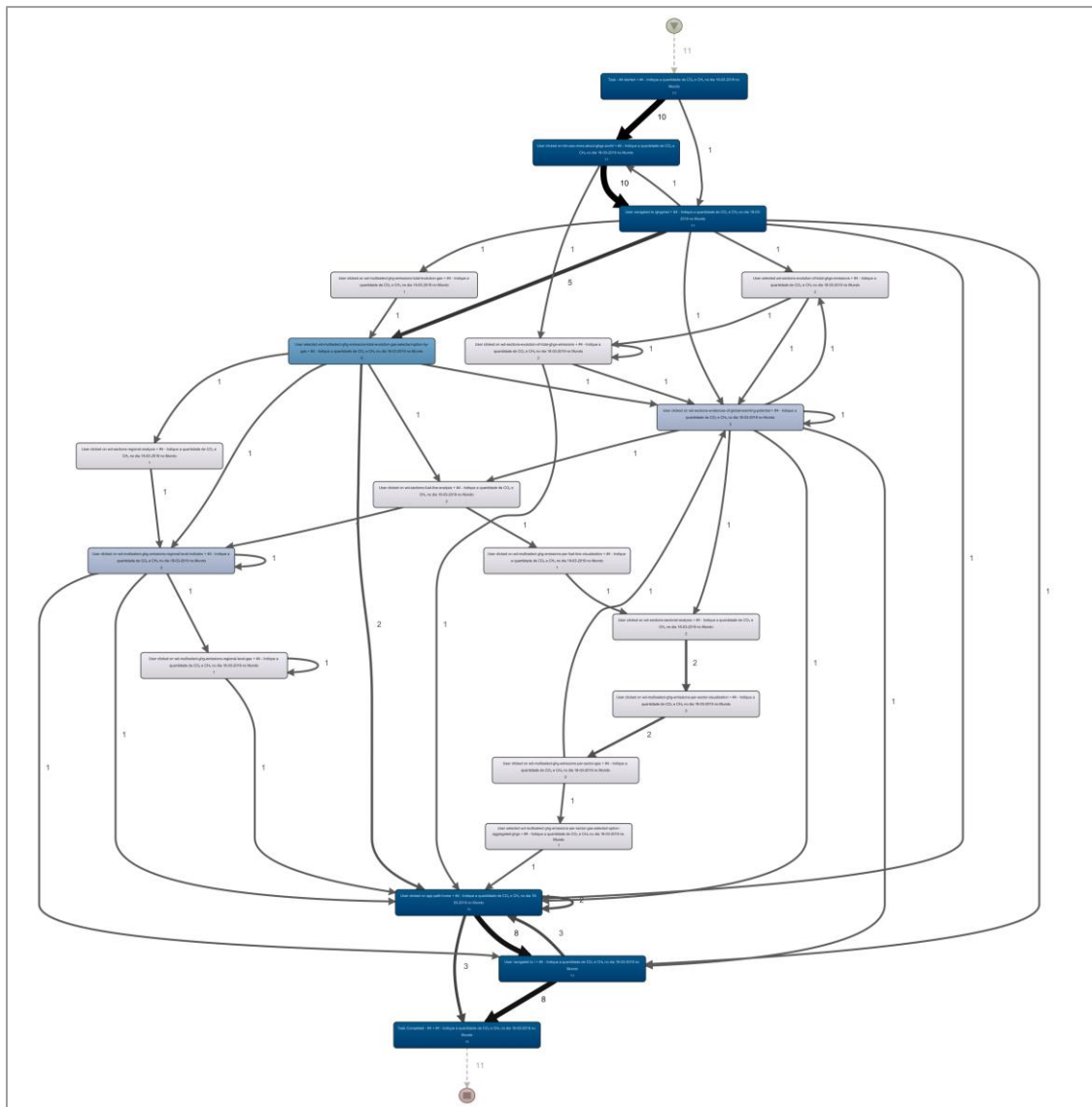


Figura 35 - Diagrama de frequência tarefa 4.

Analisando ainda o gráfico de desempenho para a tarefa 4, presente na Figura 36, verificamos o que foi dito anteriormente, apesar do ponto de convergência existente, é notório que os caminhos usados para chegar ao ponto de convergência foram extremamente altos para uma tarefa que no seu máximo deveria de demorar 15-20 segundos, para retirar a leitura através do gráfico. Com isto, existe claramente espaço para a otimização destes

tempos, nem que seja para que os caminhos alternativos usados, sejam eles também mais eficazes reduzindo assim o tempo total de execução da tarefa.

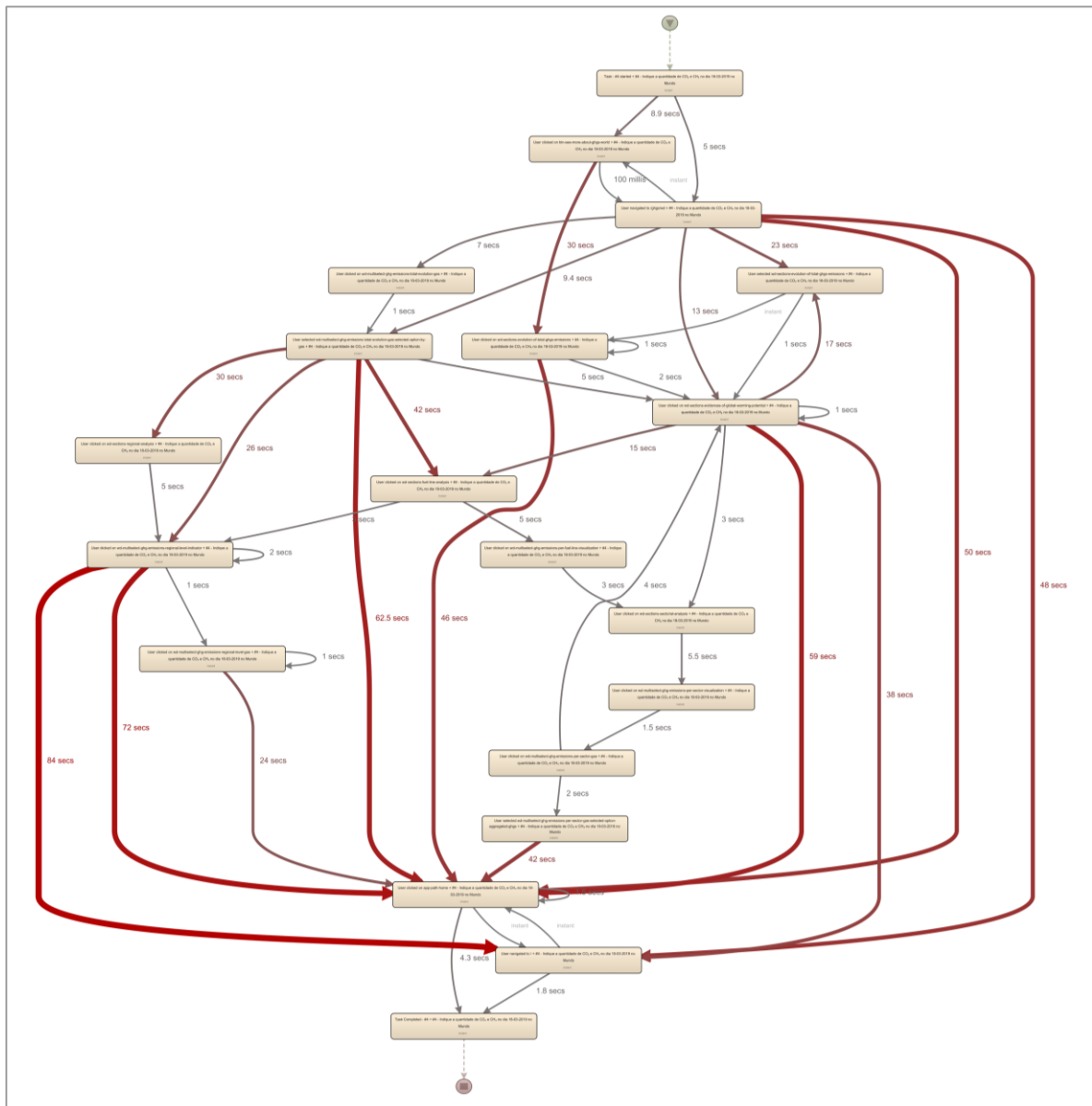


Figura 36 - Diagrama de desempenho tarefa 4.

Concluindo, apesar de existirem gráficos em que o resultado possa parecer melhor do que o demonstrado, o objetivo da plataforma é a leitura de dados, portanto as tarefas com melhor desempenho, por exemplo descarregar uma *snapshot* ou fazer *login e logout*, são tarefas que pouco dizem relativamente ao funcionamento e construção da plataforma. Para além disso, podemos ainda retirar que dos 11 testes realizados, na sua maioria vão pelo denominado “caminho feliz” indicando que de uma forma geral a arquitetura e a interface se encontram bem desenhadas e construídos, havendo sempre claro, espaço para otimizações e melhoramentos.

Para além dos resultados obtidos através do *process mining*, foi ainda realizado um inquérito de PSSUQ onde os utilizadores responderam a algumas questões sobre o uso da plataforma. Os resultados encontram-se presentes no Anexo E, sendo que na sua grande maioria, os comentários foram positivos e concordantes, no entanto, é necessário realçar que um dos utilizadores que respondeu ao inquérito, se enganou e, portanto, existem respostas com o valor de 6 (Discordo) e 7 (Discordo Totalmente) que são espelhadas para os seus respetivos valores, 2 (Concordo) e 1 (Concordo Totalmente). Podemos ainda verificar que para além de concordantes, existem comentários que indicam que há espaço para melhorar, como é visível Tabela 9, os mesmos indicam que certas informações não estão tão acessíveis como o esperado.

Tabela 9 - Pontos a melhorar, PSSUQ testes finais

Pergunta	Resposta
Item 1 - Em geral, estou satisfeito com a facilidade de utilização deste sistema	Sim
Item 2 - Este sistema foi simples de utilizar.	Sim
Item 4 - Consegui completar rapidamente as tarefas e cenários utilizando este sistema.	Nem sempre à primeira.
Item 14 - A informação foi eficaz para me ajudar a completar as tarefas e os cenários.	Uma barra de procura de secções ajudaria a encontrar a informação com mais facilidade.

No entanto, é necessário compreender também que nem sempre é possível agradar a todos utilizadores e como tal é necessário ter um sistema uniformizado capaz de se adaptar ao máximo de situações possíveis.

7. Conclusões e trabalho futuro

O desenvolvimento da plataforma CO2 Dashboard teve como principal motivação a necessidade crescente de monitorização e análise das emissões de GHGs em Portugal, num contexto em que a transição para uma economia de baixas emissões é uma prioridade nacional e internacional. O objetivo foi criar uma ferramenta centralizada, eficiente e escalável, capaz de agregar dados de emissões de GHGs, facilitar a sua análise detalhada, e apoiar decisores políticos e investigadores no acompanhamento do progresso da descarbonização.

A plataforma foi concebida com base numa arquitetura modular e flexível, utilizando tecnologias como *Grafana* para visualização de dados, *Vue* para o *frontend*, e *Laravel* para o *backend*. Foram desenvolvidas cinco funcionalidades principais, que incluem a criação de filtros interativos para visualização de dados de emissões, múltiplos tipos de visualização (gráficos de barras, linhas, dispersão, mapas interativos), importação de dados através de ficheiros, integração com APIs externas, bem como a exportação de resultados. Estas funcionalidades garantem que a plataforma é adaptável a diferentes perfis de utilizadores.

Durante o desenvolvimento da plataforma, foram realizados testes de usabilidade e testes observação direta com diversos utilizadores, num total de trinta e oito testes realizados, o que permitiu identificar áreas de melhoria, principalmente na interface de utilizador e na organização dos painéis. Apesar da robustez da estrutura inicial, havia margem para otimizações significativas na interface, particularmente no que diz respeito à navegabilidade e ao excesso de informação apresentado em certos painéis. Para resolver essas questões, foi feita uma reestruturação da janela de importação de dados e dos indicadores, o que resultou numa experiência mais intuitiva e eficiente para o utilizador final.

A integração de mecanismos de importação de dados através de APIs externas introduziu um nível elevado de automatização do processo de atualização de dados. Isto foi particularmente útil no contexto de indicadores globais, onde a atualização contínua é essencial para garantir a relevância da análise.

O *feedback* recolhido ao longo do projeto, destacou igualmente a importância de ferramentas de filtragem eficazes e de uma interface simplificada. A implementação de novos filtros mais detalhados e a capacidade de alternar entre diferentes modos de visualização permitiram que

a plataforma atendesse tanto a utilizadores que necessitam de análises mais técnicas como a utilizadores que precisam de uma perspetiva mais geral. Relativamente ao desempenho, a plataforma demonstrou ser altamente escalável, com capacidade para lidar com um volume crescente de dados sem comprometer a sua funcionalidade.

A escolha do *Grafana* como principal ferramenta de visualização de dados revelou-se acertada, não apenas pelo seu custo-benefício, mas também pela sua capacidade de integração com múltiplas fontes de dados, o que garantiu a flexibilidade necessária para adaptar a plataforma às exigências futuras.

Com base nos resultados obtidos até agora, o trabalho futuro da plataforma foca-se em várias direções, cada uma com o objetivo de garantir a sua continuidade, evolução e ampliação:

1. Ações de formação e transferência de conhecimento: A curto prazo, serão realizadas ações de formação para garantir que os utilizadores e administradores da plataforma estejam plenamente capacitados para utilizar todas as funcionalidades disponíveis. Estas formações serão essenciais para maximizar o potencial da plataforma e garantir a sua utilização eficiente. Além disso, a transferência de conhecimento técnico para as equipas responsáveis pela sua manutenção será crucial para assegurar a continuidade e evolução da plataforma. Em termos de documentação, serão criados manuais de utilização, bem como vídeos explicativos.
2. Inclusão de mais fontes de dados: A plataforma poderá beneficiar da inclusão de mais fontes de dados, nomeadamente relacionadas com setores económicos específicos e fontes de dados globais. A inclusão de mais dados permitirá uma análise mais detalhada e contextualizada das emissões de GHGs, fornecendo uma base de dados mais rica e completa para investigadores e decisores. A continuação da automatização do processo de recolha de dados através de APIs externas também será uma prioridade, garantindo que a plataforma permanece atualizada com o mínimo de intervenção manual.
3. Capacidades Preditivas: Uma das áreas mais promissoras para o futuro da plataforma é o desenvolvimento de funcionalidades preditivas. Utilizando dados históricos e técnicas de *machine learning*, a plataforma poderá fornecer previsões sobre tendências de emissões de GHGs, ajudando a antecipar potenciais desafios e a formular estratégias de mitigação mais eficazes.

O trabalho desenvolvido já deu origem a um artigo científico [31], já aceite na conferência *Artis 2024 - International Conference on Advanced Research in Technologies, Information, Innovation and Sustainability* [32]. A sua apresentação será em outubro entre os dias 21 e 23. No entanto, à data da entrega do relatório, ainda não se encontra publicado.

Concluindo, este projeto atinge todos os objetivos inicialmente delineados, fornecer uma plataforma centralizada e eficaz para a monitorização e análise das emissões de GHGs, sendo algo inovador em Portugal. Contudo, como qualquer projeto tecnológico em constante evolução, será fundamental continuar a recolher e incorporar *feedback* dos utilizadores e proceder aos ajustamentos necessários para assegurar que a plataforma mantém a sua relevância e utilidade.

