



MARIA JOÃO ALVES DE CARVALHO

Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO PARA GESTÃO DE ARMAZENAMENTO DE AZEITE

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2023



PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO PARA GESTÃO DE ARMAZENAMENTO DE AZEITE

MARIA JOÃO ALVES DE CARVALHO

Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadora: Filipa Alexandra Moreira Ferrada
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Júri

Presidente: Daniel de Matos Silvestre
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Arguente: Ana Inês da Silva Oliveira
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Plataforma de Simulação para Gestão de Armazenamento de Azeite

Copyright © Maria João Alves de Carvalho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer à professora Filipa Ferrada por ter aceite orientar a minha dissertação e por sempre se demonstrar disponível em todas as fases do processo.

Ao Duarte Lobo da Datazero e à Cooperativa Agrícola de Beja e Brinches há que agradecer a oportunidade de realizar esta dissertação tendo como base um cenário real da indústria olivícola.

Também quero expressar a minha gratidão à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, em especial ao departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, que me permitiu crescer tanto pessoalmente como academicamente. Tenho de realçar todos os professores que contribuíram para a minha formação e os colegas de curso que sempre cultivaram um espírito de interajuda.

Quero agradecer ao meu namorado, à minha família e aos meus amigos por todo o apoio e ajuda ao longo do curso e para além deste.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

RESUMO

A indústria agrícola, fundamental no fornecimento de alimentos à população mundial, enfrenta uma série de desafios que vão desde a sustentabilidade e a redução do desperdício até à gestão eficaz. A busca por soluções para esses desafios levou a uma tendência de digitalização na indústria. Neste contexto, a Cooperativa Agrícola de Beja e Brinches emerge como um exemplo concreto desta necessidade de modernização e otimização das operações agrícolas.

A cooperativa atua no setor olivícola e enfrenta desafios significativos relacionados com a gestão do armazenamento de azeite. Um dos fatores é a dificuldade em saber a quantidade de azeite disponível em cada depósito. Adicionalmente, o registo manual das informações, seguido pela posterior digitalização, propicia a ocorrência de erros e ineficiências, resultando em informações incorretas. Estes problemas podem culminar em decisões comerciais inadequadas e custos operacionais adicionais.

De forma a ultrapassar estas limitações, propôs-se a criação de uma plataforma de simulação para gestão e armazenamento de azeite que oferece uma visão precisa dos dados da cooperativa, permite a simulação de cenários referentes ao seu funcionamento e facilita o registo controlado de informações.

A plataforma desenvolvida apresenta uma melhoria no funcionamento da cooperativa no que toca à gestão de recursos, reduzindo erros operacionais e contribuindo para uma tomada de decisão mais informada.

Palavras-chave: Digitalização da agricultura, aplicação web, gestão de armazenamento de azeite, simulação

ABSTRACT

The agricultural industry, which is instrumental in supplying food to the world's population, faces a range of challenges ranging from sustainability and waste reduction to effective management. The search for solutions to these challenges has led to a trend of digitalization in the industry. In this context, the Agricultural Cooperative of Beja and Brinches appears as an example of this need for modernization and optimization of agricultural operations.

The cooperative operates in the olive sector and faces significant challenges related to the management of olive oil storage. One of the factors is the difficulty in knowing how much olive oil is available in each tank. In addition, the manual recording of information, followed by subsequent digitization, leads to errors and inefficiencies, resulting in incorrect information. These problems can result in inappropriate business decisions and additional operating costs.

To overcome these limitations, it is proposed the creation of a simulation platform for the management and storage of olive oil that offers an accurate view of the cooperative's data, allows the simulation of scenarios regarding its operation and facilitates the controlled recording of information.

The developed platform presents an improvement in the operation of the cooperative regarding the management of resources, reducing operational errors and contributing to a more informed decision making.

Keywords: Digitalization of agriculture, web application, olive oil storage management, simulation

ÍNDICE

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Siglas	xv
1 Introdução	1
1.1 Apresentação do Problema	1
1.2 Objetivos e contribuições	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 Contexto do trabalho	5
2.1 Produção de azeite	5
2.1.1 Processo de produção de azeite	5
2.1.2 Características de azeite	6
2.2 Funcionamento da CABB	7
2.3 Sistemas de apoio à produção de azeite	10
2.3.1 Sistema de supervisão para lagares de azeite	10
2.3.2 Almazara conectada 4.0	11
2.4 Desenvolvimento Web	12
2.4.1 Frontend	12
2.4.2 Backend	13
2.5 Simulação	13
2.5.1 Processo de desenvolvimento de uma simulação	13
2.5.2 Classificação de modelos de simulação	15
2.5.3 Modelos de simulação	15
2.5.4 Ferramentas de simulação	17
2.6 Aprendizagem Automática	19
2.6.1 Tipos de algoritmos de aprendizagem automática	20
2.6.2 Modelos preditivos	22

3	Modelação do sistema	25
3.1	Requisitos	25
3.2	Casos de uso	26
3.3	Modelo conceptual	27
3.3.1	Simulação	28
3.3.2	Serviços	32
3.3.3	Modelo preditivo	32
4	Implementação	35
4.1	Dados fornecidos pela cooperativa	36
4.2	Base de dados	37
4.3	Integração com os dados da CABB	39
4.4	Aplicação Web	40
4.4.1	Estrutura do projeto	41
4.4.2	Estrutura da aplicação web	44
5	Validação e discussão de resultados	51
6	Conclusão e perspectivas futuras	55
6.1	Síntese do trabalho desenvolvido	55
6.2	Limitações	56
6.3	Trabalho futuro	56
	Bibliografia	59
	Anexos	
I	Anexo	63

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	<i>Esquema do processo de produção de azeite</i>	6
2.2	<i>Classificação de azeites em relação à acidez, adaptado de (ASAE, 2017)</i>	7
2.3	<i>Esquema do funcionamento do CABB</i>	8
2.4	<i>Estrutura do número de lote de azeitona</i>	8
2.5	<i>Estrutura do número de lote de azeite</i>	9
2.6	<i>Zonas automáticas da cooperativa</i>	10
2.7	<i>Software desenvolvido pela Indea Technologies para supervisão de um lagar de azeite (IndeaTechnologies, 2011).</i>	11
2.8	<i>Produto desenvolvido pela Ansotec de apoio à produção de azeite (Ansotec, 2023).</i>	11
2.9	<i>Esquema de comunicação quando se acede a um website</i>	12
2.10	<i>Esquema do processo de simulação, adaptado de (Yin & Mckay, 2018)</i>	14
2.11	<i>Modelo de dinâmica de sistemas que pretende representar o crescimento de uma população, adaptado de (Popova, 2012)</i>	16
2.12	<i>Exemplo de uma árvore de decisão, adaptado de (SIMONE, 2020)</i>	21
2.13	<i>Esquema do funcionamento da aprendizagem por reforço.</i>	22
2.14	<i>Tipos de algoritmos de aprendizagem automática</i>	22
2.15	<i>Esquema do processo de desenvolvimento de um modelo preditivo</i>	24
3.1	<i>Modelo casos de uso</i>	27
3.2	<i>Modelo conceptual proposto</i>	28
3.3	<i>Esquema da simulação de embalamento referente ao número de garrafas.</i>	29
3.4	<i>Esquema da simulação de embalamento referente à quantidade de azeite.</i>	30
3.5	<i>Esquema da simulação de encomendas.</i>	31
3.6	<i>Esquema do modelo preditivo.</i>	33
4.1	<i>Arquitetura do sistema</i>	35
4.2	<i>Modelo de entidades relacionamentos referente à base de dados criada</i>	38
4.3	<i>Esquema de entrada e saídas da ferramenta de integração</i>	39
4.4	<i>Esquema de ficheiros do projeto criado pelo Django</i>	41
4.5	<i>Esquema de ficheiros do projeto final</i>	43

4.6	<i>Esquema de comunicação entre os ficheiros do projeto Django</i>	43
4.7	<i>Página inicial da aplicação web com o utilizador não autenticado</i>	44
4.8	<i>Página inicial da aplicação web com o utilizador autenticado</i>	45
4.9	<i>Exemplo de uma simulação referente à capacidade de cumprir uma encomenda . . .</i>	46
4.10	<i>Exemplo de uma simulação referente à capacidade de embalamento de um depósito .</i>	47
4.11	<i>Página que mostra os movimentos dos lotes de azeite na cooperativa</i>	48
4.12	<i>Página correspondente à gestão de contratos</i>	49
5.1	<i>Demonstração da aplicação web na cooperativa</i>	51

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Comparação das diferentes plataformas de simulação.	19
4.1	Descrição dos ficheiros criados automaticamente quando se cria um projeto no Django	41
4.2	Descrição dos ficheiros criados automaticamente quando se cria uma app no Django	42
5.1	Média das avaliações de cada componente da aplicação web	52

SIGLAS

CABB	Cooperativa Agrícola de Beja e Brinches (<i>pp. 1, 2, 5, 7, 25, 26, 37, 55</i>)
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining (<i>p. 23</i>)
CSS	Cascading Style Sheets (<i>p. 12</i>)
DESMO-J	Discrete-Event Simulation and MOdelling in Java (<i>pp. 18, 19</i>)
HTML	HyperText Markup Language (<i>p. 12</i>)
IoT	Internet of Things (<i>pp. 26, 36, 56, 57</i>)
JDBC	Java Database Connectivity (<i>p. 19</i>)
URL	Uniform Resource Locator (<i>pp. 41, 42</i>)

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Problema

Ao longo da existência da agricultura tem havido uma integração contínua de novas tecnologias com o objetivo de aumentar a produtividade e a eficiência dos processos (McDaniel et al., 2022). Esta tendência persiste nos dias de hoje onde há uma procura de digitalizar a indústria agrícola a partir da recolha de dados e o uso de tecnologias como a internet das coisas, aprendizagem automática ou computação na *cloud*. Algumas das aplicações possíveis passam pela monitorização em tempo real de dados, como a temperatura, e automatização dos processos, por meio de robôs ou outras ferramentas (Said Mohamed et al., 2021; Trendov et al., 2019).

Além de contribuir para o aumento da produtividade e redução de custos, estas tecnologias desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade e na minimização do desperdício em toda a cadeia de produção. A recolha e análise de dados fornece ainda uma visão ampla e estratégica, o que facilita a tomada de decisões informadas (McFadden et al., 2022).

A Cooperativa Agrícola de Beja e Brinches (CABB) é uma organização que pretende otimizar os seus processos através da tecnologia. Esta cooperativa foi criada em 2008 como a união entre a cooperativa agrícola de Beja, direcionada para a indústria dos cereais, e a cooperativa agrícola de Brinches, focada na produção de azeite (FAABA, 2023). Dispõe de dois secadores de milho, dois lagares de azeite e múltiplos postos de receção e armazenamento. A cooperativa permite o armazenamento das matérias-primas e respetiva comercialização assim como o acesso a equipamento de ponta. Para além disso disponibiliza serviços de apoio técnico aos agricultores de forma a melhorar as culturas destes (Marques, 2021).

É na produção do azeite, mais especificamente no seu armazenamento, que este trabalho se foca. Após a transformação da azeitona em azeite, este é armazenado num depósito, caracterizado por um conjunto de parâmetros (picante, amargo, maduro, acidez) e é-lhe atribuído um lote de forma a ser identificado. O produto é movido entre depósitos para economizar espaço ou constituir novos lotes, isto é, compor um novo tipo azeite

a partir da mistura de outros dois. A venda do azeite pode ocorrer a granel ou em embalagens.

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pela cooperativa relaciona-se com a dificuldade em saber a quantidade de azeite real que tem em cada um dos depósitos assim como a percentagem que já se encontra reservada para uma encomenda. Isto resulta em problemas na gestão do inventário de azeite como aceitarem encomendas em quantidade superior ao que realmente têm ou venderem azeite que já estava reservado.

Outro problema relaciona-se com o registo dos movimentos dos lotes de azeite na cooperativa. A anotação é feita em papel pelo funcionário responsável pelo movimento e, posteriormente, é inserido digitalmente por outra pessoa. Este método, para além de ineficiente, é pouco controlado o que por vezes resulta em informação incorreta, por exemplo, depósitos com quantidades de azeite superiores à capacidade real.

Há assim a necessidade de desenvolver um sistema que permita uma gestão do armazenamento do azeite mais eficaz de forma a conter custos, aumentar produtividade e sustentabilidade.

Importante notar que já foi realizada outra tese com a CABB para monitorizar a quantidade de azeite em cada depósito. A dissertação consistiu na instalação de sensores nos depósitos para monitorizar o nível de azeite (Cartaxo, 2021). É na continuidade desta dissertação que este trabalho se vai enquadrar assumindo o acesso em tempo real do nível dos vários depósitos.

1.2 Objetivos e contribuições

Esta dissertação tem como objetivo melhorar a gestão de um lagar de azeite, tanto no armazenamento deste como nas encomendas. A solução passa, portanto, pelo desenvolvimento de um sistema que permite a visualização rápida e descomplicada do inventário atual da cooperativa, juntamente com suas restrições. Também pretende servir como apoio na tomada de decisões referente à administração de encomendas com recurso a simulações e modelos preditivos. Por fim terá ainda um papel de validação e monitorização dos dados. As principais contribuições deste trabalho podem ser resumidas da seguinte forma:

- Plataforma que permite a visualização dos dados da cooperativa, como a quantidade de azeite disponível e reservado, assim como a monitorização destes valores. Também permitirá a simulação de situações referentes ao embalamento de azeite assim como à capacidade de aceitar encomendas. Terá ainda uma componente de registo com validação de forma a reduzir a entrada de informação incorreta.
- Ferramenta de integração dos dados da cooperativa com a aplicação.
- Estudo inicial de como implementar um modelo preditivo de forma a antecipar as necessidades dos clientes de acordo com o historial de encomendas e vendas.

1.3 Estrutura da dissertação

Para além deste primeiro capítulo, onde é feita uma breve descrição do problema, este documento divide-se em mais cinco partes.

No segundo capítulo é descrito o processo de produção de azeite, as características destes e também o funcionamento da cooperativa. São também analisados dois sistemas de apoio à produção de azeite. Por fim há ainda um estudo referente à simulação, ao desenvolvimento web e à aprendizagem automática.

No terceiro capítulo identificam-se os requisitos da aplicação, assim como os seus casos de uso e desenvolve-se o modelo conceptual do sistema.

De seguida, no quarto capítulo, descreve-se como é feita a implementação da solução e as tecnologias usadas.

No quinto capítulo é feita uma análise e discussão dos resultados obtidos.

Por fim no sexto capítulo faz-se uma síntese do trabalho desenvolvido, descreve-se as limitações deste e as perspetivas futuras.

CONTEXTO DO TRABALHO

Neste capítulo são explorados seis tópicos relacionados com a dissertação. O primeiro tema trata-se da produção de azeite, detalha-se qual o processo de transformação da azeitona em azeite e também como o azeite pode ser caracterizado. De seguida é descrito o funcionamento da cooperativa desde a chegada da azeitona até ao embalamento do azeite. Seguidamente são analisados dois casos que procuraram resolver um problema semelhante ao apresentado nesta dissertação. O quarto tópico apresenta um estudo sobre a simulação: qual o seu processo de desenvolvimento, os modelos existentes e como se classificam. Há ainda um estudo comparativo das várias ferramentas de simulação. De seguida é feito um breve estudo sobre desenvolvimento web. Por fim explora-se o tema de aprendizagem automática sendo apresentados que tipos de algoritmos existem. É ainda abordado o tema de modelos preditivos construídos a partir de algoritmos de aprendizagem automática.

2.1 Produção de azeite

O azeite é um produto alimentar líquido, fabricado através de azeitonas, de elevada importância na culinária e na economia de várias regiões, nomeadamente na região mediterrânica. Portugal é o oitavo maior produtor de azeite estimando-se que em 2021 teve a maior produção de azeite de sempre (Lusa, 2021).

Um estudo sobre a produção de azeite é fundamental para compreender o processo e funcionamento da indústria olivícola, da qual a CABB faz parte, de forma a encontrar soluções que se ajustem a esta realidade. Assim, nesta secção, vai-se descrever o processo de produção de azeite assim como as suas características.

2.1.1 Processo de produção de azeite

É no centro de produção de azeite, chamado de lagar, que o processo da transformação da azeitona em azeite ocorre, dividindo-se nas seguintes fases (Galanakis, 2017; Granja-Amareleja, 2015):

- **Receção das azeitonas:** as azeitonas são recebidas pelo lagar, são pesadas e são classificadas tendo como base vários fatores como a origem, variedade e nível de maturação. Também é nesta fase que se procede à separação das folhas e ramos, bem como à lavagem das azeitonas. Simultaneamente identifica-se e isola-se as azeitonas impróprias para consumo.
- **Moenda:** consiste da trituração da azeitona até que se forme uma pasta. Neste processo há a rutura das células da azeitona que resulta na formação de pequenas gotas de óleo.
- **Termobatedura:** baseia-se no batimento lento e contínuo da pasta obtida na moenda a uma temperatura entre 25°C a 30°C. Neste passo dá-se a junção das várias pequenas gotas formadas na fase anterior em gotas maiores.
- **Decantação:** trata-se da divisão da parte sólida, chamada bagaço, da parte líquida, o azeite.
- **Conservação:** O azeite resultante é armazenado em depósitos feitos de material inerte, normalmente em aço inoxidável, de forma a que as características do azeite não se alterem ao longo do tempo.
- **Filtração (opcional):** tem como finalidade remover alguma impureza existente e dá brilho e transparência ao azeite. É um passo opcional que nem todos os produtores realizam.

De notar que este processo pode variar ligeiramente dependendo do produtor. Na figura 2.1 tem-se um esquema das fases principais do processo de transformação das azeitonas em azeite.

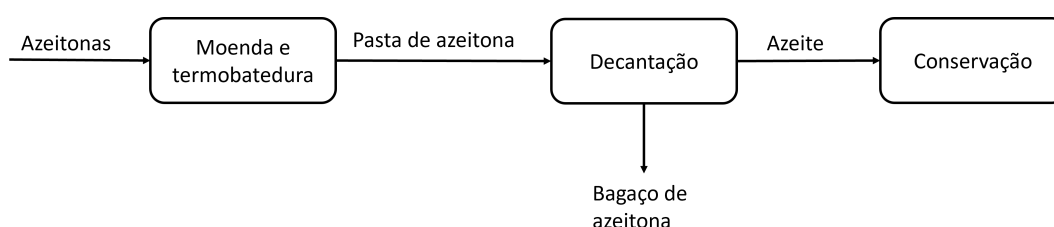


Figura 2.1: Esquema do processo de produção de azeite

2.1.2 Características de azeite

As características do azeite dividem-se em duas grandes categorias: físico-químicas e organoléticas (Ventura, 2018).