O trabalho futuro poderá centrar-se na implementação de análises mais avançadas e no incremento da automação dos processos, reforçando assim a capacidade da plataforma para apoiar a transição para uma economia de baixas emissões.

Bibliografia

- [1] «The Paris Agreement | UNFCCC». Acedido: 22 de Julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- [2] A. Mikhaylov, N. Moiseev, K. Aleshin, e T. Burkhardt, «Global climate change and greenhouse effect», *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, vol. 7, n. 4, pp. 2897–2913, Fev. 2020, doi: 10.9770/JESI.2020.7.4(21).
- [3] N. Johnson, M. L. Druckenmiller, F. Danielsen, e P. L. Pulsifer, «The Use of Digital Platforms for Community-Based Monitoring», *Bioscience*, vol. 71, n. 5, pp. 452–466, Mai. 2021, doi: 10.1093/BIOSCI/BIAA162.
- [4] «NET4CO2 – Network for a Sustainable CO2 Economy». Acedido: 25 de Julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.net4co2.pt/>
- [5] D. Y. Ahn, D. L. Goldberg, T. Coombes, G. Kleiman, e S. C. Anenberg, «CO2 emissions from C40 cities: citywide emission inventories and comparisons with global gridded emission datasets», *Environmental Research Letters*, vol. 18, n. 3, p. 034032, Fev. 2023, doi: 10.1088/1748-9326/ACBB91.
- [6] F. De Paola *et al.*, «Measuring Atmospheric CO2 for Accelerating the Low-Carbon Transition in Cities: Origins.earth, from Paris to Italy», *Environmental Sciences Proceedings 2022, Vol. 21, Page 88*, vol. 21, n. 1, p. 88, Jan. 2023, doi: 10.3390/ENVIRONSCIPROC2022021088.
- [7] D. C. Popa *et al.*, «A Platform for GHG Emissions Management in Mixed Farms», *Agriculture (Switzerland)*, vol. 14, n. 1, p. 78, Jan. 2024, doi: 10.3390/AGRICULTURE14010078/S1.
- [8] J. Svensson *et al.*, «A low GHG development pathway design framework for agriculture, forestry and land use», *Energy Strategy Reviews*, vol. 37, p. 100683, Set. 2021, doi: 10.1016/J.ESR.2021.100683.
- [9] C. D. Coimbra Soares, «Integration, calculation, and visualisation of CO2 emissions data», 2023. Acedido: 6 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://folia.unifr.ch/global/documents/326847>
- [10] B. Dan, «An Interactive Dashboard: Building Energy Efficiency Justice Analysis in New York City», 2022, doi: 10.7916/183H-QX20.
- [11] B. Soni e J. Vachhani, «Design And Development of Tools and Dashboard for Climate Policy Center», *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, R10-HTC*, pp. 804–810, 2023, doi: 10.1109/R10-HTC57504.2023.10461928.

-
- [12] L. Jiang, Y. Gu, W. Yu, e J. Dai, «A Blockchain-Based Greenhouse Gas Emission Tracking System (Gets) for Climate-Related Disclosures», doi: 10.2139/SSRN.4804018.
- [13] E. Cochran Hameen, K. Kurland Ellyn Lester, e V. Loftness Peter Scupelli, «A 4D Interactive Carbon Emissions Dashboard: A Visualization and Assessment Tool for Urban Building Environmental Impact.», Jul. 2024, doi: 10.1184/R1/26097304.V1.
- [14] «Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party». Acedido: 24 de Fevereiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party
- [15] «Our World in Data». Acedido: 24 de Fevereiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://ourworldindata.org/>
- [16] «Home - Eurostat». Acedido: 27 de Fevereiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/>
- [17] «Climate Change - NASA Science». Acedido: 5 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://science.nasa.gov/climate-change/>
- [18] «Climate Data for Action | Climate Watch | Emissions and Policies». Acedido: 5 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/>
- [19] «Climate Change Indicators Dashboard». Acedido: 5 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://climatedata.imf.org/>
- [20] «Carbon monitor». Acedido: 5 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://carbonmonitor.org/>
- [21] «World Resources Institute | Making Big Ideas Happen». Acedido: 5 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wri.org/>
- [22] «What is Scrum? | Scrum.org». Acedido: 7 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.scrum.org/learning-series/what-is-scrum/>
- [23] «Scrum Guide | Scrum Guides». Acedido: 7 de Junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>
- [24] «Top 10 best front end frameworks in 2024». Acedido: 5 de Setembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.imaginarycloud.com/blog/best-frontend-frameworks>
- [25] «Top 10 Backend Frameworks in 2024 | by Rahul B | Medium». Acedido: 5 de Setembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://medium.com/@talktorahul.b/top-10-backend-frameworks-in-2024-33da4269da39>

- [26] «How to embed Grafana dashboards into web applications | Grafana Labs». Acedido: 9 de Março de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://grafana.com/blog/2023/10/10/how-to-embed-grafana-dashboards-into-web-applications/>
- [27] «Run Grafana behind a reverse proxy | Grafana Labs». Acedido: 24 de Março de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://grafana.com/tutorials/run-grafana-behind-a-proxy/>
- [28] «PHP: PHP Manual - Manual». Acedido: 24 de Março de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.php.net/manual/en/>
- [29] «io238/laravel-iso-countries». Acedido: 25 de Março de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://github.com/io238/laravel-iso-countries>
- [30] «Geomap | Grafana documentation». Acedido: 25 de Março de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/panels-visualizations/visualizations/geomap/>
- [31] G. Bastos, R. Martinho, S. Ferrão, R. Martinho, e H. Matias, «GHG Web Portal Dashboard: a scalable and flexible digital platform for efficient environmental monitoring», Out. 2024 - Aceite e a aguardar publicação
- [32] «Artiis - International Conference on Advanced Research in Technologies, Information, Innovation and Sustainability». Acedido: 21 de Setembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.artiis.org/about>

Anexos

Anexo A. 1º versão da plataforma

A primeira versão da plataforma encontra-se presente nas seguintes figuras.

Na Figura 37, é possível ver como ficou a página inicial da plataforma após terminar a primeira versão da plataforma.

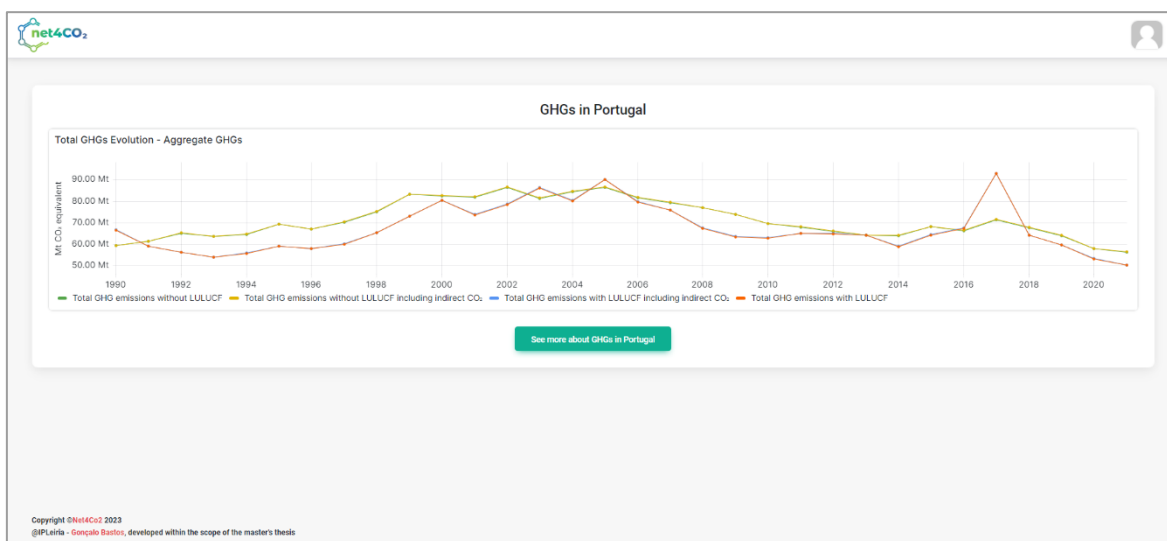


Figura 37 - Página inicial da plataforma, após a finalização da 1º versão.

Através da Figura 38, Figura 39, e Figura 40, é possível ver em detalhe os indicadores implementados para Portugal, bem como os painéis com os dados relativos ao último ano de informação presentes na barra afixada na parte esquerda da página.

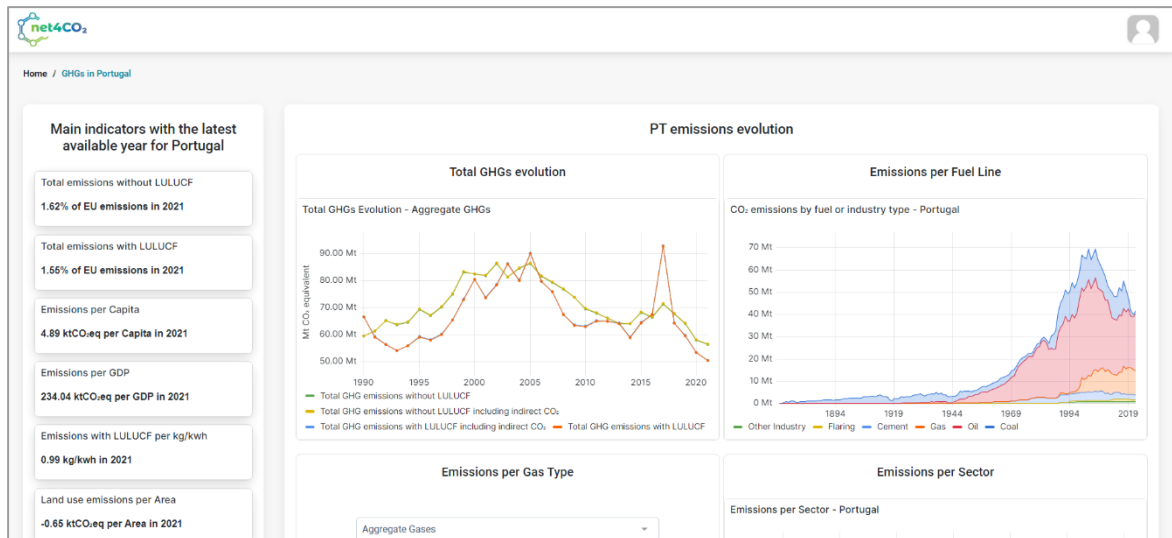


Figura 38 - Página de Portugal após finalização da 1^o versão – primeiros indicadores.

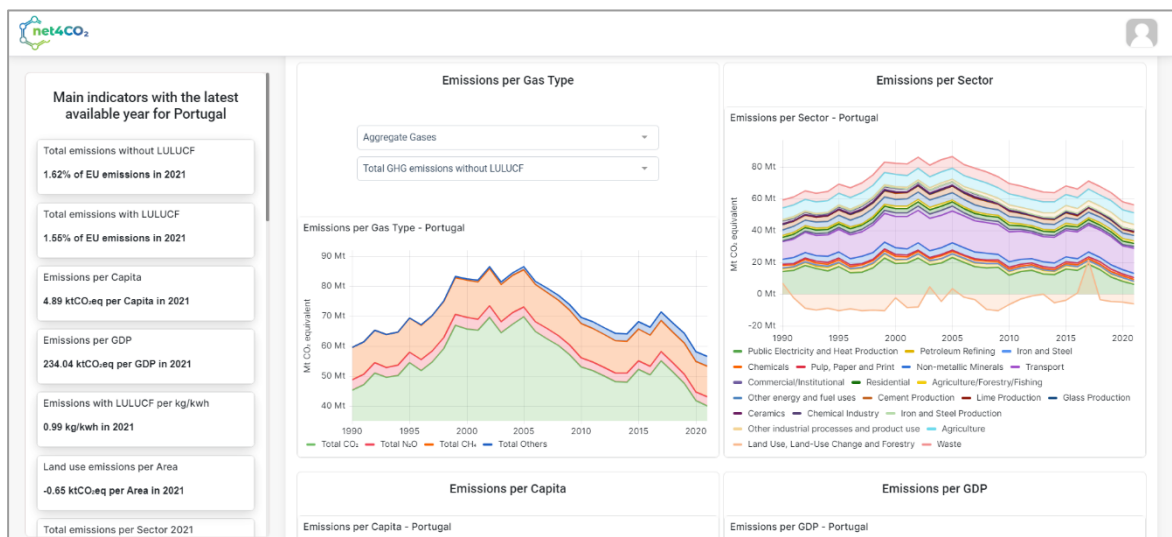


Figura 39 - Página de Portugal após finalização da 1^o versão – segundos indicadores.

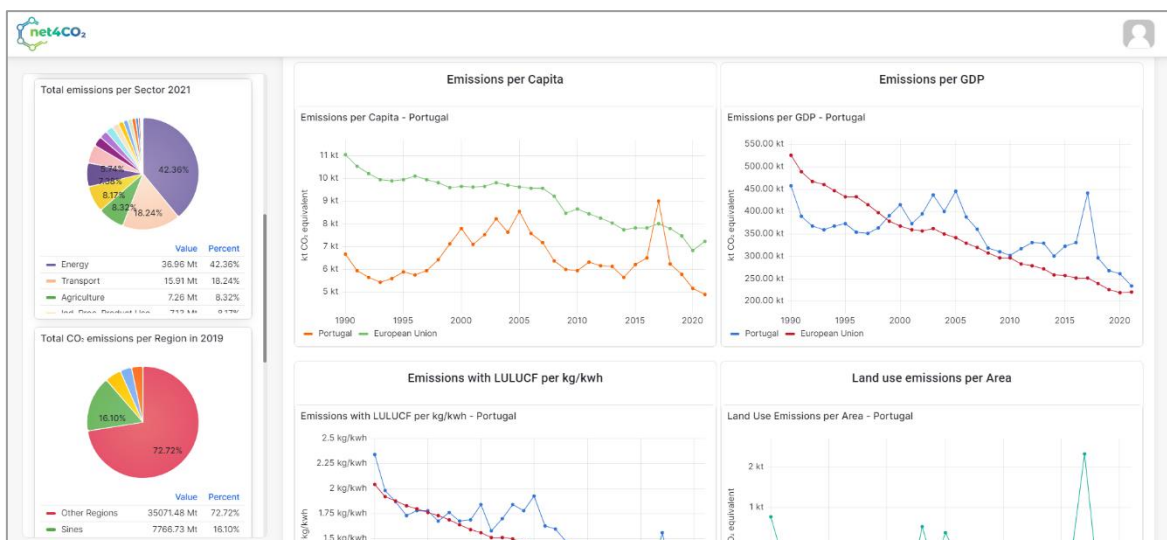


Figura 40 - Página de Portugal após finalização da 1º versão – terceiros indicadores.