Uma das principais características físico-químicas é a acidez que é determinada por análises de laboratório. Através da acidez, como está representado na figura 2.2, é possível classificar o azeite em (ASAE, 2017):

- **Azeite extra virgem:** é obtido unicamente por processos mecânicos e tem uma acidez menor que 0,8%.

- **Azeite virgem:** tem uma acidez entre 0,8% e 2,0%.
- **Azeite lampante:** é um azeite com acidez superior a 2,0% não sendo próprio para consumo sem um processo de refinação.
- **Azeite refinado:** tal como já foi referido é obtido a partir da refinação de azeite lampante. A sua acidez não pode ser superior a 0,3%.
- **Azeite:** trata-se de uma mistura entre azeite virgem, extra-virgem e azeite refinado sendo que tem uma acidez máxima de 1,0%.

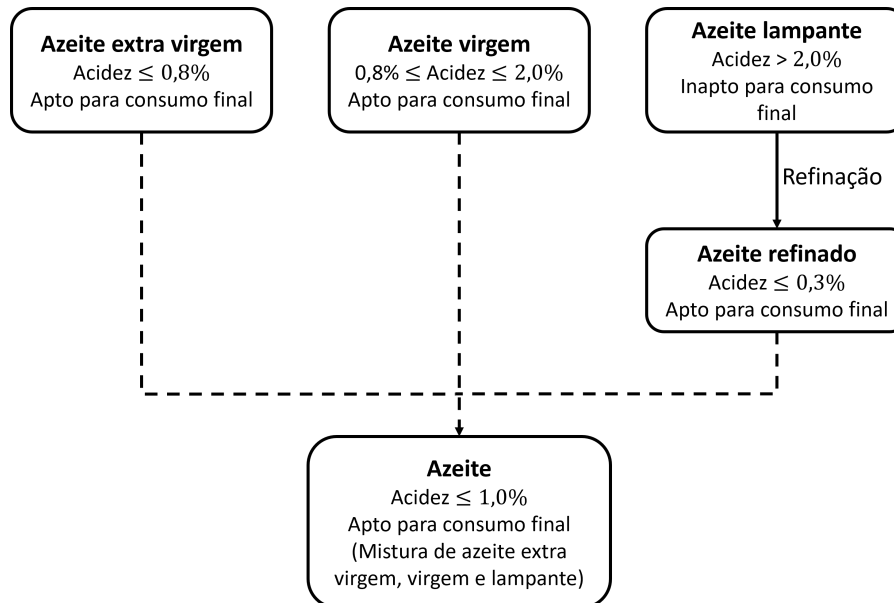


Figura 2.2: Classificação de azeites em relação à acidez, adaptado de (ASAE, 2017)

Além da acidez existem parâmetros sensoriais, ou organoléticos. Estes parâmetros são definidos através de uma degustação realizada por um provador, também chamado de catador (Peri, 2014; Ventura, 2018). É um processo difícil de automatizar pois a classificação não tem como base métodos objetivos mas sim qualitativos.

Entre outras classificações possíveis, as mais usadas pela CABB para distinguir os vários tipos de azeite são o picante, amargo e maduro.

2.2 Funcionamento da CABB

Esta dissertação é feita em parceria com a CABB, uma cooperativa que atua no setor da olivicultura e dos cereais (Marques, 2021), com o objetivo de melhorar a gestão de armazenamento de azeite. Para alcançar esse objetivo, é fundamental compreender o funcionamento da cooperativa, a fim de desenvolver uma solução adequada às suas necessidades específicas. Assim neste capítulo vai detalhar-se o processo desde a receção das azeitonas até a venda do azeite, representado na figura 2.3.

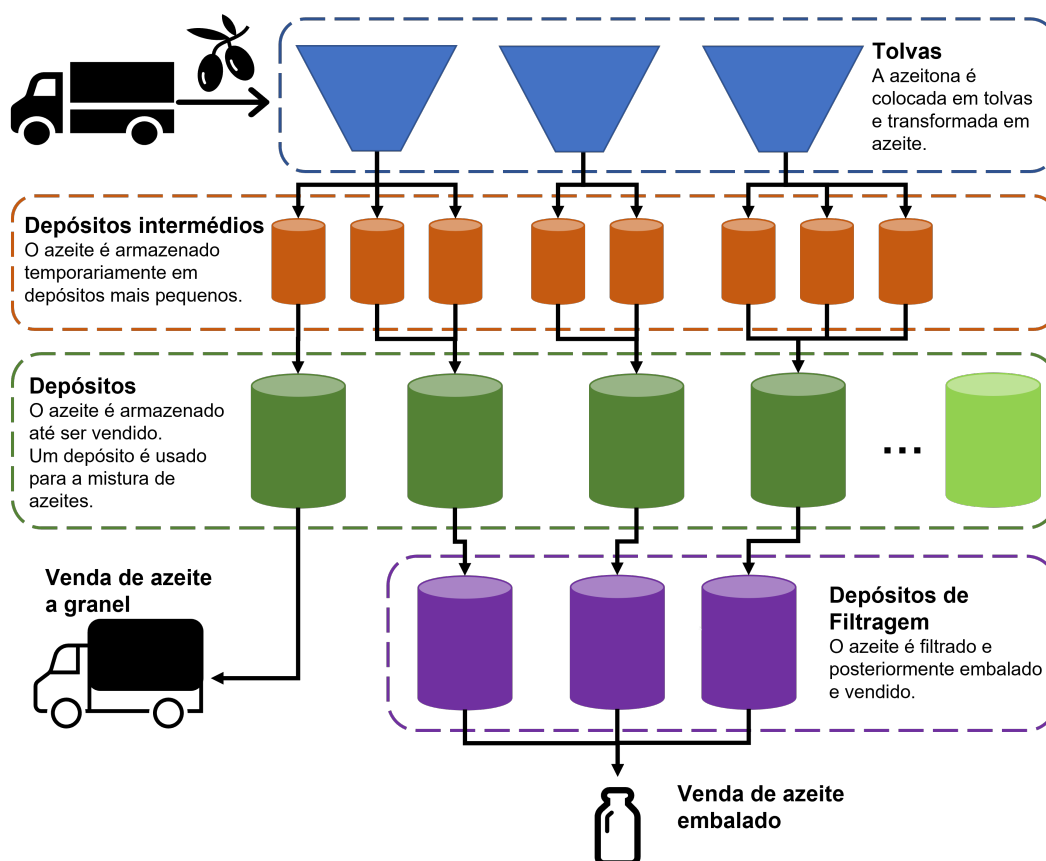


Figura 2.3: Esquema do funcionamento do CABB

O processo tem início com a chegada das azeitonas, entregues pelos produtores, ao lagar. As azeitonas passam por um processo de limpeza, são pesadas e, de acordo com as suas características, movidas para uma das várias tolvas disponíveis. É ainda atribuído um número de lote, de oito algarismos, a cada entrada de azeitona. Este número tem como base a data, a toalha e a localização de entrada. A estrutura deste número está representada na figura 2.4 que detalha o significado de cada dígito. O primeiro dígito identifica o lugar de recolha da azeitona, o segundo dígito o último algarismo do ano, o terceiro e quarto identificam a toalha onde as azeitonas se encontram. Os restantes dígitos identificam a data de entrada. Assim 52021110 refere-se a um lote de azeitona que deu entrada na localização codificada pelo número 5, na toalha identificada pelo número 2 no dia 11 de outubro de 2022.

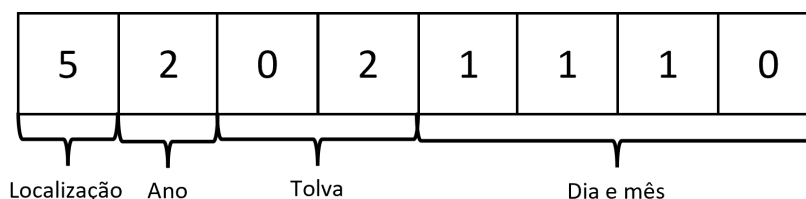


Figura 2.4: Estrutura do número de lote de azeitona

É na tolva que se efetua o primeiro passo da transformação em azeite, com a moenda, sendo o resto do processo igual ao que já foi descrito. Após a extração do azeite este é armazenado e é-lhe atribuído um novo número de lote de nove algarismos com base na data, no depósito em que está e a localização do lagar. A estrutura deste número está representada na figura 2.5 onde se detalha o significado de cada dígito. O primeiro dígito identifica o lagar onde o lote de azeite foi criado, o segundo dígito o último algarismo do ano, o terceiro, o quarto e o quinto identificam o depósito onde o azeite está armazenado. Os restantes dígitos identificam a data de criação do lote. Assim 230750412 refere-se a um lote de azeite formado no dia 4 de dezembro de 2023, no lagar codificado pelo número 2 que está armazenado no depósito número 75.

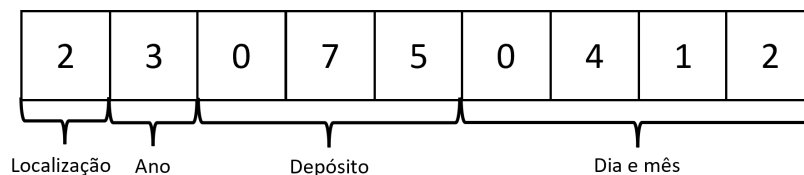


Figura 2.5: Estrutura do número de lote de azeite

Inicialmente o azeite é temporariamente armazenado em depósitos mais pequenos, denominados de depósitos intermédios na figura 2.3, de forma a analisar as características dos diferentes azeites e poder agrupar os que são semelhantes. Posteriormente é armazenado em depósitos maiores até ser vendido. Pode ainda haver movimento entre depósitos com o objetivo de economizar espaço ou criar novos tipos de azeites, havendo um tanque reservado para este efeito.

Finalmente o azeite pode ser vendido a granel ou por garrafas. A venda a granel é feita com base em contratos onde um cliente reserva certa quantidade de azeite de um ou mais depósitos. No caso de venda por embalagem o azeite vai primeiro para depósitos onde é filtrado e depois embalado.

O registo dos movimentos do azeite entre os vários depósitos é registado em papel pelo funcionário que movimenta os lotes. Posteriormente os papeis são entregues a outra pessoa que se encarrega de realizar o registo digital. O registo da chegada da azeitona é automatizado sendo que a zona onde este processo ocorre está presente na figura 2.6a. Também os registos relacionados ao embalagem, estando a área onde estes ocorrem representada na figura 2.6b, são feitos de forma automática.



(a) Zona de entrada da azeitona



(b) Zona de embalagem do azeite

Figura 2.6: Zonas automáticas da cooperativa

2.3 Sistemas de apoio à produção de azeite

A análise dos produtos nos sistemas de apoio à produção de azeite disponíveis no mercado desempenha um papel crucial na avaliação do estado atual da indústria e na identificação de eventuais limitações. Nesta secção, vai-se proceder à análise de duas soluções existentes no contexto da indústria oleícola. O primeiro caso será direcionado predominantemente à questão do armazenamento do azeite, enquanto o segundo abordará de forma integral todo o processo envolvido na produção do azeite.

2.3.1 Sistema de supervisão para lagares de azeite

Como parte de seu foco na automatização de processos industriais, a Indea Technologies desenvolveu um sistema de monitorização em tempo real para depósitos de azeite. Este sistema tem como objetivo monitorizar de forma precisa e eficiente diversos aspetos relacionados com o armazenamento de azeite (Indea Technologies, 2011).

Neste sistema, para cada depósito, monitoriza-se a quantidade de azeite presente neste. Para além disto mantém-se ainda um registo das características do azeite e do histórico de movimentos. O sistema permite ainda uma visão mais geral do lagar através de informação como a quantidade total de azeite existente neste.

Para facilitar o acesso a estas informações o sistema tem uma *interface* que permite aos utilizadores acederem aos dados, conforme está demonstrado na figura 2.7.

2.3. SISTEMAS DE APOIO À PRODUÇÃO DE AZEITE



Figura 2.7: Software desenvolvido pela Indea Technologies para supervisão de um lagar de azeite (IndeaTechnologies, 2011).

2.3.2 Almazara conectada 4.0

A almazara conectada 4.0 trata-se de uma plataforma de *hardware* e *software*, desenvolvida pela Ansofec, com a finalidade de digitalizar lagares de azeite em todo o seu processo, desde a receção da azeitona até à dispensa final do azeite (Ansofec, 2023).

O sistema permite o acesso em tempo real e integração de todos os dados gerados na transformação da azeitona em azeite (produção, gasto de energia, rendimentos, etc...). Possibilita ainda controlar os vários processos da produção. Pode-se observar esta plataforma na figura 2.8.



Figura 2.8: Produto desenvolvido pela Ansofec de apoio à produção de azeite (Ansofec, 2023).

As duas soluções estudadas apresentam uma otimização no armazenamento do azeite sendo que a Almazara conectada 4.0 se expande para toda a produção. Ambos os produtos são pagos e requerem a obtenção de hardware compatível com o software criado o que implica um investimento significativo por parte dos lagares.

Com este trabalho pretende-se fazer o reflexo em tempo real do lagar da cooperativa, como os produtos estudados, mas também permitir a exploração e simulação de vários cenários relacionados com o armazenamento de forma a ajudar na tomada de decisões. Outro objetivo é ainda o desenvolvimento de uma solução com poucos custos monetários que se integre com as tecnologias já existentes na cooperativa.

2.4 Desenvolvimento Web

O desenvolvimento web refere-se a todo o processo de criação e manutenção de *websites* e aplicações *web*. Neste contexto, quando uma pessoa acede a um *website* pelo *browser*, está na realidade a mandar um pedido, pela *internet*, a um servidor que vai responder com toda a informação necessária para a página carregar. Pode-se ver o esquema desta comunicação na figura 2.9.

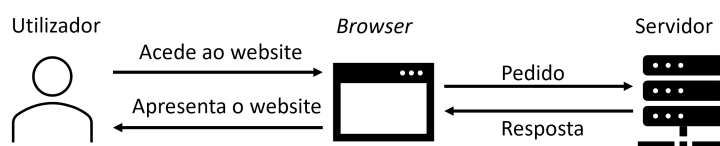


Figura 2.9: Esquema de comunicação quando se acede a um website

Consequentemente o desenvolvimento web pode ser dividido em desenvolvimento *frontend*, relacionado com o *browser*, e *backend*, relacionado com o servidor (Connolly & Hoar, 2015).

Neste capítulo vão ser exploradas algumas das tecnologias usadas em *frontend* e *backend*.

2.4.1 Frontend

O *frontend* foca-se na apresentação da página web sendo que, para este efeito, todos os *websites* usam HyperText Markup Language (HTML) e Cascading Style Sheets (CSS). O HTML é uma linguagem de marcação usada para estruturar a página através de elementos como parágrafo, título, imagem, entre muitos outros. O CSS é uma linguagem de estilo que descreve a formatação e apresentação dos elementos HTML, por exemplo, indicar a cor e o tamanho da letra (Duckett, 2014).

Com o HTML e CSS consegue-se criar páginas estáticas, isto é, páginas que não sofrem alterações e são iguais para todos os utilizadores. Para criar páginas dinâmicas, com animações e que se adaptam e reagem à utilização de cada utilizador, é necessário usar JavaScript (Connolly & Hoar, 2015). JavaScript é uma linguagem de programação que

permite alterar a estrutura e o comportamento de páginas da web de maneira dinâmica e que permite tornar estas mais interativas e personalizadas a cada utilizador (MDN, 2023).

De forma a simplificar e facilitar o processo de desenvolvimento pode-se usar *frameworks* (Connolly & Hoar, 2015). As *frameworks* de *frontend* mais usadas atualmente são React, Angular e Vue.js (Greif & Burel, 2022).

2.4.2 Backend

O *backend* tem como função responder a todos os pedidos gerados pelo utilizador para que o *website* seja funcional. Isto pode implicar o armazenamento de dados dos utilizadores e do programa, autenticações, entre outros (Connolly & Hoar, 2015). Assim sendo as tecnologias usadas vão depender das funcionalidades da aplicação.

Também neste caso é possível usar *frameworks*, sendo Lavarel, Django e Spring algumas das *frameworks* de *backend* mais populares (Statistics & Data, 2023).

No âmbito desta dissertação pretende-se que através de uma aplicação *web* os funcionários tenham acesso facilitado a todas as informações da cooperativa e a todas as funcionalidades desenvolvidas. Ao simplificar o acesso às informações e ferramentas essenciais permite-se que os funcionários tomem decisões mais informadas e ágeis o que resulta numa melhor gestão. Esta abordagem melhora significativamente a eficiência e a acessibilidade das operações da cooperativa.

2.5 Simulação

A simulação permite explorar um sistema e os seus vários cenários num ambiente sem riscos, inclusive possibilita o teste de novas configurações. Para além disto facilita a análise dos processos modelados, o que resulta numa melhor compreensão do funcionamento destes assim como a sua otimização. De notar que o processo de desenvolvimento de um modelo de simulação é longo e dispendioso sendo que os resultados obtidos podem ser de difícil interpretação (Banks, 1999).

Neste capítulo vai-se começar por explicar quais os passos a seguir para desenvolver uma simulação. De seguida são descritos como são classificados os modelos de simulação e explora-se técnicas para o seu desenvolvimento. Por fim comparam-se algumas ferramentas de simulação.

2.5.1 Processo de desenvolvimento de uma simulação

Na literatura encontram-se vários métodos para o desenvolvimento de uma simulação que variam na quantidade de etapas, na ordem pelas quais estes são apresentados assim como que detalhes ter em conta (Banks, 1999; Greasley, 2008; Yin & McKay, 2018). Embora os métodos estudados tenham algumas discrepâncias é possível encontrar etapas em

comum. O processo de desenvolvimento, representado na figura 2.10, pode então ser dividido em sete partes:

- **Formulação do problema:** é nesta primeira fase que se identifica qual o problema a ser resolvido e definem-se os objetivos da simulação. Também é necessário determinar os recursos necessários e o prazo para o desenvolvimento do modelo.
- **Recolha de dados:** nesta etapa são recolhidas todas as informações necessárias para o desenvolvimento e validação do modelo de simulação. A qualidade dos dados é fundamental uma vez que estes serão a base do modelo. Se os dados forem insuficientes ou de má qualidade o resultado será um modelo que não representa adequadamente o sistema a ser simulado.