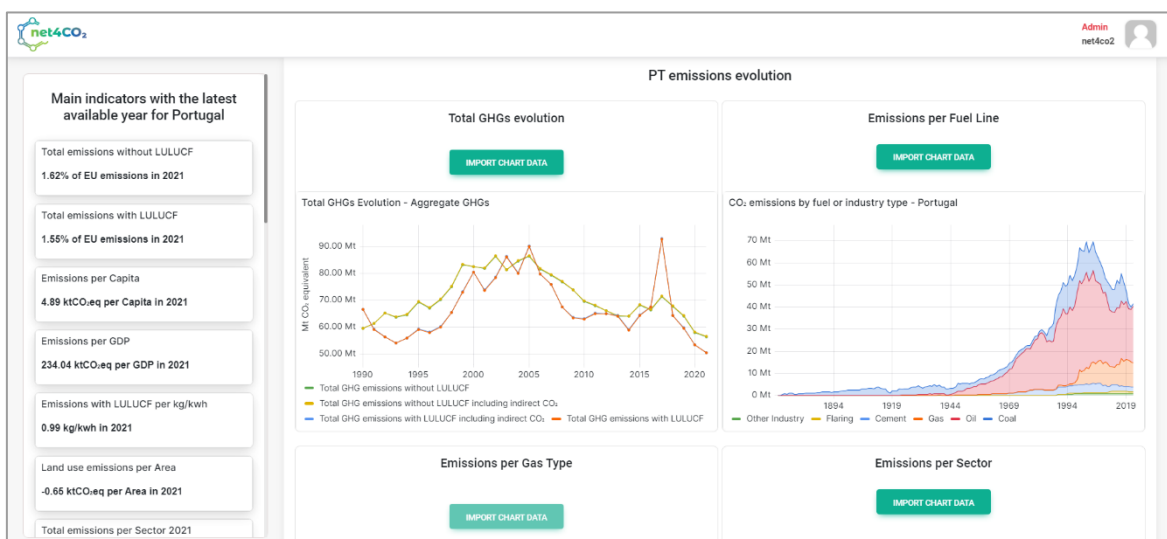


Figura 41 - Página de Portugal com possibilidade após finalização da 1º versão.

Anexo B. Resultados dos testes de observação direta 1º versão

Na Tabela 10 são visíveis os resultados dos testes, após a finalização da primeira versão da plataforma.

Tabela 10 - Resultados testes de observação direta 1º versão

Tarefa 1 - Indique qual a quantidade de emissões por área para Portugal em 2014				
	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	198	2	1
Utilizador 2	1	119	3	0
Utilizador 3	1	15	0	1

Utilizador 4	1	32	0	1
Utilizador 5	1	138	2	0
Utilizador 6	1	150	5	0
Utilizador 7	1	193	2	1
Utilizador 8	1	33	0	1

Tarefa 2 - Indique qual é a quantidade de emissões de CO2 com LULUCF para Portugal em 2019

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	112	2	1
Utilizador 2	1	65	1	1
Utilizador 3	1	75	1	0
Utilizador 4	1	112	1	0
Utilizador 5	1	139	3	0
Utilizador 6	1	173	3	0
Utilizador 7	1	249	1	1
Utilizador 8	1	22	1	1

Tarefa 3 - Indique qual é a quantidade de N2O em Leiria para 2017

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	20	1	1
Utilizador 2	1	44	1	1
Utilizador 3	1	18	0	1
Utilizador 4	1	38	2	1
Utilizador 5	1	29	1	1
Utilizador 6	1	26	2	1
Utilizador 7	1	45	1	1
Utilizador 8	1	17	0	1

Tarefa 4 - Através dos Indicadores principais, ou seja, a barra lateral esquerda, indique qual é a quantidade de emissões por *Gross domestic product* (GDP) em Portugal no último ano disponível

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	11	0	1
Utilizador 2	1	54	3	1
Utilizador 3	1	13	0	1
Utilizador 4	1	30	0	1
Utilizador 5	1	23	0	1
Utilizador 6	1	31	0	1
Utilizador 7	1	31	0	1
Utilizador 8	1	14	0	1

Tarefa 5 - Faça login na plataforma

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	5	0	1
Utilizador 2	1	20	0	1
Utilizador 3	1	5	0	1
Utilizador 4	1	12	1	1
Utilizador 5	1	5	0	1
Utilizador 6	1	8	0	1
Utilizador 7	1	14	0	1
Utilizador 8	1	4	0	1

Tarefa 6 - Importe dados para os Total GHGs evolution, em Portugal e de seguida para a União Europeia

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	79	0	1
Utilizador 2	1	80	3	1
Utilizador 3	1	53	1	1
Utilizador 4	1	88	2	1
Utilizador 5	0	322	5	0
Utilizador 6	1	125	2	0
Utilizador 7	1	61	1	1
Utilizador 8	1	105	1	1

Tarefa 7 - Importe dados para o setor de transporte em Portugal

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	19	0	1
Utilizador 2	1	48	0	1
Utilizador 3	1	19	0	1
Utilizador 4	1	34	0	1
Utilizador 5	1	28	0	1
Utilizador 6	1	23	0	1
Utilizador 7	1	34	0	1
Utilizador 8	1	14	0	1

Tarefa 8 - Importe dados para o gás CH4 em Portugal

	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	66	6	1
Utilizador 2	1	38	2	1
Utilizador 3	1	170	7	0
Utilizador 4	1	24	1	1
Utilizador 5	1	57	2	1
Utilizador 6	1	60	3	1

Utilizador 7	1	44	2	1
Utilizador 8	1	22	1	1
Tarefa 9 - Faça logout da plataforma				
	Conseguiu	Tempo (s)	Nº Click Errados	Seguiu o caminho esperado
Utilizador 1	1	6	0	1
Utilizador 2	1	3	0	1
Utilizador 3	1	5	0	1
Utilizador 4	1	3	0	1
Utilizador 5	1	4	0	1
Utilizador 6	1	4	0	1
Utilizador 7	1	6	0	1
Utilizador 8	1	3	0	1

Anexo C. Respostas PSSUQ 1º versão testes

O documento encontra-se disponível em [Post-Study System Usability \(Respostas\).xlsx](#), devido ao seu elevado tamanho.

Anexo D. Versão final

Presente na Figura 42, encontra-se a página inicial da plataforma, depois de finalizada a sua versão final, onde é possível ver dois cartões, um para o Mundo e outro para Portugal.

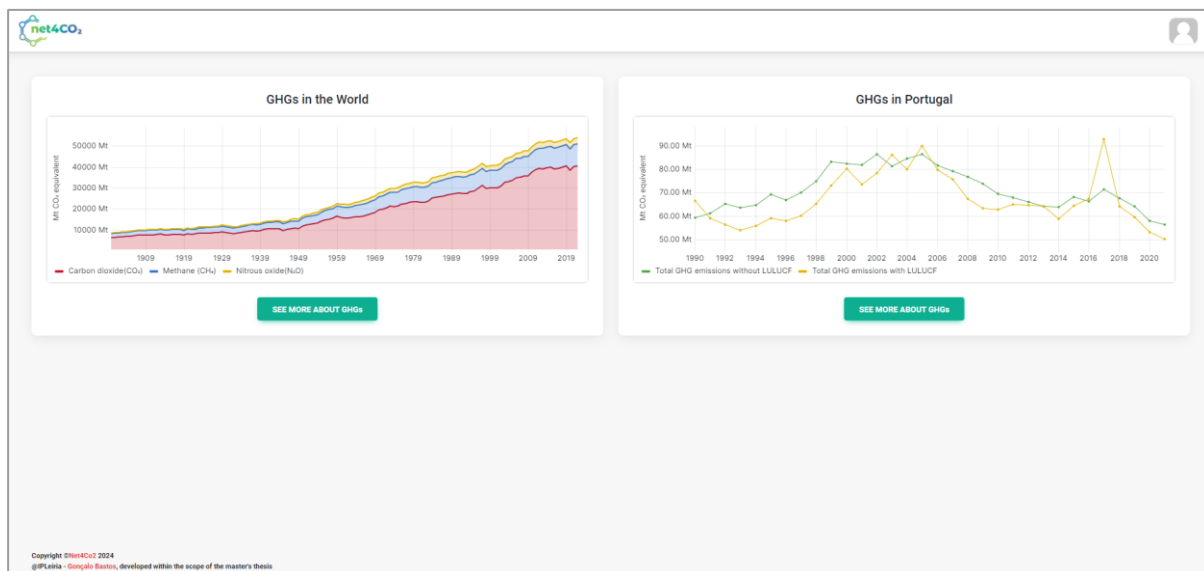


Figura 42 - Página inicial da plataforma - versão final.

Nas figuras seguintes, representam o estado da página dos detalhes para Portugal na versão final da plataforma, desde as suas seções bem como à barra afixada na parte esquerda da página.

Na Figura 43, encontra-se o estado da secção *Evolution of total GHGs emissions*.

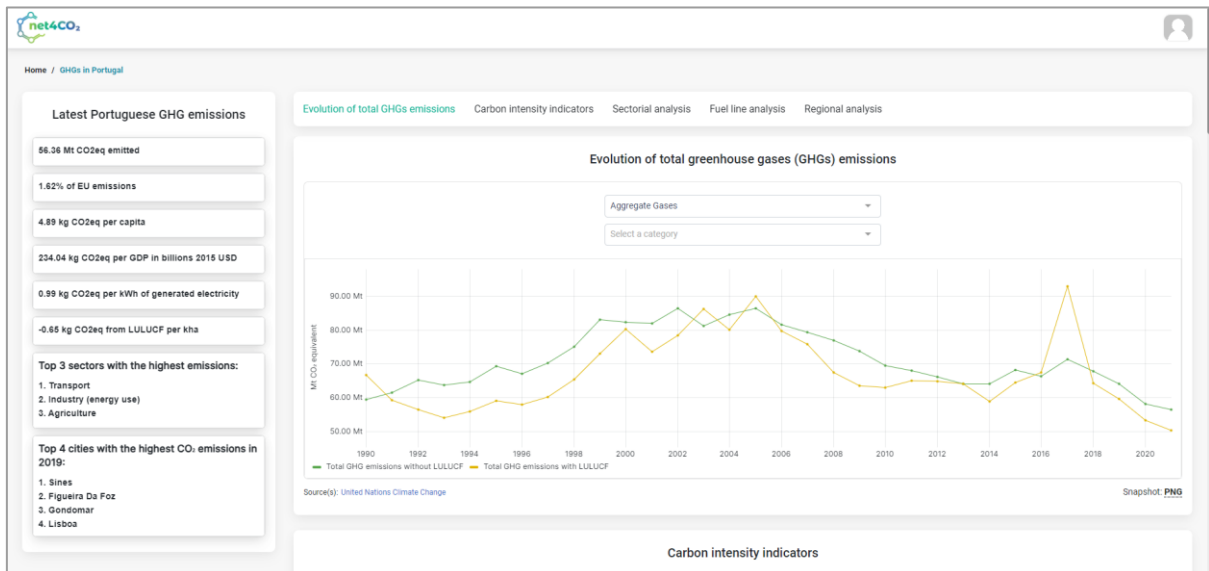


Figura 43 - Página de detalhes para Portugal - *Evolution of total GHGs emissions*.

Por outro lado, na Figura 44, encontra-se o estado da secção *Carbon intensity indicators*.

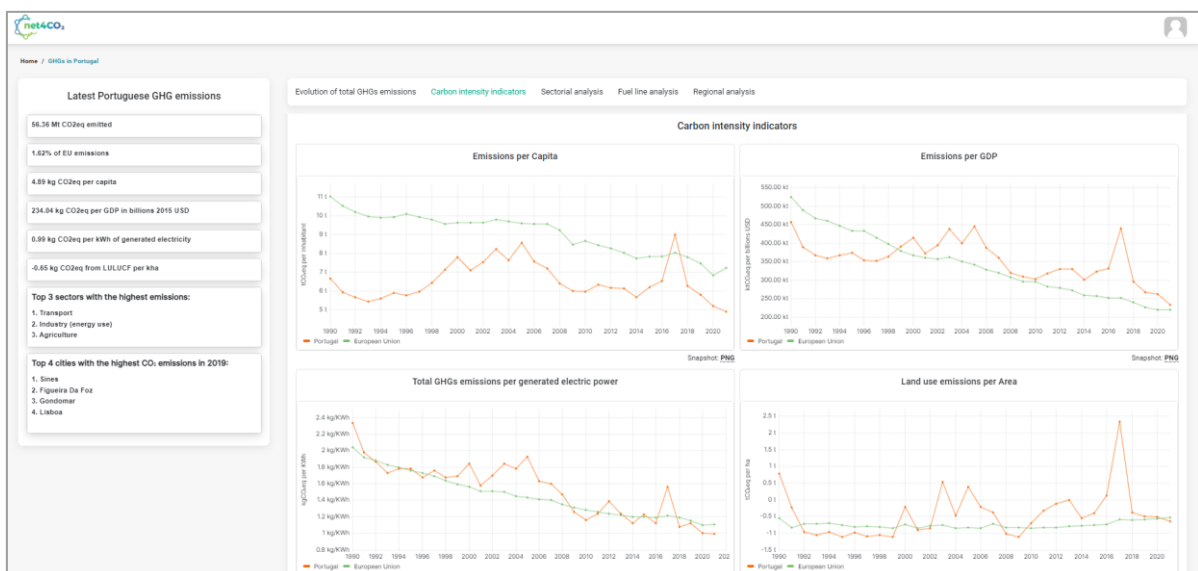


Figura 44 - Página de detalhes para Portugal - *Carbon intensity*

Já na Figura 45, encontra-se o estado da secção *Sectorial analysis*.

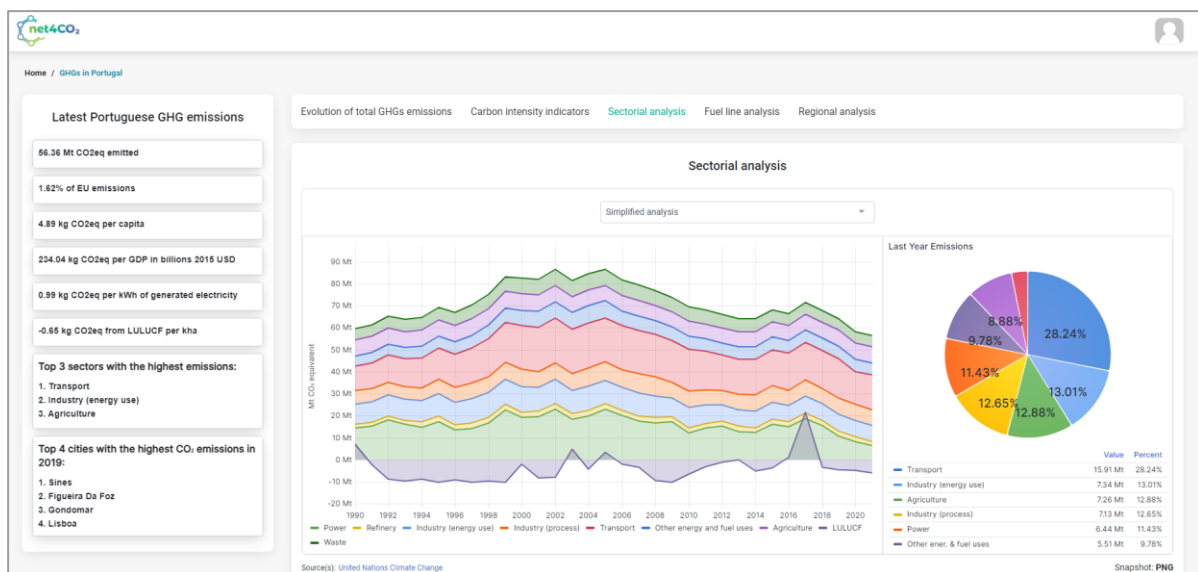


Figura 45 - Página de detalhes para Portugal - *Sectorial analysis*.