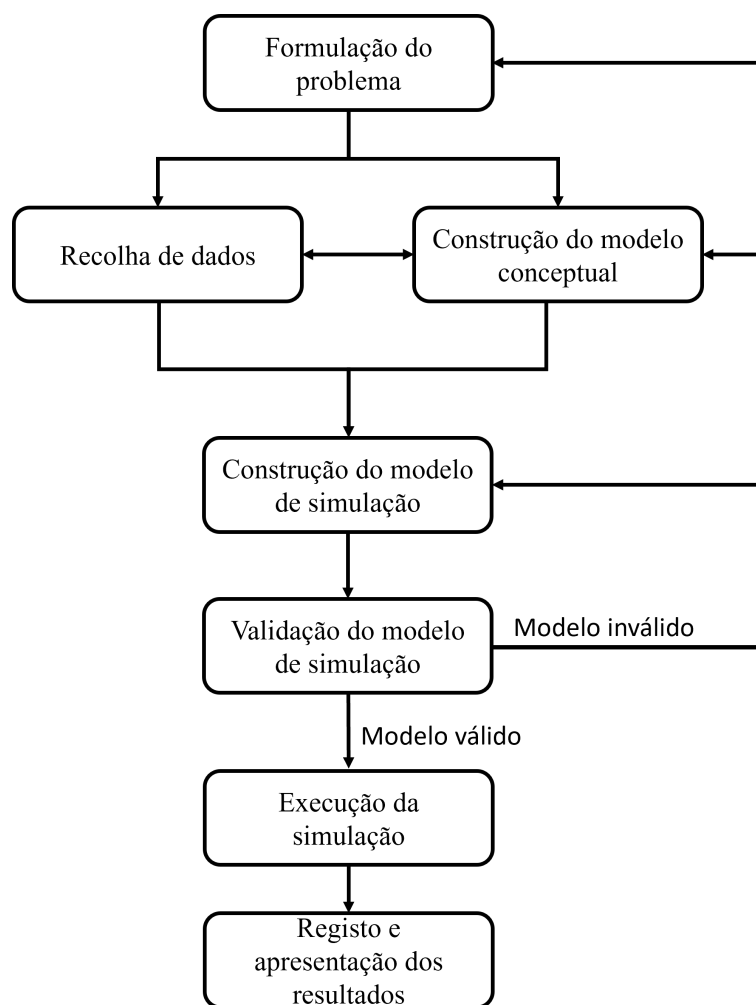


Figura 2.10: Esquema do processo de simulação, adaptado de (Yin & Mckay, 2018)

- **Construção do modelo conceptual:** o modelo conceptual trata-se de uma descrição de alto nível do sistema estudado, das suas componentes e como estas se relacionam entre si. Este modelo pode ser desenvolvido em simultâneo com a recolha de dados.
- **Construção do modelo de simulação:** escolhe-se qual o método de simulação e programa-se o modelo conceptual através de linguagens de programação ou de um

software de simulação.

- **Validação do modelo de simulação:** o modelo é válido se o seu comportamento corresponder ao esperado. Se o comportamento não for o previsto então será necessário refazer passos anteriores: reprogramar o modelo, redesenhar o modelo conceptual ou até mesmo voltar à formulação do problema.
- **Execução da simulação:** o modelo de simulação é executado com base nos parâmetros definidos e nas configurações específicas dos cenários a serem simulados.
- **Registo e apresentação dos resultados:** deve ser elaborado um documento com os objetivos, modelo conceptual, uma descrição do programa assim como os resultados e conclusões da simulação.

2.5.2 Classificação de modelos de simulação

Segundo (Law, 2015) os modelos de simulação podem ser classificados em três vertentes:

- **Estáticos ou dinâmicos:** relaciona-se com a existência de tempo na simulação. Um modelo estático representa um sistema num determinado momento sendo que o tempo não tem influência. O oposto acontece nos modelos dinâmicos que representam um sistema ao longo do tempo.
- **Determinísticos ou estocásticos:** tem a ver com a existência de componentes probabilísticas no modelo. Caso não existam então o modelo diz-se determinístico e, desde que não se altere as relações ou as entradas, terá sempre a mesma saída. Se existirem diz-se estocástico e a saída vai variar sempre que a simulação ocorrer.
- **Contínuos ou discretos:** caracteriza o modo como o estado do modelo se altera em relação à passagem do tempo. Numa modelação contínua o estado altera-se constantemente, numa modelação discreta altera-se instantaneamente em certos pontos.

Os modelos desenvolvidos no contexto desta dissertação serão determinísticos e estáticos. A classificação de contínuos ou discretos não se aplica uma vez que estes se relacionam com a passagem de tempo que não ocorre em modelos estáticos.

2.5.3 Modelos de simulação

Nesta secção são apresentadas abordagens para a construção do modelo de simulação. Começa-se por uma descrição da modelação de eventos discretos, continua-se com a modelação de dinâmica de sistemas e de seguida tem-se a modelação baseada em agentes. Por fim aborda-se a modelação híbrida que se trata de uma combinação das técnicas referidas.

- **Modelação de eventos discretos**

A modelação de eventos discretos implica um modelo dinâmico e discreto, onde o estado do sistema sofre alterações em pontos discretos no tempo de forma instantânea. Quando estas alteração do estado do sistema ocorrem está-se perante um evento (Cassandras & Lafortune, 2008; Law, 2015).

O sistema pode ser atualizado em intervalos regulares de tempo onde os eventos são processados assim como as respetivas mudanças de sistema ou pode ser atualizado apenas quando ocorre um evento (Cassandras & Lafortune, 2008).

Um exemplo de utilização desta modelação será uma fila de pessoas (entidades) que aguardam a sua vez para poderem usar o multibanco (recurso). Há dois eventos, a chegada e a saída de pessoas, e uma variável de estado, número de entidades na fila, que é alterada pelos eventos. O tempo que a pessoa demora a consumir o recurso pode ser determinística ou baseado em parâmetros estocásticas (Cassandras & Lafortune, 2008).

• **Modelação de dinâmica de sistemas**

Trata-se de uma técnica de modelação para descrever um sistema, sendo que implica uma abstração e simplificação do problema onde apenas os aspetos mais relevantes são incluídos no modelo. É composto por um conjunto de relações causais entre variáveis, representadas na forma de equações matemáticas, sendo que as mudanças nas variáveis dão-se continuamente (Popova, 2012).

Baseia-se numa estrutura de *stocks*, que representam variáveis, e fluxos, que representam um acréscimo ou decréscimo do valor dos *stocks*. Em todos os casos as unidades dos fluxos são a unidade do *stock* dividida por o período de tempo escolhido para a modelação (Ullrich & Lückerath, 2017).

Outro elemento que define a modelação de dinâmica de sistema são os *feedback loops*. Estes ocorrem quando um *stock* influencia, direta ou indiretamente, o fluxo que altera o seu valor que por sua vez vai influenciar outra vez o fluxo e assim sucessivamente (Ullrich & Lückerath, 2017).

Na figura 2.11 tem-se um exemplo de um modelo de dinâmica de sistemas que simula o crescimento de uma população.

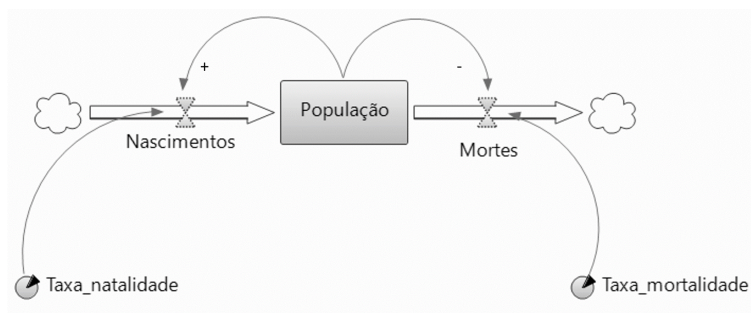


Figura 2.11: Modelo de dinâmica de sistemas que pretende representar o crescimento de uma população, adaptado de (Popova, 2012)

A população trata-se de um *stock* e a taxa de natalidade, assim como a de mortalidade,

são fluxos. Os nascimentos são calculados através do produto da população com a taxa de nascimento e as mortes através do produto da população com a taxa de mortalidade. Existem dois *feedback loops*, um positivo e um negativo. O positivo acontece no aumento da população. Quando a população aumenta vai aumentar também o número de nascimentos o que por sua vez aumenta o número de população o que vai resultar num crescimento exponencial. No negativo, referente aos óbitos, quanto maior a população, maior será o número de óbitos o que vai reduzir a população que por sua vez reduzirá o número de óbitos.

- **Modelação baseada em agentes**

Neste tipo de modelação em vez de se descrever um sistema como um todo modela-se o comportamento individual de entidades, denominadas de agentes, pertencentes a esse sistema. É a partir da interação entre os vários agentes que vai ser possível a exploração do sistema (Klügl & Bazzan, 2012).

Tipicamente este tipo de modelação é composta por três elementos: os agentes, as relações dos agentes e o ambiente (Macal & North, 2014). Cada agente tem um conjunto de características, comportamentos, variáveis que representam o seu estado, assim como a capacidade de tomar decisões. As relações indicam como os vários agentes se relacionam entre si e com o ambiente. Por fim, o ambiente é onde os agentes existem e interagem entre si assim como outros possíveis elementos existentes no ambiente (Klügl & Bazzan, 2012; Macal & North, 2014).

Este tipo de modelação poderá ser usada, por exemplo, na simulação de transmissão de uma doença numa cidade. Os agentes serão as pessoas que podem ou não estar infetados com a doença sendo o comportamento destes a movimentação ao longo da cidade. A cidade será o ambiente com medicamentos (recursos) que curam a doença. Por fim a interação entre agentes será a passagem da doença de pessoas doentes para pessoas saudáveis.

- **Modelação híbrida**

Por vezes um sistema é demasiado complexo para ser modelado com apenas um método. Nestes casos é mais vantajoso dividir o sistema e modelar cada parte com uma técnica diferente. O sistema é assim representado pela composição das várias partes sendo um modelo híbrido (Borshchev, 2014). Por exemplo, o funcionamento de um hospital pode usar modelação de eventos discretos mas os pacientes e médicos serem modelados como agentes.

2.5.4 Ferramentas de simulação

Há diversas ferramentas de simulação, cada uma com as suas características, vantagens e desvantagens. Nesta secção vai-se comparar cinco ferramentas de simulação, começando

com uma breve descrição de cada, sendo que todas têm a capacidade de modelar, pelo menos, sistemas de eventos discretos.

- **Anylogic**

É uma ferramenta de modelação e simulação da *The Anylogic Company* e afirma ser o único produto capaz de simulação multi-método, isto é, que suporta os três tipos de modelação, e permite usá-los simultaneamente na descrição de um sistema. É bastante versátil no que toca à sua aplicabilidade (Anylogic, 2022).

- **Arena**

Trata-se de um *software* de simulação da *Rockwell Automation* para modelação de eventos discretos. Foi criado com a análise e otimização de processos de um determinado negócio em mente (RockwellAutomation, 2022).

- **Simio**

Simio, da Simio LLC, permite os três tipos de modelação sendo que é usado para melhorar o desempenho de sistemas em várias indústrias, como a militar ou a da saúde (Simio, 2022).

- **FlexSim**

Corresponde a um programa de simulação de eventos discretos para análise, visualização e otimização de processos do mundo real (Flexsim, 2022).

- **DESMO-J**

Discrete-Event Simulation and MOdelling in Java (DESMO-J) refere-se a uma biblioteca Java *open-source* para simulação e modelação de eventos discretos desenvolvida pela universidade de Hamburgo (University of Hamburg Department of Computer Science, 2022).

Nem todos os produtos têm as suas características expostas de forma clara, completa e fácil de encontrar, tendo de se recorrer a informação de terceiros. O Arena e o FlexSim são as plataformas mais fracas neste aspeto enquanto que a Anylogic é a melhor onde toda a informação é bastante acessível.

Com a informação de um inquérito realizado a várias empresas com produtos de simulação (AnyLogic, 2018), assim como as encontradas nos *websites* dos vários produtos, elaborou-se a tabela 2.1. Nesta tabela comparam-se as várias ferramentas em cinco aspetos: modelos de simulação suportados, tipos de animação, com que bases de dados têm integração, qual a linguagem de programação e se uma versão grátis está disponível.

Como já foi referido todos os produtos conseguem modelar sistemas de eventos discretos sendo que o Anylogic e o Simio também conseguem modelar dinâmica de sistemas e sistemas baseado em agentes.

Tabela 2.1: Comparação das diferentes plataformas de simulação.

	Anylogic	Arena	Simio	FlexSim	Desmo-J
Modelação	-Eventos discretos -Dinâmica de sistemas -Baseada em agentes	-Eventos Discretos	-Eventos discretos -Dinâmica de sistemas -Baseada em agentes	-Eventos Discretos	-Eventos Discretos
Animação	2D/3D	2D/3D	2D/3D	3D	2D/3D
Integração com base de dados	-Oracle -MS SQL -MySQL -PostgreSQL -MS Access -Excel -Ficheiros de texto	Informação não disponível	-Excel -Access -SQL Server -MySQL	-Excel -Outros (não especifica quais)	Qualquer base de dados que tenha um <i>driver</i> Java Database Connectivity (JDBC)
Linguagem programação	Java	Visual basic (VB)	.Net	C++	Java
Versão grátis	Sim	Sim	Sim	Sim mas apenas para avaliação	Open-source

Em relação à animação todos permitem em 2D e 3D, com exceção do FlexSim que apenas permite 3D.

O DESMO-J (com o JDBC (Oracle, 2022)), seguido do Anylogic, são as ferramentas que têm integração com um maior número de base de dados. O FlexSim tem informação incompleta relativa a este aspeto enquanto que o Arena não a disponibiliza.

Excluindo o DESMO-J, todos os programas têm em mente a modelação de um modo gráfico, no entanto todos permitem o uso de programação caso seja necessário. O Anylogic e o DESMO-J usam Java, o Arena Visual Basic, Simio linguagens suportadas por .Net e FlexSim C++.

Por fim, todos têm uma versão grátis mas no caso do FlexSim é apenas de avaliação. De notar que, tirando o DESMO-J que é *open-source*, a versão grátis das restantes plataformas tem limites no tamanho do modelo.

Uma alternativa ao uso das ferramentas mencionadas é a linguagem de programação Python. Embora esta não tenha sido desenvolvida com o objetivo de criar simulações pode ser usada para tal. Em conjunto com as várias bibliotecas que tem disponível, como o SimPy que permite modelação de eventos discretos (SimPy, 2023), é possível criar modelos de simulação (Nelson, 2021).

Através da simulação pretende-se permitir a exploração e análise de vários cenários relacionados com o embalamento e gestão de encomendas na cooperativa. Esta abordagem contribui significativamente para uma tomada de decisões mais informada e estratégica que por sua vez deverão resultar em melhorarias no funcionamento do lagar e redução custos.

2.6 Aprendizagem Automática

A aprendizagem automática, também conhecida como *machine learning*, trata-se de um subgrupo da inteligência artificial responsável por detetar padrões num conjunto de dados de forma autónoma (Janiesch et al., 2021; Lee & Shin, 2020). A ideia fundamental por trás da aprendizagem automática é permitir que os computadores aprendam a partir dos dados, eliminando a necessidade de programá-los para tarefas específicas.

Para alcançar esse objetivo, um modelo de aprendizagem automática recebe dados de entrada, conhecidos como *features*, e produz uma saída chamada *target*. A escolha das *features* é essencial para a qualidade de um modelo de aprendizagem automática pois é com base nestas que o modelo irá aprender a relação subjacente nos dados e, conseqüentemente, realizar previsões ou tomar decisões (Brownlee, 2020).

A aprendizagem dos modelos é viabilizada por meio de algoritmos, sendo que a decisão sobre qual utilizar é influenciada pela complexidade e pelos requisitos do problema em questão. A escolha do algoritmo é essencial para garantir que o modelo é eficiente na extração de informações significativas dos dados e capaz de produzir resultados confiáveis.

Neste capítulo vão ser descritos como se classificam os algoritmos de aprendizagem automática. Por fim explora-se como a aprendizagem automática pode ser usada para a criação de modelos preditivos.

2.6.1 Tipos de algoritmos de aprendizagem automática

Normalmente os algoritmos de aprendizagem automática são divididos em três categorias: aprendizagem supervisionada, aprendizagem não supervisionada e aprendizagem por reforço. Além destas categorias algumas fontes consideram ainda a aprendizagem semi-supervisionada, que combina elementos de aprendizagem supervisionada e não supervisionada, no entanto esta secção vai-se focar apenas nas três categorias inicialmente mencionadas.

Aprendizagem supervisionada

Neste tipo de aprendizagem o objetivo do algoritmo é encontrar uma relação entre entradas e as saídas através da análise de pares de entrada-saída (Mahesh, 2020; Sarker, 2021). As relações encontradas permitem assim que o modelo consiga inferir o par de saída correspondente ao par de entrada sem que este tenha de estar explícito.

Para usar este tipo de aprendizagem é então necessário que os dados de entrada sejam rotulados, isto é, que o seu par de saída seja identificado. Alimenta-se o algoritmo com estes dados e os rótulos correspondentes. Normalmente o conjunto destes dados são divididos em dois: treino e teste. O modelo é desenvolvido com base nos dados de treino e, ao comparar a classificação dada pelo modelo aos dados de teste com a classificação real, é feita a validação (Mahesh, 2020).

Este tipo de algoritmo é usado principalmente com dois propósitos (Sarker, 2021):

Classificação: corresponde ao processo de atribuir uma categoria, de um conjunto pré definido, a um item. Neste caso o valor atribuído será sempre discreto (Jo, 2021). Um exemplo, presente na figura 2.12, pode ser a classificação de pedidos de empréstimo, isto é, aprovar ou não com base em fatores como a idade, salário e número de filhos.

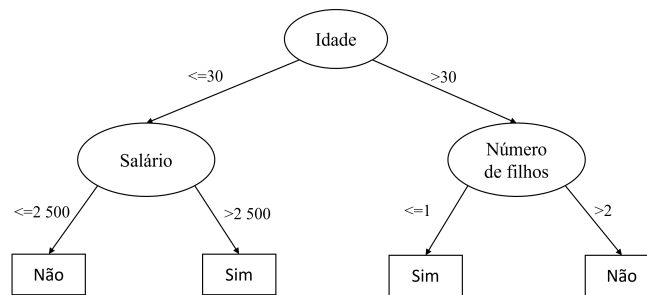


Figura 2.12: Exemplo de uma árvore de decisão, adaptado de (SIMONE, 2020)

Regressão: trata-se do processo de estimar um, ou mais, valores com base nos dados de entrada. Ao contrário da classificação aqui o valor é contínuo (Jo, 2021). Um exemplo será um modelo que prevê o preço de um produto com base no histórico de vendas e nas condições de mercado.