Por sua vez, na Figura 46, encontra-se o estado da secção *Fuel line analysis*.



Figura 46 - Página de detalhes para Portugal - *Fuel line analysis*.

Terminando os detalhes de Portugal, na Figura 47, encontra-se o estado da secção *Regional analysis*.

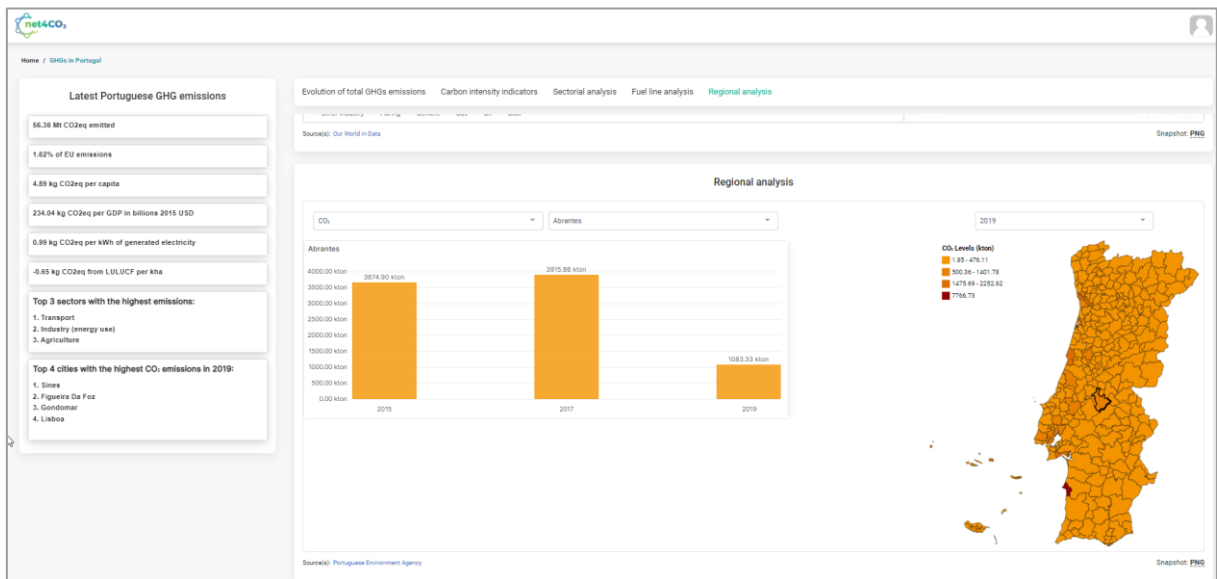


Figura 47 - Página de detalhes para Portugal - *Regional analysis*.

Para além dos detalhes para Portugal, existem também os detalhes para o Mundo, visíveis, estes encontram-se presentes nas seguintes figuras, onde é possível ver cada secção e a respetiva barra lateral afixada.

Na Figura 48, encontra-se o estado da secção *Evolution of total GHGs emissions*.

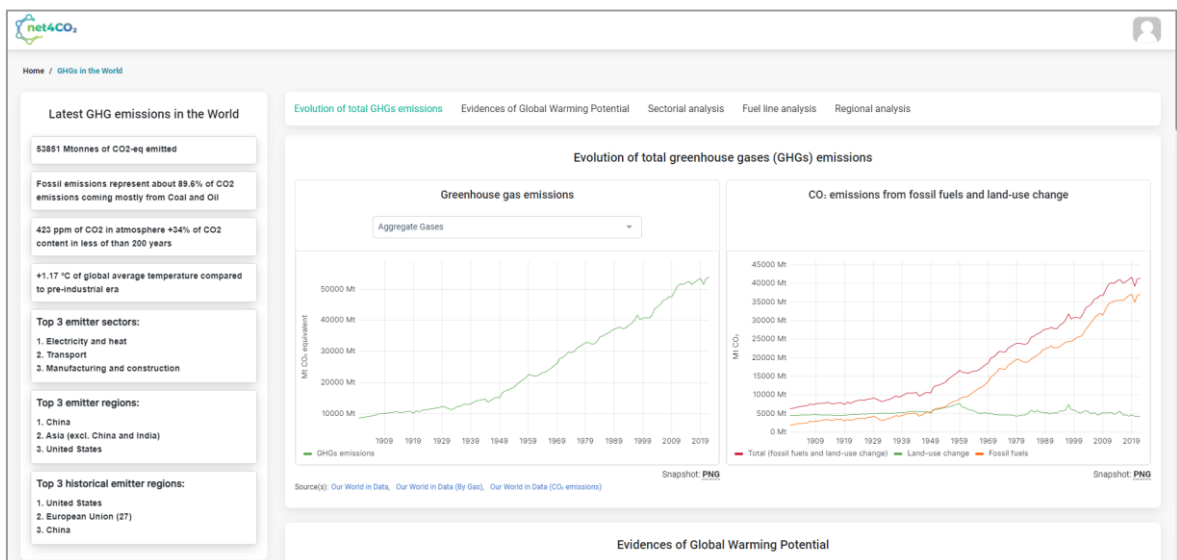


Figura 48 - Página de detalhes para o Mundo - *Evolution of total GHGs emissions*.

Já na Figura 49, encontra-se o estado da *Evolution of Global warming potential*.

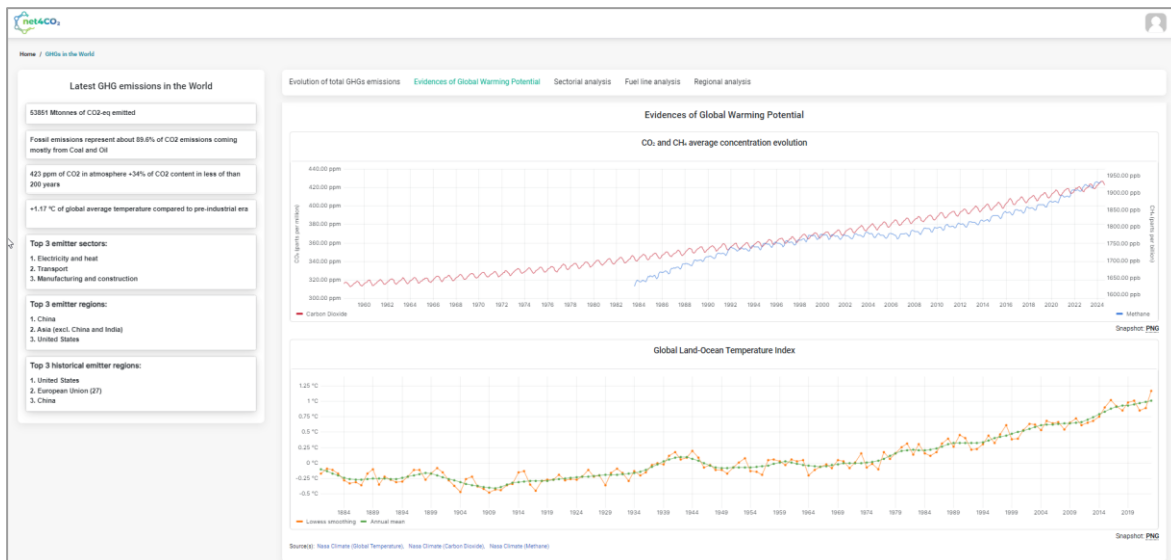


Figura 49 - Página de detalhes para o Mundo - *Evolution of Global Warming Potential*.

Por sua vez, a Figura 50, apresenta o estado da secção *Sectorial analysis*.

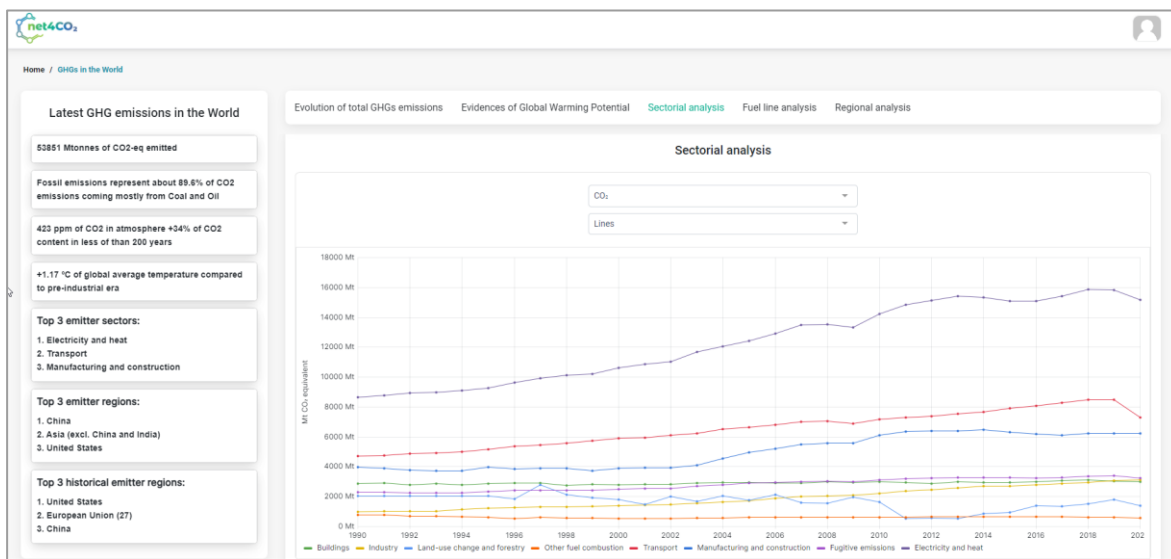


Figura 50 - Página de detalhes para o Mundo - *Sectorial analysis*.

Por outro lado, na Figura 51, encontra-se o estado da secção *Fuel line analysis*.

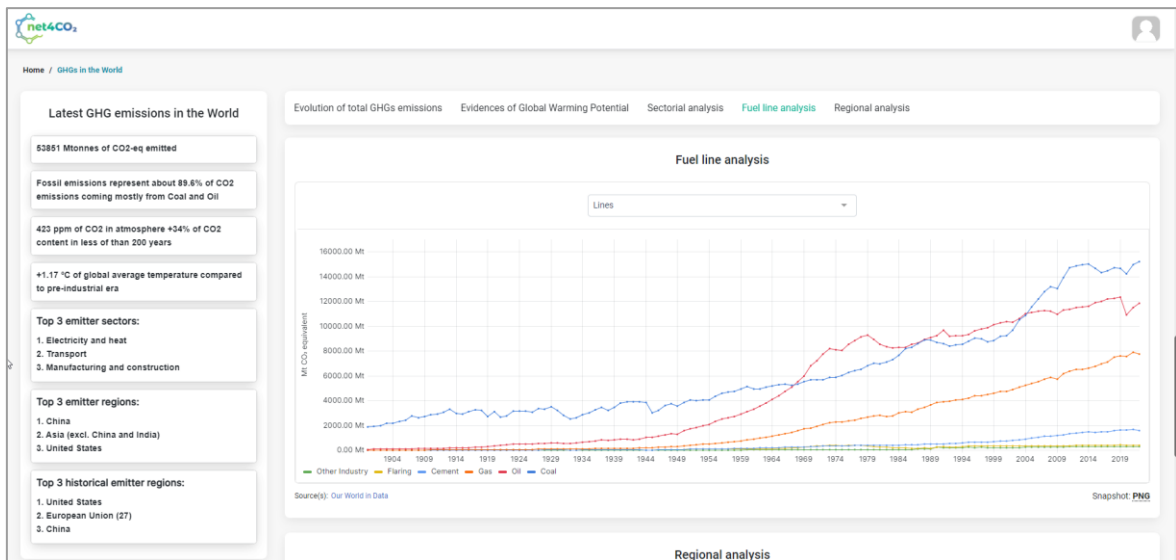


Figura 51 - Página de detalhes para o Mundo - *Fuel line analysis*.

Para terminar, a Figura 52, apresenta o estado da secção *Regional analysis*.

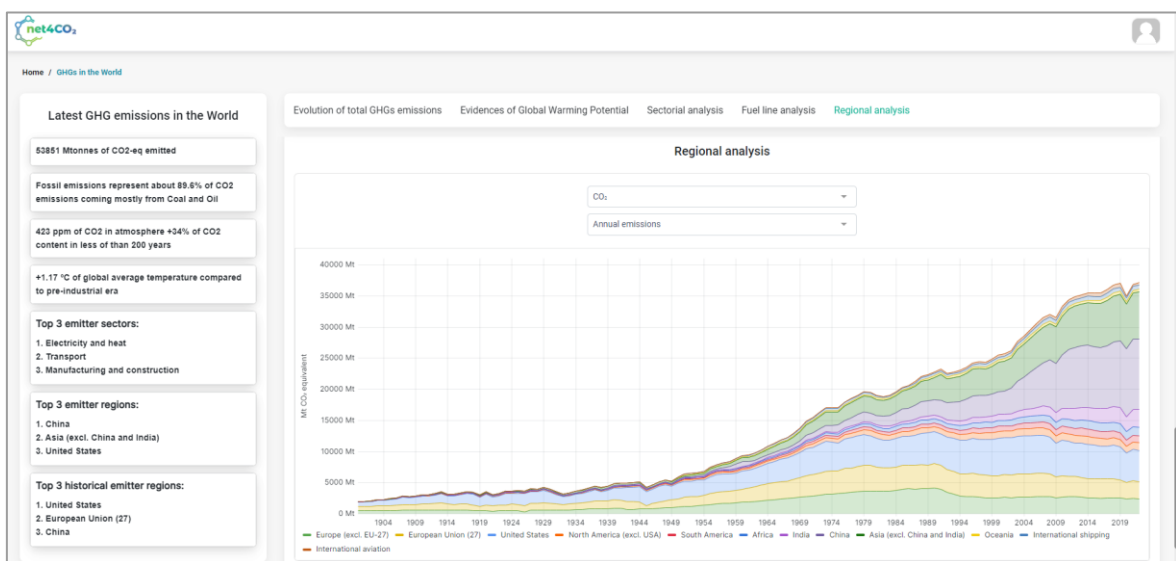


Figura 52 - Página de detalhes para o Mundo - *Regional analysis*.

Anexo E. Respostas PSSUQ testes finais

O documento encontra-se disponível em [Post-Study System Usability v2 \(Respostas\).xlsx](#), devido ao seu elevado tamanho.

Anexo F. Resultados process mining

Nas figuras seguintes, são apresentados os diagramas de frequência e desempenho de cada tarefa realizada durante os testes realizados, no entanto devido ao tamanho, é possível aceder a [Diagramas de testes](#) para visualizar os diagramas com melhor qualidade.

Na Figura 53, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 1.

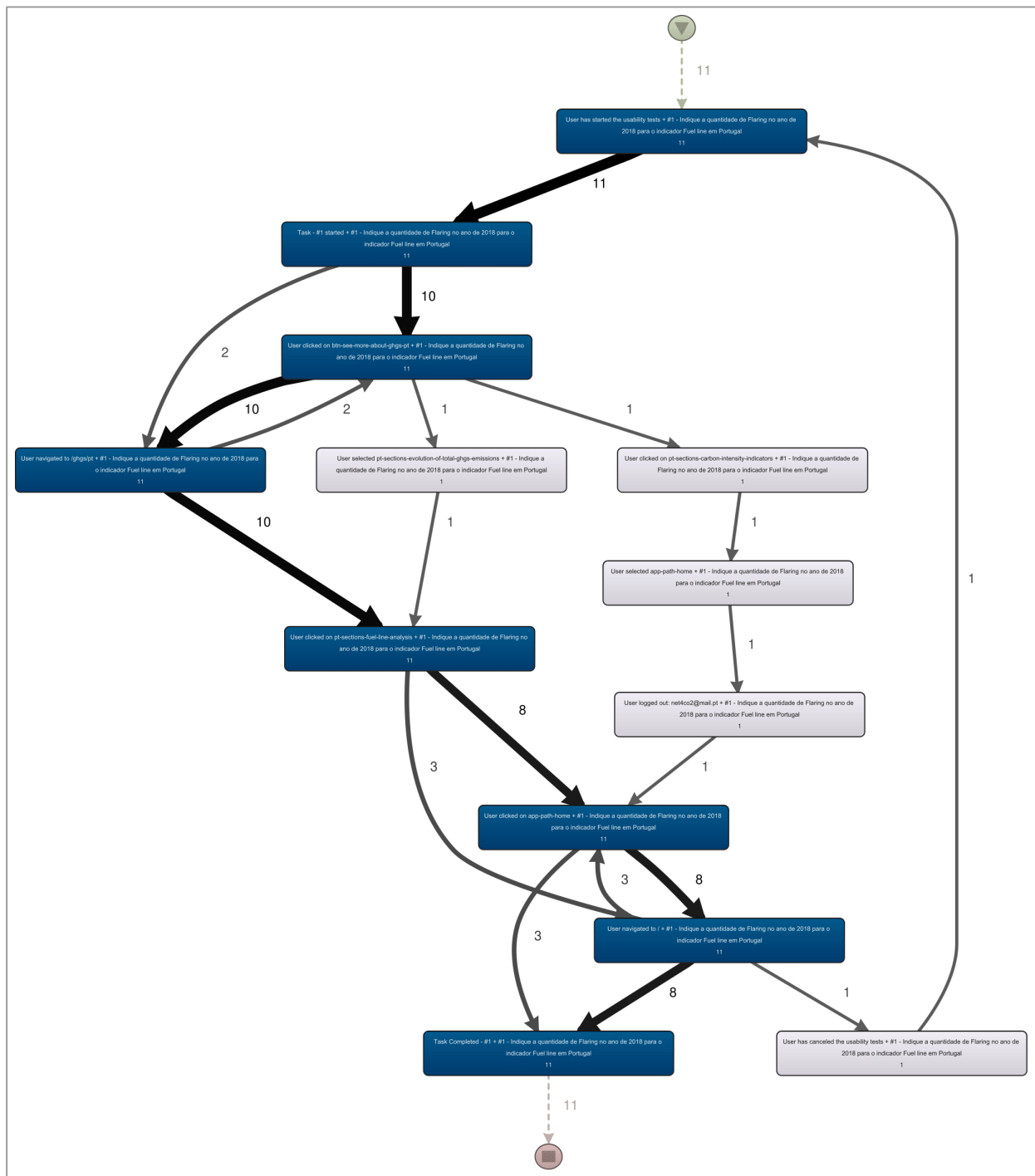


Figura 53 - Diagrama de frequência tarefa 1.

Na Figura 54, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 1.

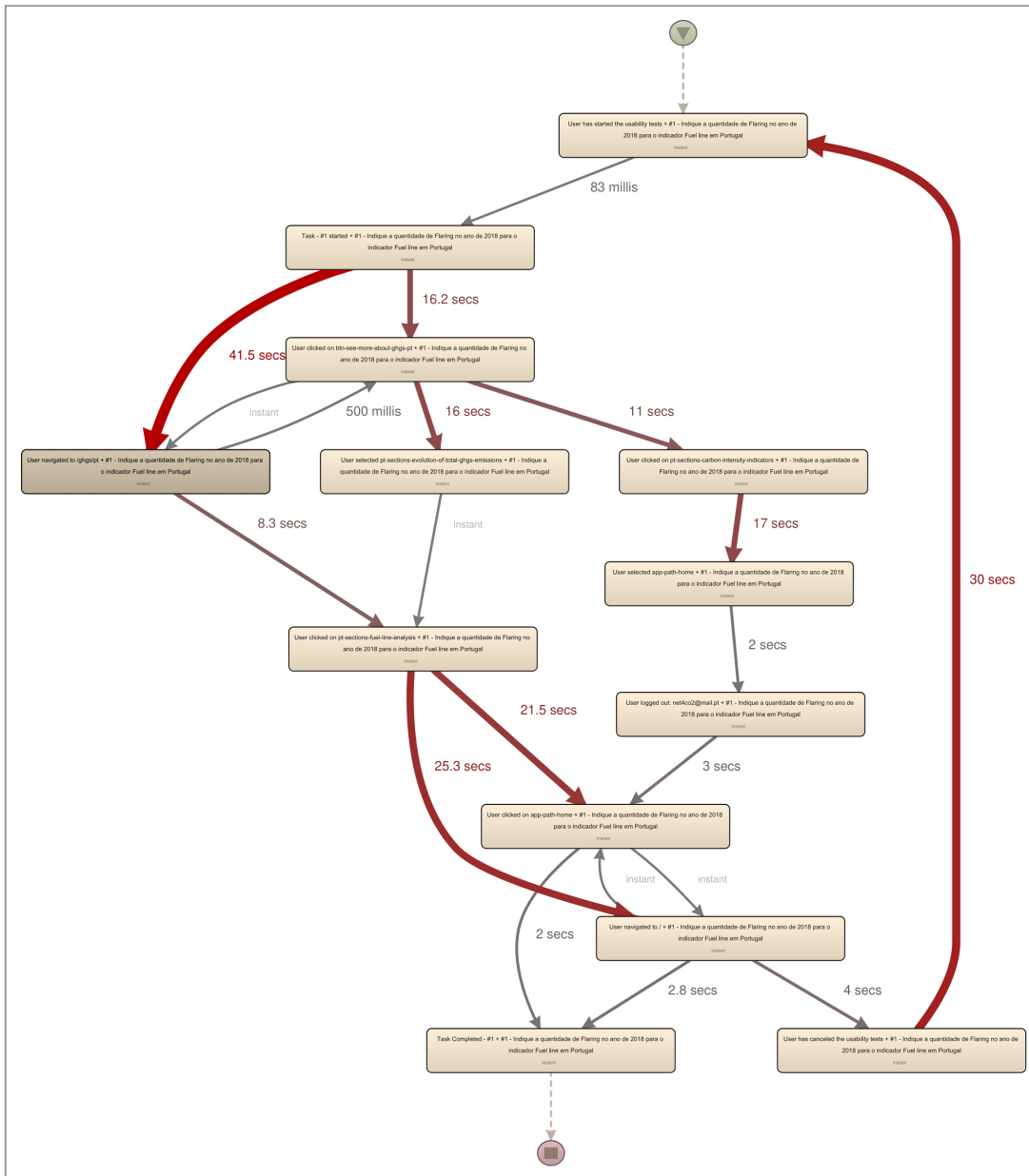


Figura 54 - Diagrama de desempenho tarefa 1.

Na Figura 55, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 2.

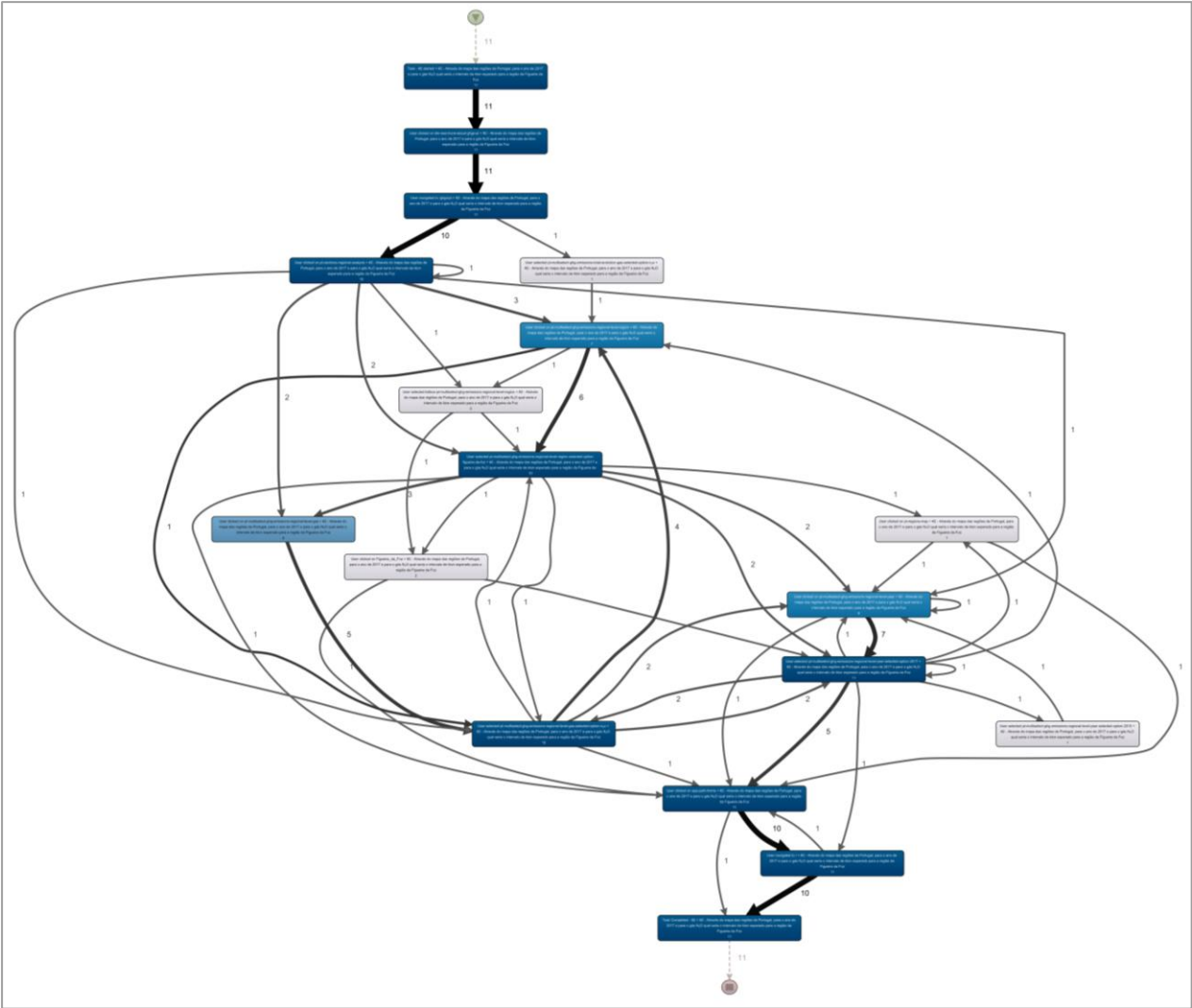


Figura 55 - Diagrama de frequência tarefa 2.

Na Figura 57, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 5.

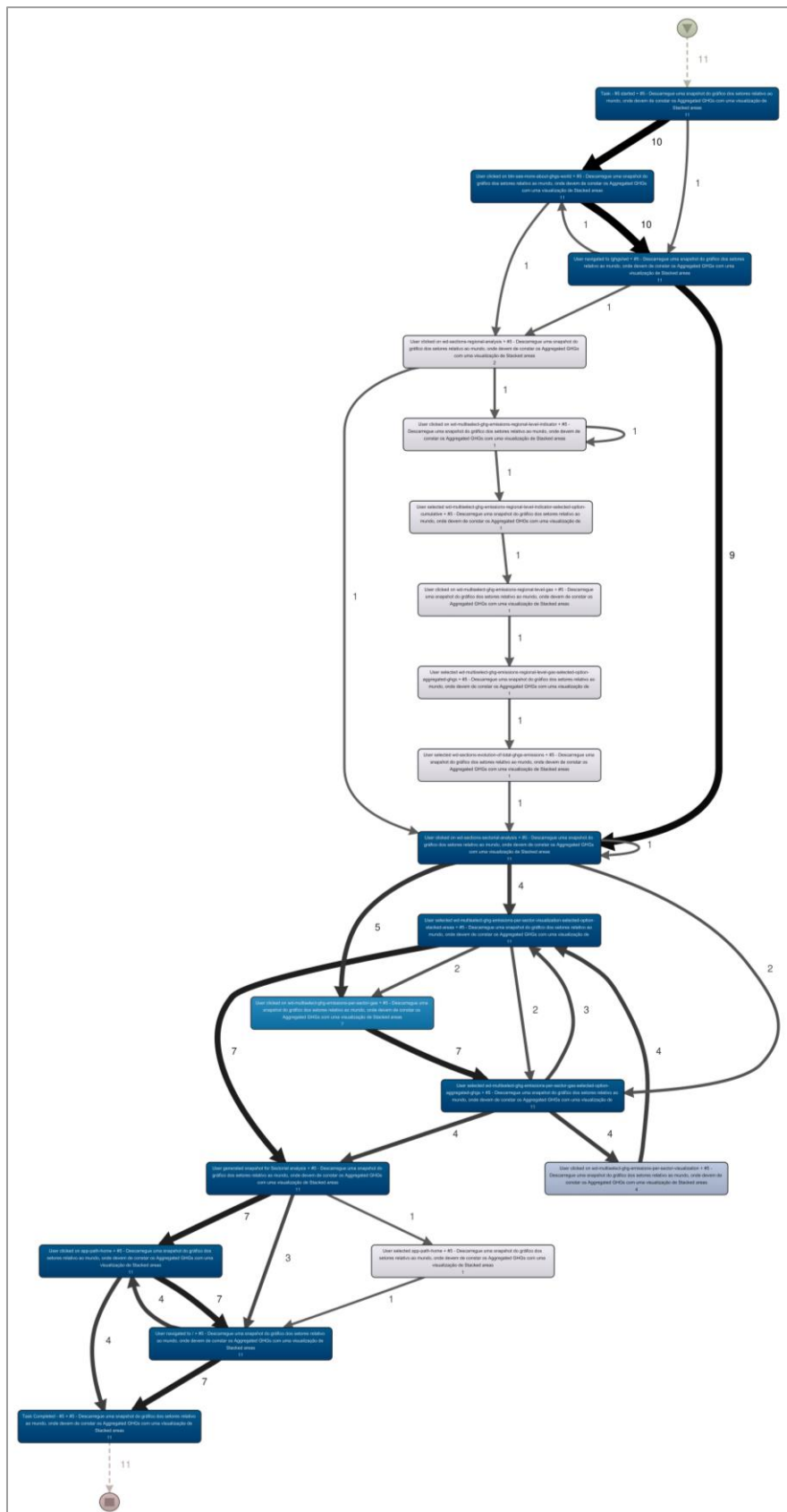


Figura 57 - Diagrama de frequência tarefa 5.

Na Figura 58, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 5.