Aprendizagem não supervisionada

Na aprendizagem não supervisionada os algoritmos tentam identificar uma estrutura ou padrões em dados não rotulados (J. Kelleher et al., 2020; Mahesh, 2020). Esta abordagem é principalmente usada para (Mahesh, 2020):

Agrupamento de dados: agrupa dados de semelhantes permitindo a descoberta de padrões nos dados (Lee & Shin, 2020). Possibilita, por exemplo, agrupar clientes de uma loja de acordo com os seus hábitos de compras.

Redução de dimensionalidade: o objetivo é reduzir o número de variáveis num conjunto de dados sem que se perca informações importantes. É comum usar em conjuntos de dados para facilitar a visualização destes assim como poupar recursos quando usados para treinar um modelo (Jo, 2021).

Aprendizagem por reforço

A aprendizagem por reforço é um paradigma de aprendizagem onde um agente interage com um ambiente e toma decisões com base nas observações desse ambiente. Após cada tomada de decisão recebe uma recompensa, um valor numérico cujo valor depende das consequências da ação no ambiente. Quanto mais as consequências das ações estão em concordância com os resultados pretendidos maior é o valor da recompensa. Se não estiver em concordância o valor é mais baixo. O objetivo principal do agente é aprender a tomar decisões de forma a maximizar a recompensa ao longo do tempo (J. Kelleher et al., 2020). Na figura 2.13 está representado este processo.

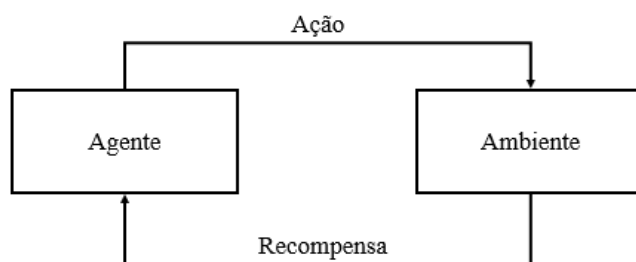


Figura 2.13: Esquema do funcionamento da aprendizagem por reforço.

Na figura 2.14 estão resumidos os diferentes tipos de algoritmos, aprendizagem supervisionada, não supervisionada e por reforço, e os seus principais usos.

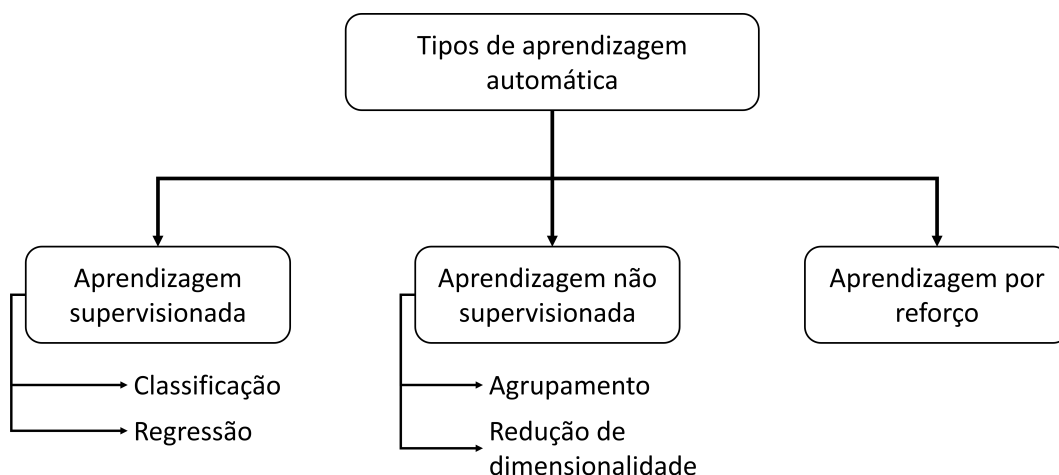


Figura 2.14: Tipos de algoritmos de aprendizagem automática

2.6.2 Modelos preditivos

Os modelos preditivos utilizam padrões identificados em dados históricos com o propósito de apoiar na tomada de decisões (J. D. Kelleher et al., 2015). Para atingir este objetivo utilizam-se algoritmos de aprendizagem automática supervisionada que permitem este reconhecimento de padrões nos dados (Abbott, 2014).

Embora a principal função destes modelos seja a previsão estes também são utilizados para compreender o funcionamento e as relações entre diferentes componentes do sistema modelado. Neste aspeto quanto mais complexo for o modelo maior será a dificuldade de o compreender no entanto deverá ser mais preciso (Kuhn & Johnson, 2013).

Em geral, os modelos preditivos permitem melhorar a precisão e eficiência dos processos que modelam assim como apoiar na tomada de decisão. No entanto, se o processo de desenvolvimento não for rigoroso, por exemplo tiver como base dados incompletos, os modelos podem produzir previsões incorretas. Assim, na utilização destes modelos, é

crucial manter uma perspetiva crítica e avaliar sempre a viabilidade da previsão (Kuhn & Johnson, 2013).

Nesta secção vai-se detalhar o processo de desenvolvimento de um modelo preditivo.

2.6.2.1 Processo de desenvolvimento de um modelo preditivo

Para o desenvolvimento de modelos preditivos, optou-se por seguir os passos do Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM), uma metodologia amplamente adotada na indústria. Embora inicialmente concebida para data mining, essa abordagem é facilmente adaptável a projetos de desenvolvimento de modelos preditivos (Abbott, 2014; J. D. Kelleher et al., 2015), dividindo-se em seis etapas (Chapman et al., 2000):

- **Contextualização:** consiste em definir e compreender os objetivos e requisitos do contexto e da área de atuação deste. De seguida traduz-se para uma perspetiva mais técnica e planifica-se uma solução.
- **Compreensão dos dados:** refere-se ao estudo dos dados disponíveis devendo-se analisar a qualidade e viabilidade destes. Por vezes nesta etapa conclui-se que não é possível cumprir os requisitos acordados tendo que os reformular e portanto repetir a fase anterior. É também neste passo que se enquadra a recolha de dados se tal for necessário.
- **Preparação dos dados:** nesta fase escolhe-se que dados usar sendo estes formatados e limpos, por exemplo retirar informações erradas, de acordo com as necessidades. É nesta fase que se definem as features e targets.
- **Modelação:** nesta etapa são escolhidas várias técnicas de modelação apropriadas para a resolução do problema e os modelos desenvolvidos.
- **Avaliação:** escolhem-se as métricas pelas quais os modelos mais promissores que emergiram no passo anterior vão ser avaliados. É possível que não se consiga chegar a um modelo que satisfaça os requisitos o que resulta na repetição de partes do CRISP-DM.
- **Implementação:** o modelo, assim como o conhecimento obtido através destes, é organizado e apresentado de forma a poder ser usado pelo utilizador final.

Na figura 2.15 está representado o processo descrito com as várias fases do processo e as relações entre estas. Como se pode ver este modelo não segue uma ordem rígida, sendo comum a necessidade de repetir etapas anteriores.

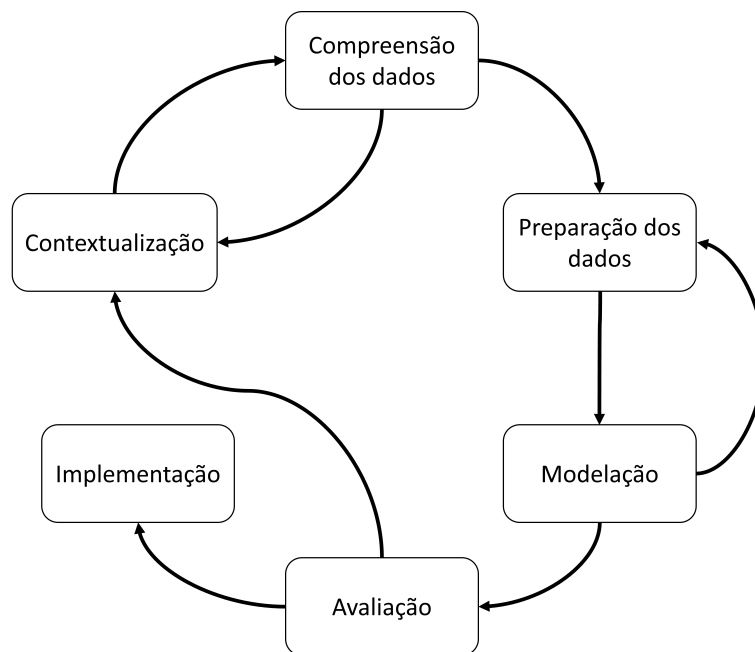


Figura 2.15: *Esquema do processo de desenvolvimento de um modelo preditivo*

No contexto do funcionamento da cooperativa os modelos preditivos podem ser usados de forma a antecipar as necessidades dos clientes com base no histórico de vendas. Assim a cooperativa pode tomar medidas proativas para satisfazer necessidades dos seus clientes eficazmente.

MODELAÇÃO DO SISTEMA

Neste capítulo é proposta uma solução para o desenvolvimento de uma plataforma de simulação para apoiar a gestão e armazenamento de azeite. Inicialmente é feito um levantamento dos requisitos que o sistema deve cumprir assim como os casos de uso previsto. Com base neste levantamento é proposto um modelo conceptual para a implementação do sistema. São analisadas as várias componentes e como estas interagem entre si.

3.1 Requisitos

Como já foi referido o projeto é feito em parceria com a CABB sendo o principal objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de simulação para apoiar a gestão e armazenamento de azeite que optimize o processo e auxilie na tomada de decisões.