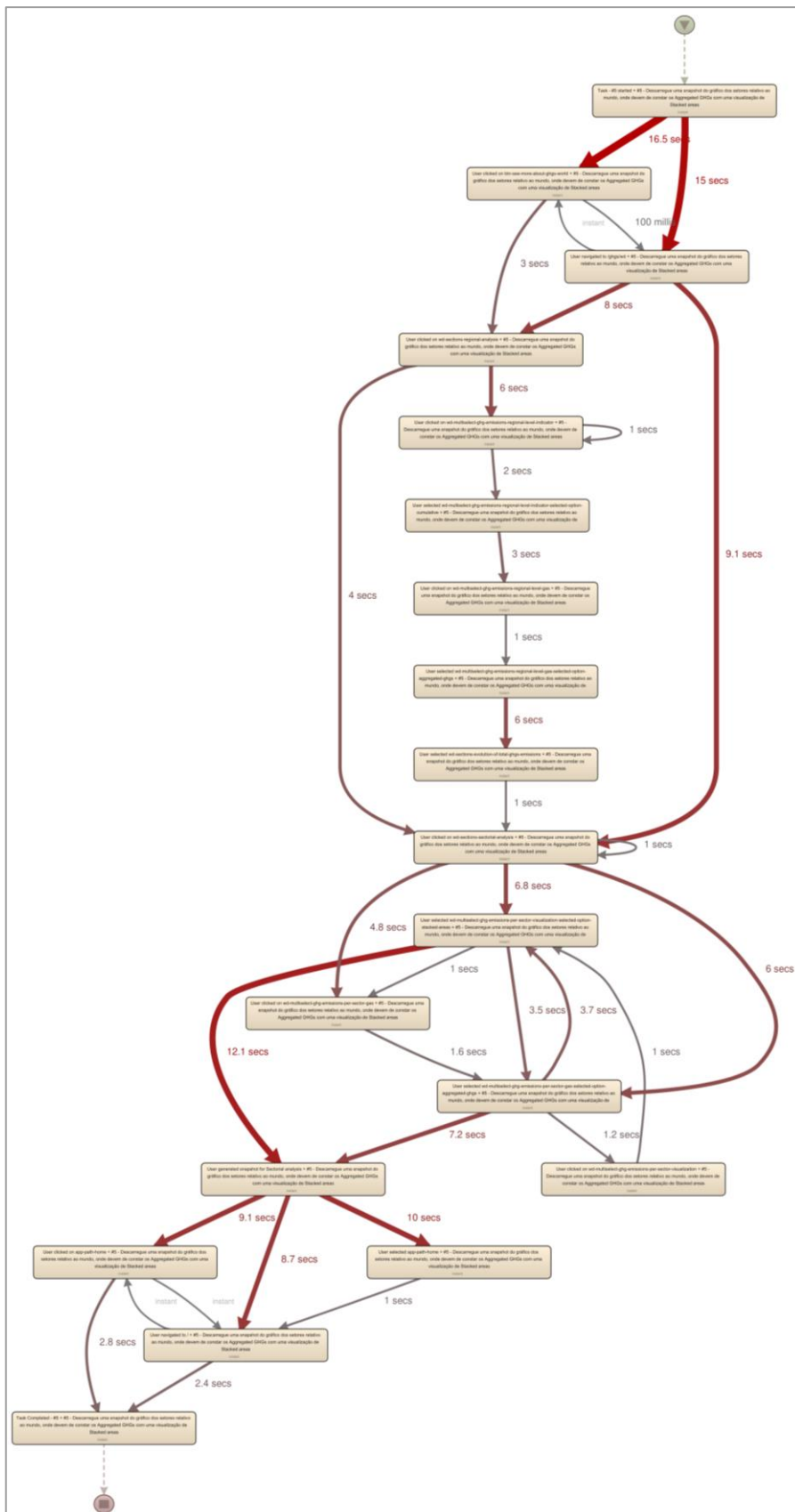


Figura 58 - Diagrama de desempenho tarefa 5.

Na Figura 59, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 6.

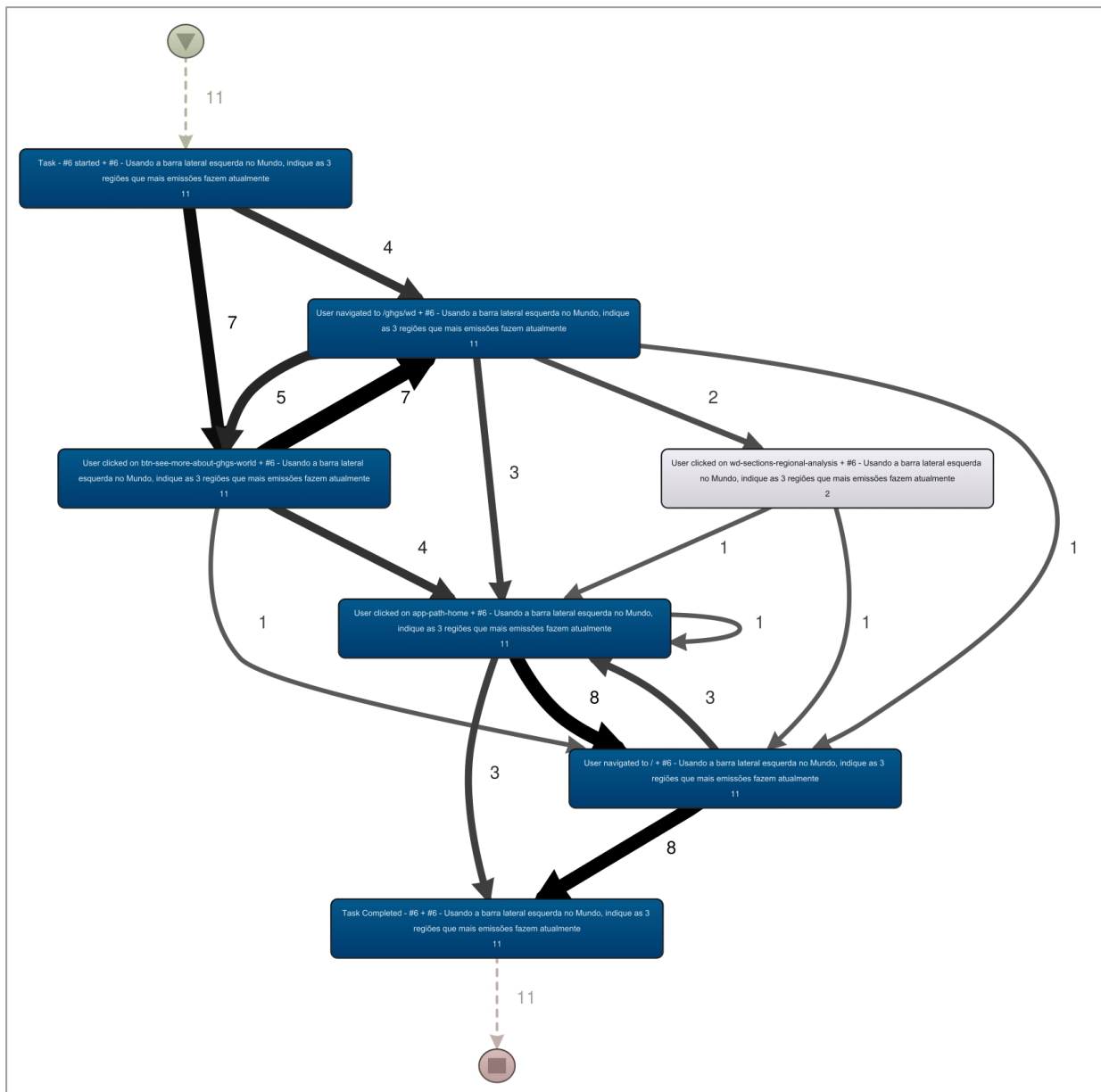


Figura 59 - Diagrama de frequência tarefa 6.

Na Figura 60, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 6.

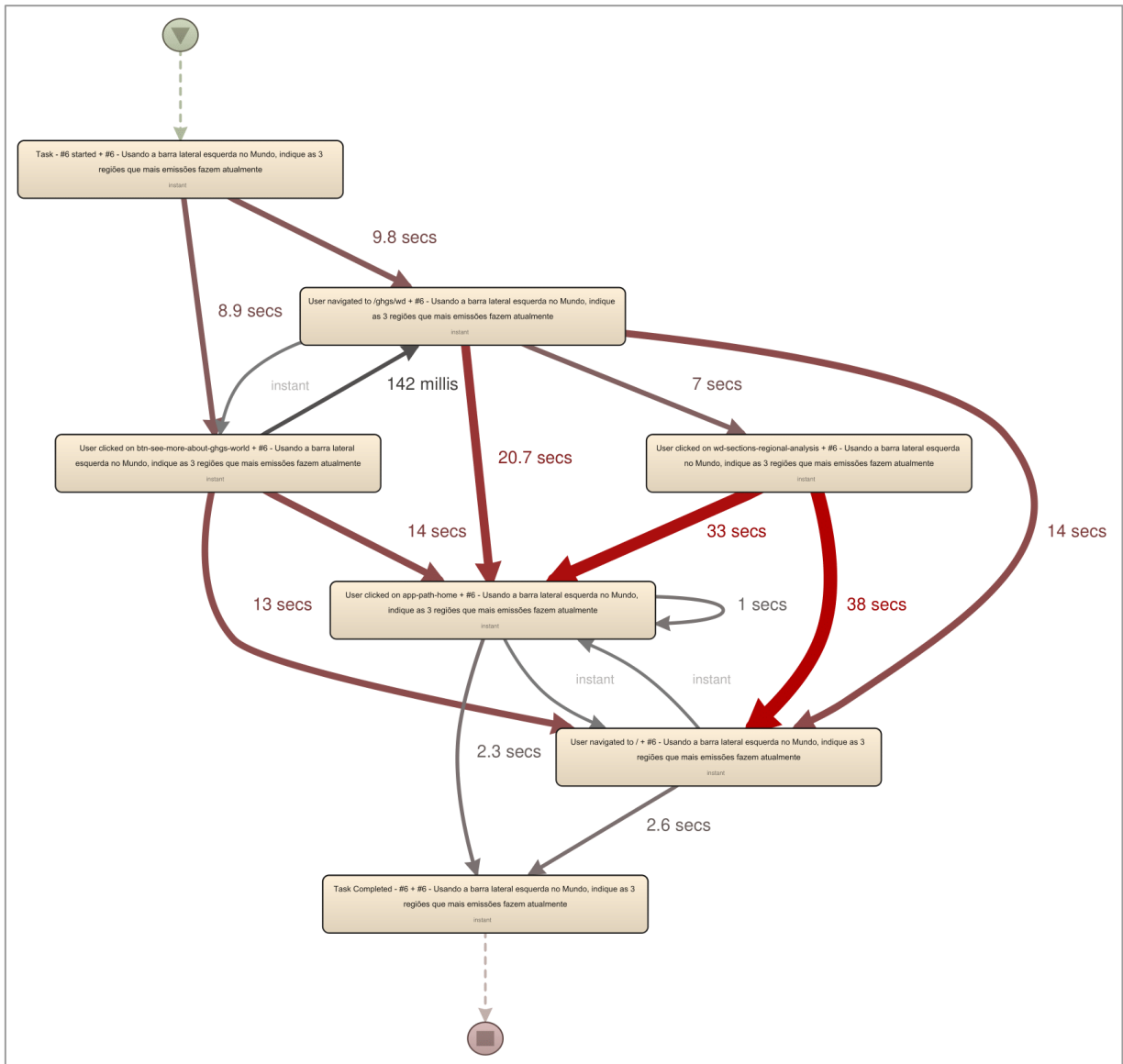


Figura 60 - Diagrama de desempenho tarefa 6.

Na Figura 61, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 7.

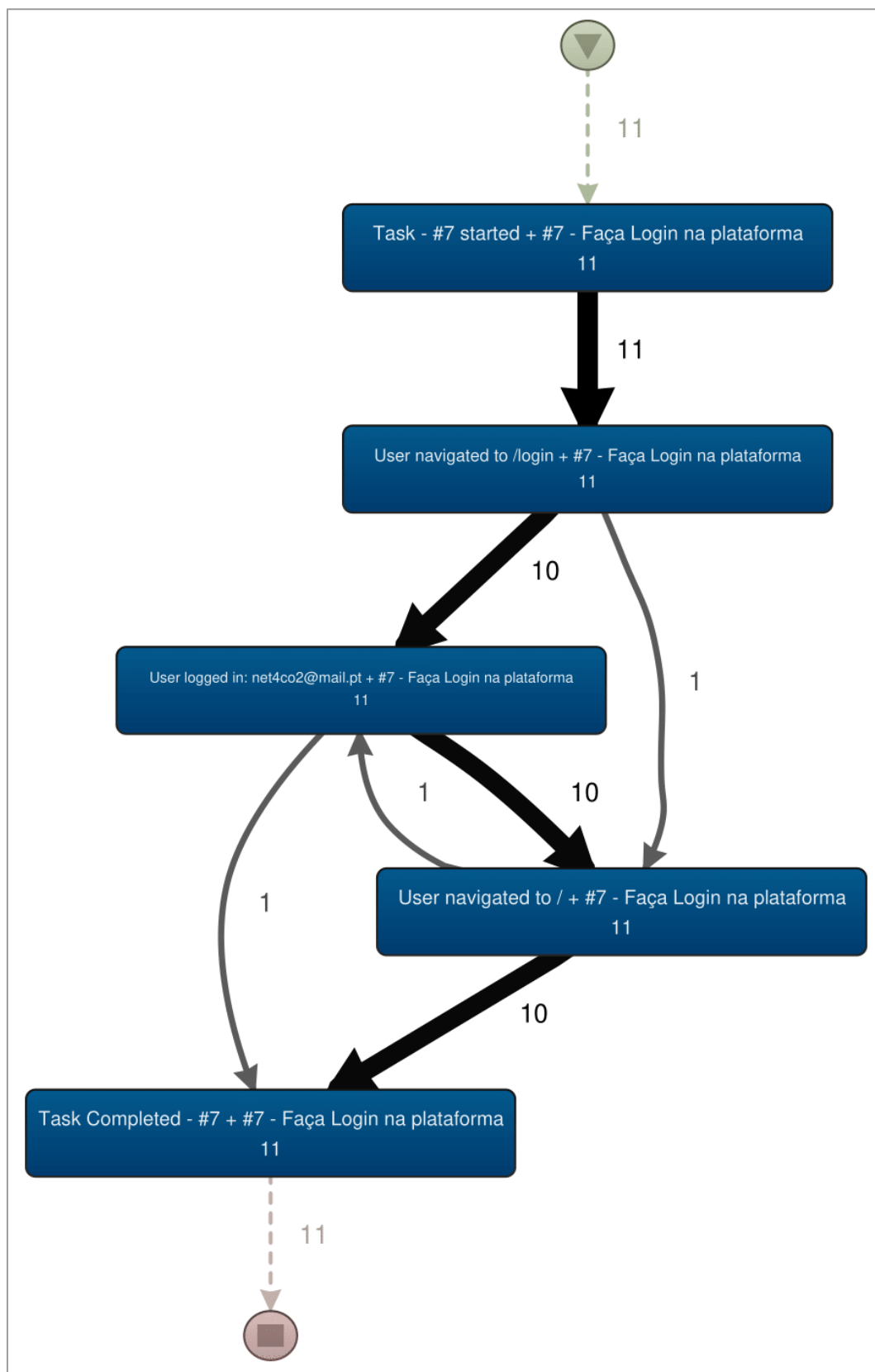


Figura 61 - Diagrama de frequência tarefa 7.

Na Figura 62, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 7.

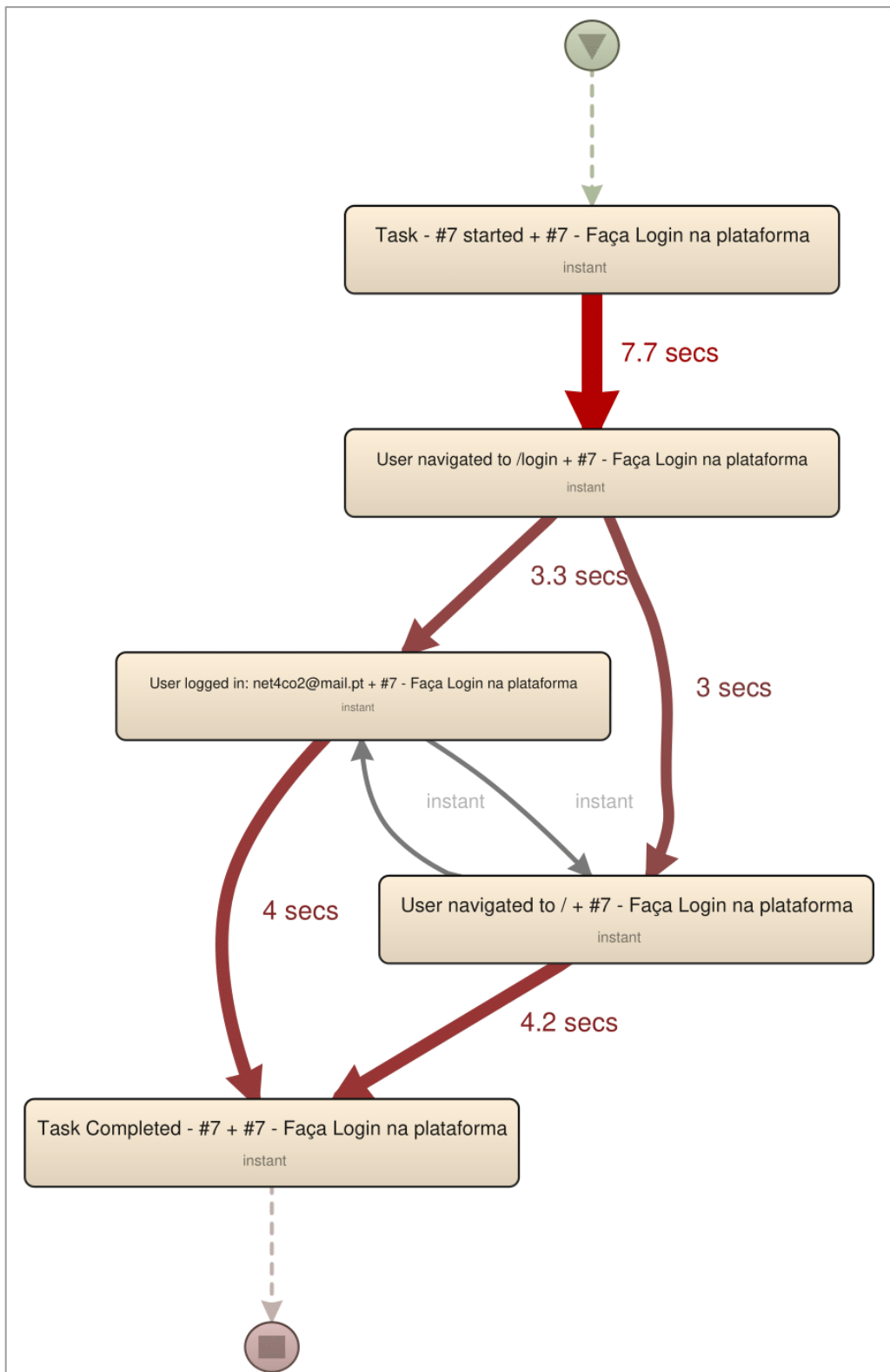


Figura 62 - Diagrama de desempenho tarefa 7.

Na Figura 64, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 8.

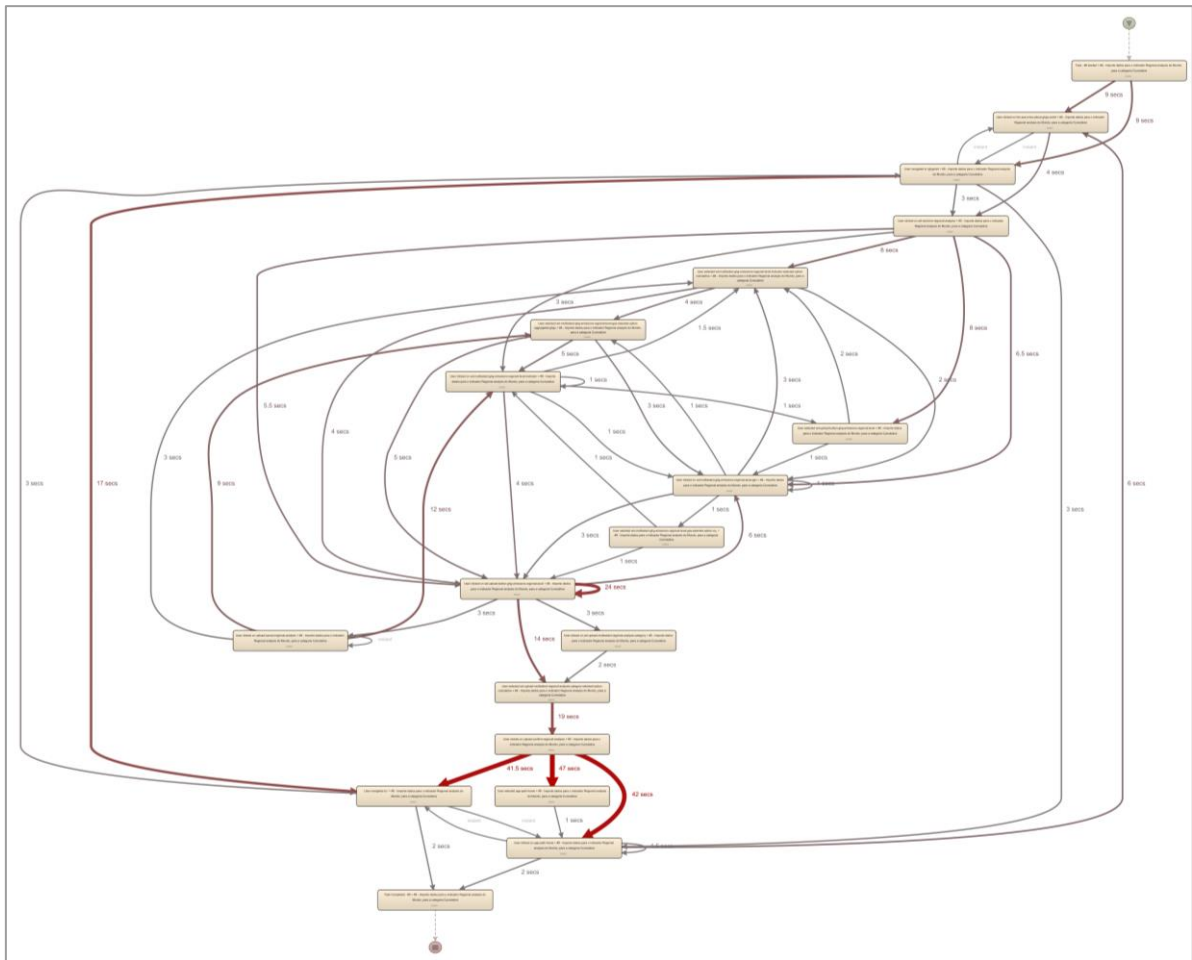


Figura 64 - Diagrama de desempenho tarefa 8.

Na Figura 65, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 9.

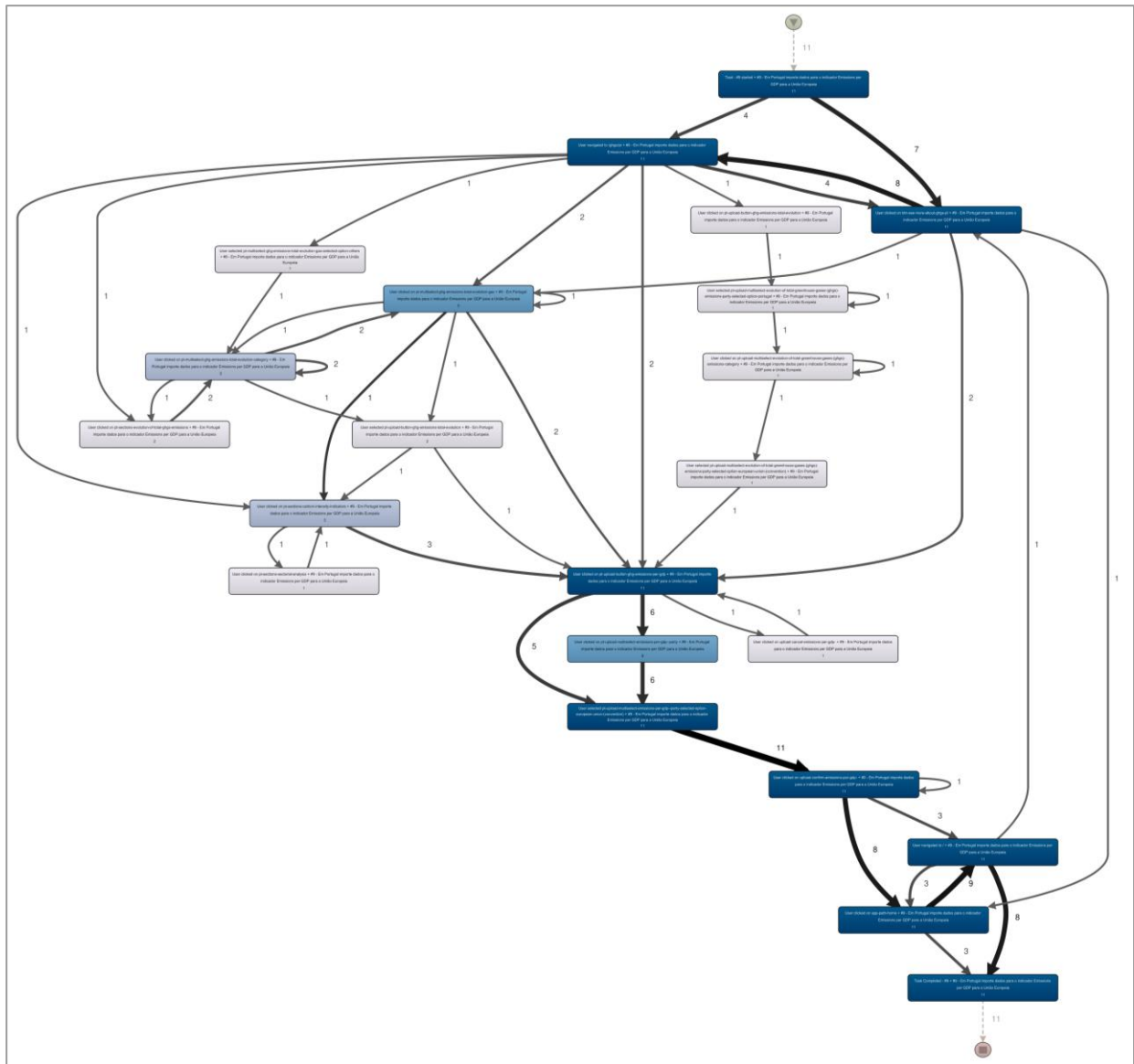


Figura 65 - Diagrama de frequência tarefa 9.

Na Figura 66, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 9.

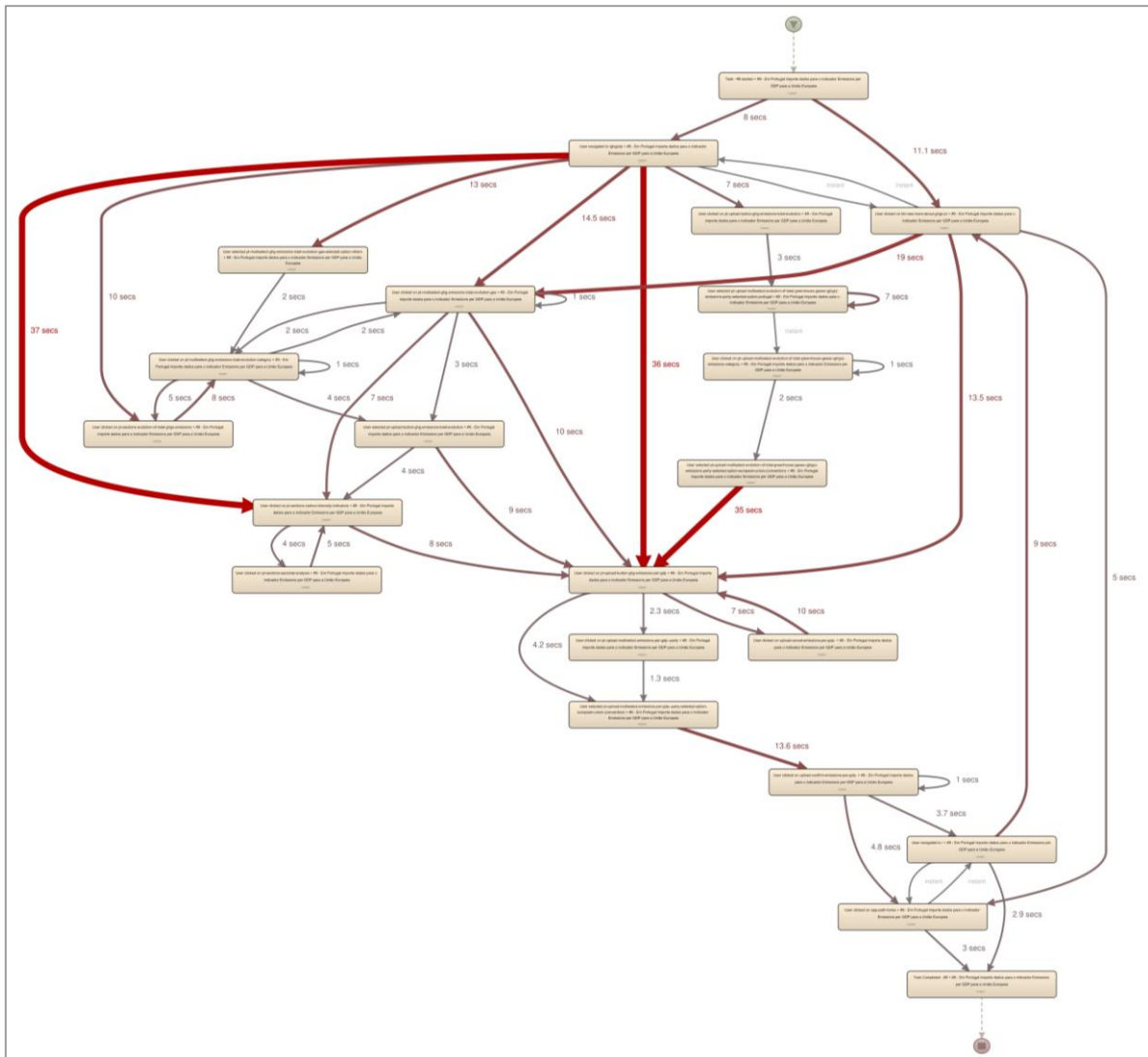


Figura 66 - Diagrama de desempenho tarefa 9.

Na Figura 67, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 10.

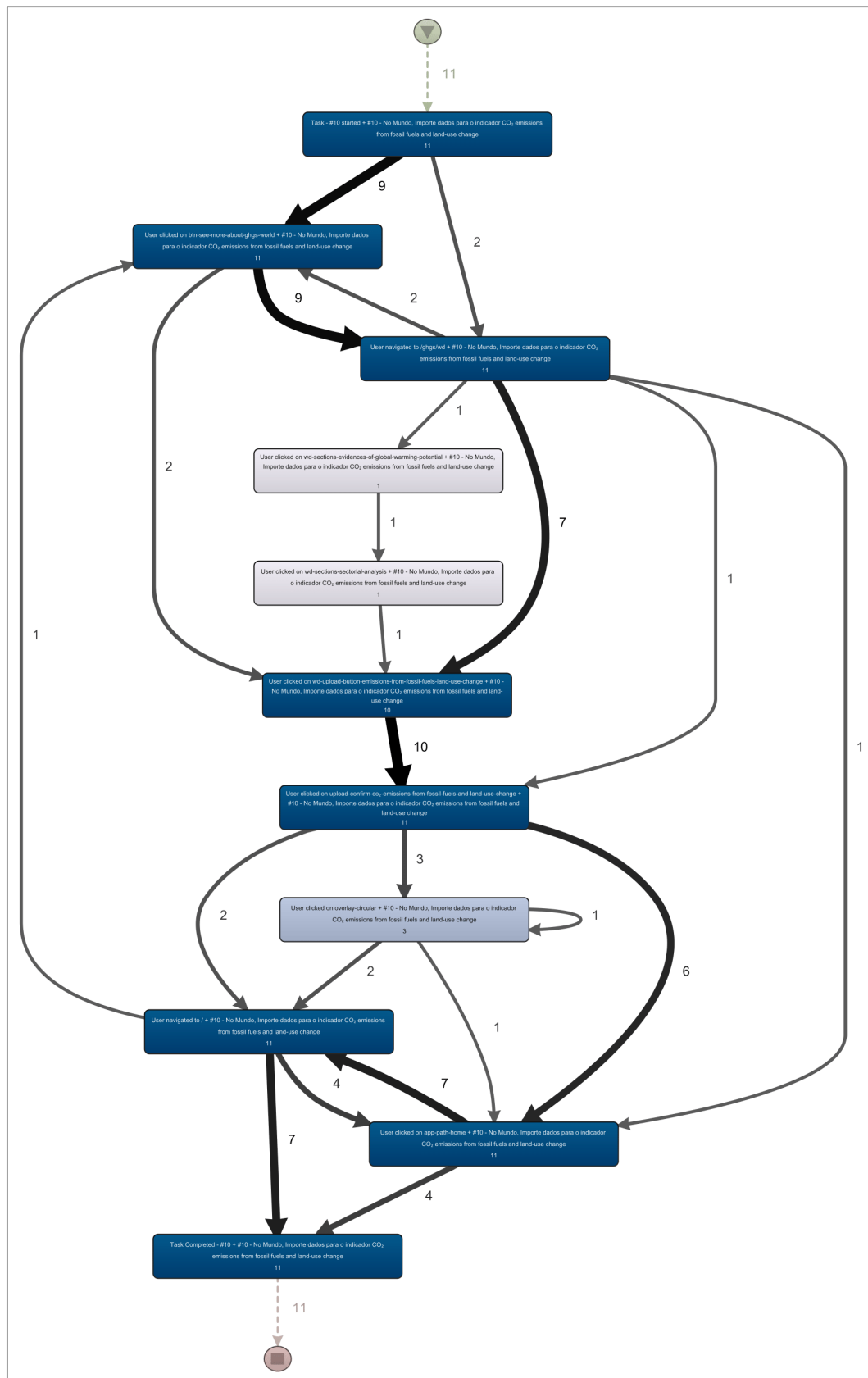


Figura 67 - Diagrama de frequência tarefa 10.

Na Figura 68, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 10.

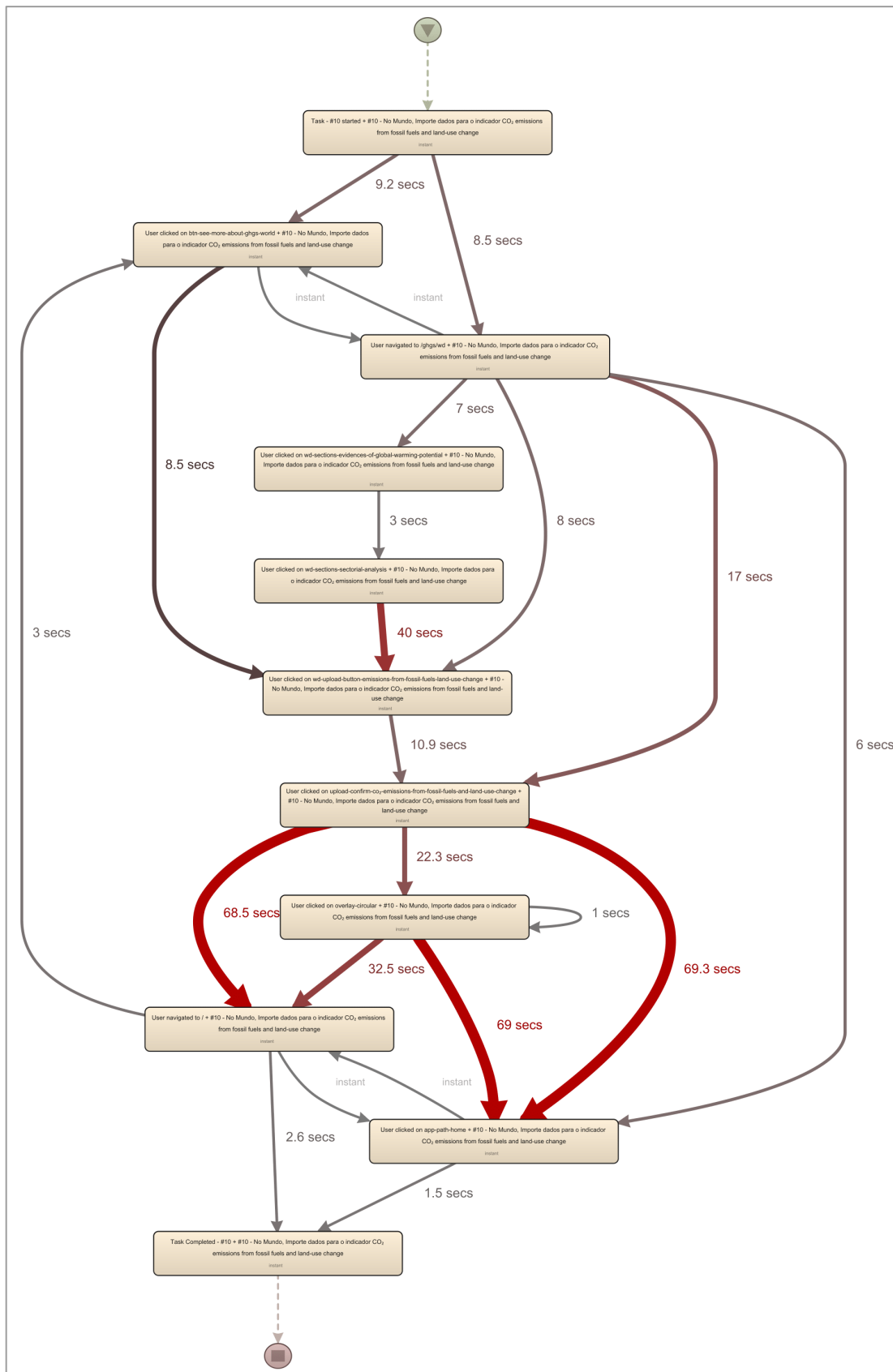


Figura 68 - Diagrama de desempenho tarefa 10.

Na Figura 69, encontra-se o diagrama de frequência da tarefa 11.

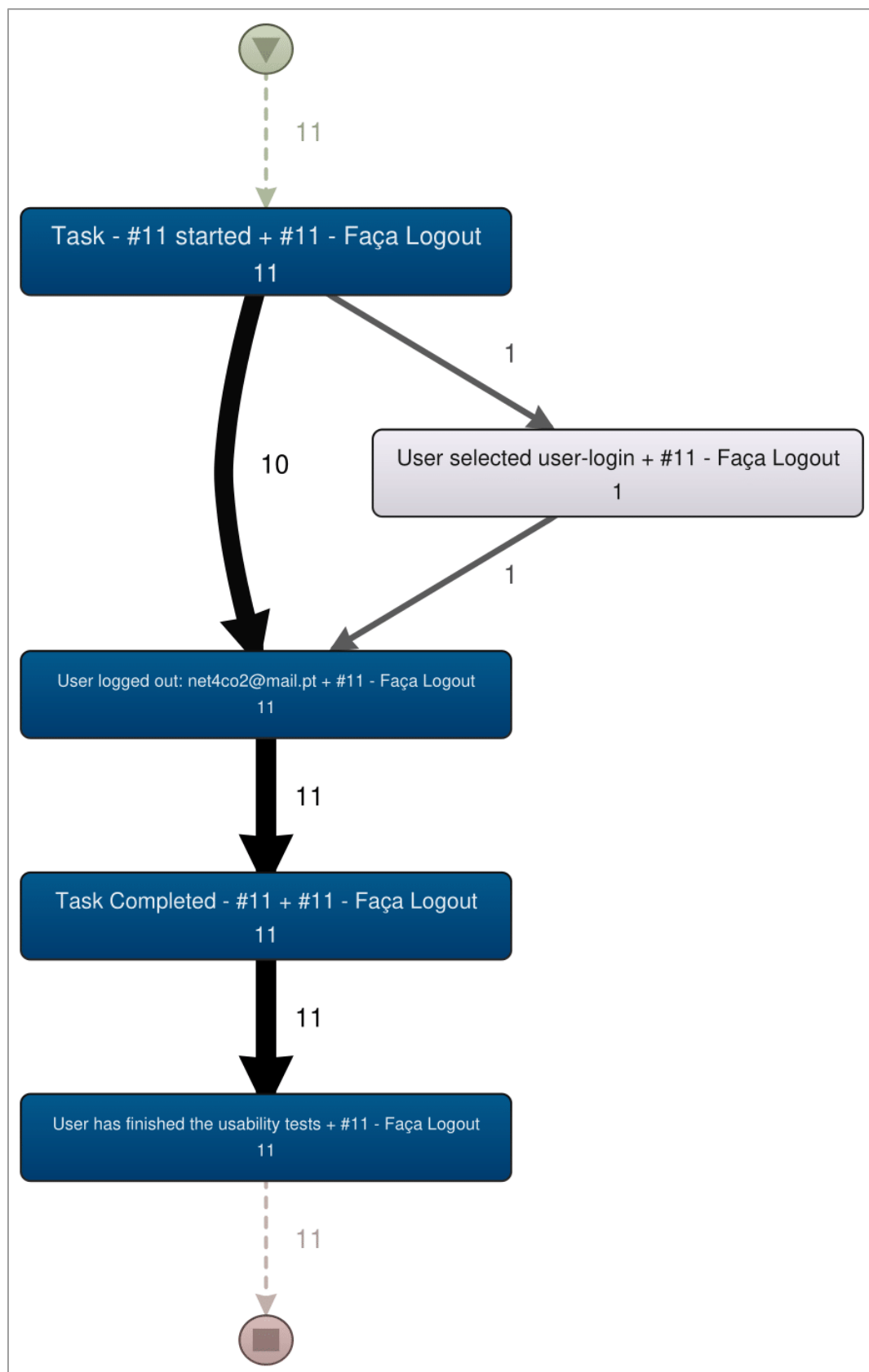


Figura 69 - Diagrama de frequência tarefa 11.

Na Figura 70, encontra-se o diagrama de desempenho da tarefa 11.

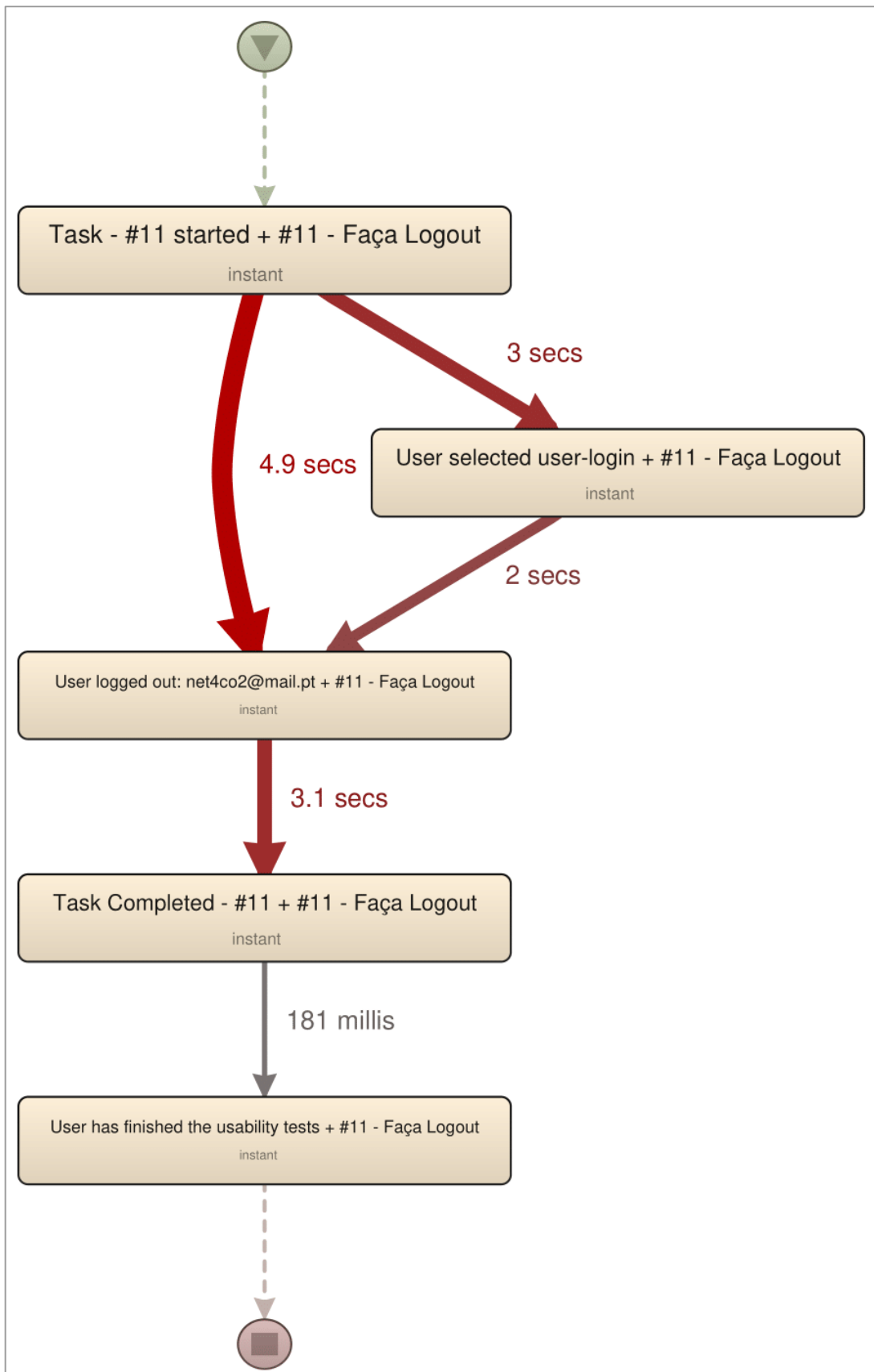


Figura 70 - Diagrama de desempenho tarefa 11.