A plataforma deve então permitir aos utilizadores:

- Monitorização em tempo real dos depósitos. Deve ser possível ver a quantidade de azeite em cada depósito assim como as suas características.
- Visualização de reservas. Deve ser possível ver a quantidade reservada em cada depósito.
- Registrar e consultar os movimento de lotes de azeite.
- Simular a capacidade do lagar no que toca a encomendas.
- Simular a capacidade de embalamento dos vários depósitos.
- Consultar previsões das necessidades dos clientes no que toca à compra de azeite.
- Adicionar e atualizar informação referente ao funcionamento da cooperativa como depósitos, lotes, clientes, entre outros.

A plataforma deve ainda garantir que não seja possível fazer registos errados de forma a que os dados sejam consistentes e confiáveis.

Para além disto, de forma a que apenas pessoas autorizadas possam ter acesso aos dados da cooperativa, a plataforma deverá ter autenticação com três tipos de utilizadores:

- **Operador:** terá acesso à informação do lagar, assim como às recomendações. Poderá ainda fazer simulações.

- **Utilizador:** para além das permissões do operador deverá poder registar novos lotes e as suas características assim como os movimentos destes entre depósitos. Por fim pode ainda consultar o histórico de movimentos dos lotes de azeite.
- **Administrador:** poderá gerir as permissões dos utilizadores assim como adicionar e alterar informações referentes ao funcionamento da CABB. Terá as mesmas permissões que os tipos anteriormente mencionados.

3.2 Casos de uso

Na figura 3.1 tem-se o modelo dos casos de uso que vão ao encontro dos requisitos identificados anteriormente. Este modelo evidencia as diversas interações possíveis entre os utilizadores e a plataforma projetada para a otimização da gestão e armazenamento de azeite.

O operador tem como ações a autenticação na aplicação, a visualização do estado do lagar (que inclui a monitorização em tempo real dos depósitos assim como das reservas), a realização de simulações e a consulta de recomendações.

O utilizador terá as mesmas ações com o acrescento de poder registar, com a devida validação, e visualizar o movimento dos lotes de azeite.

O administrador tem como ação, para além do que já foi mencionado, a gestão de permissões dos utilizadores assim como a adição/atualização de informações, com a devida validação, referentes ao funcionamento da cooperativa.

O serviço de autenticação é crucial para que o acesso à plataforma seja controlado, de forma a garantir que apenas utilizadores devidamente autorizados possam aceder à plataforma e realizar as operações que lhes são permitidas.

Por fim, a integração com um sistema Internet of Things (IoT) possibilita a recolha de dados em tempo real relativos aos depósitos na cooperativa, o que é essencial para a monitorização em tempo real destes.

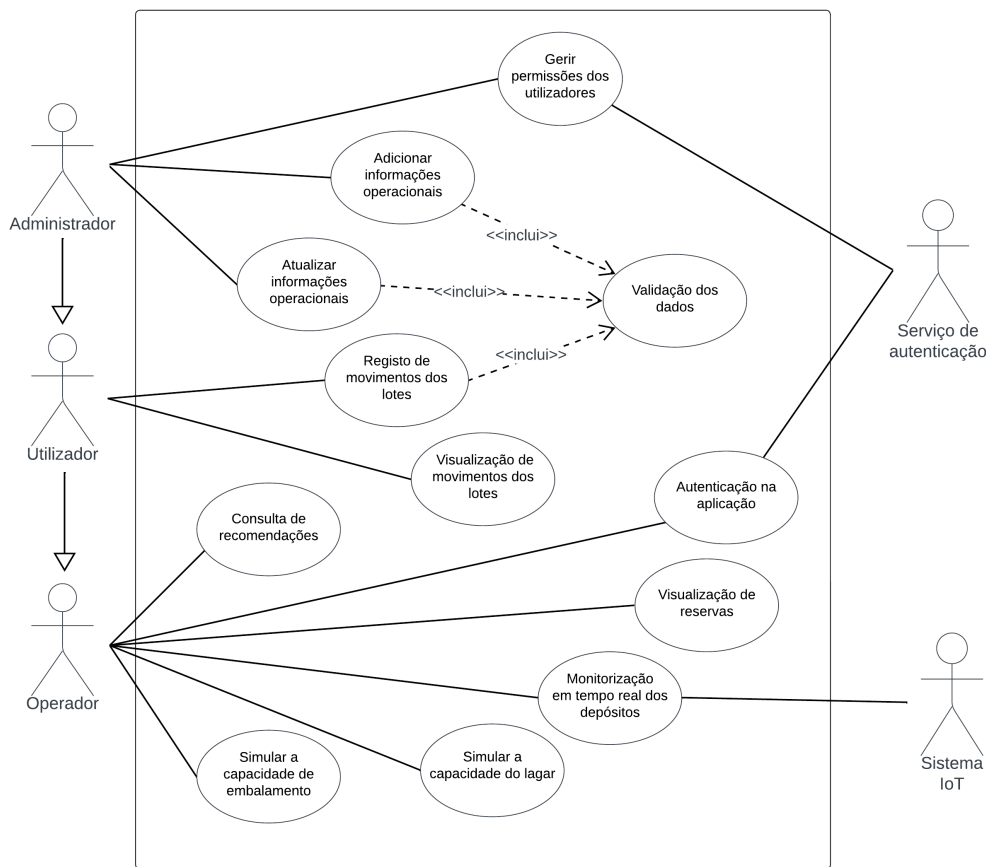


Figura 3.1: Modelo casos de uso

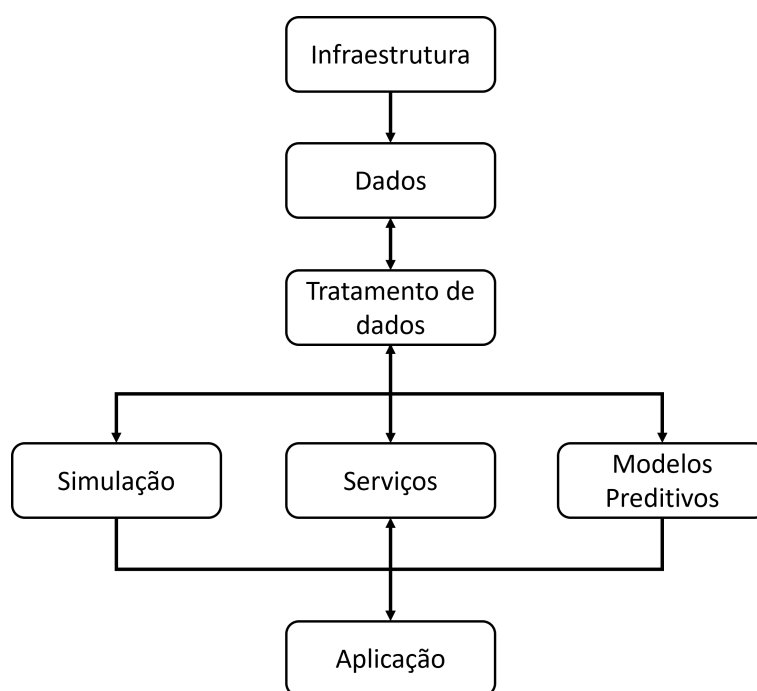
3.3 Modelo conceptual

Tendo em conta os requisitos e casos de uso definidos nas secções anteriores foi criado um modelo conceptual onde são identificados os elementos necessários, assim como as relações entre estes, para o desenvolvimento da plataforma. A representação deste modelo encontra-se na figura 3.2 composto por sete componentes:

Infraestrutura: este módulo é responsável por tudo o que envolve a recolha de dados em tempo real inclusive a comunicação destes para a componente dados.

Dados: contém todos os dados necessários para o funcionamento do sistema incluindo os que são recolhidos em tempo real. Estes dados serão a base, após serem tratados, dos modelos de simulação e do modelo preditivo.

Tratamento de dados: de forma a que os dados possam ser usados pela componente de simulação, modelo preditivo e serviços, é necessário que sejam preparados para tal. Isto inclui a deteção de dados errados ou incompletos, a eliminação de duplicados assim como a aplicação de outras técnicas de limpeza e validação.

Figura 3.2: *Modelo conceptual proposto*

Simulação: é responsável por simular a capacidade de encomendas e de embalagem da cooperativa tendo como base os dados que recebe do módulo tratamento de dados.

Serviços: esta componente é responsável por receber informações, tanto do módulo de dados como da aplicação, e aplicar o processamento necessário para funcionamento adequado do sistema.

Modelo preditivo: este módulo é responsável pela previsão das necessidades dos clientes através de modelos preditivos tendo como base dados tratados para este efeito.

Aplicação: permite que os utilizadores interajam com o sistema de forma intuitiva e eficaz. Possibilita o acesso a todas as funcionalidades relacionadas com as componentes de simulação, serviços e modelo preditivo.

3.3.1 Simulação

Nesta secção a componente de simulação é explorada mais profundamente sendo feita a descrição dos modelos de simulação necessários para a simulação da capacidade de embalagem dos vários depósitos da cooperativa assim como a capacidade desta de cumprir uma encomenda.

Na cooperativa o azeite armazenado nos depósitos é medido em toneladas enquanto que no embalagem é tratado em litros. Uma parte essencial da simulação é, portanto, a conversão de toneladas de azeite para litros.

O volume (V) de um líquido é dado pelo quociente da massa (m) deste com a sua

densidade (ρ) (Hidnert & Peffer, 1950), relação descrita na equação (3.1). Usando o sistema internacional de unidades o volume é medido em metros cúbicos (m^3), a massa em quilogramas (kg) e a densidade em quilogramas por metro cúbico ($kg\ m^{-3}$).

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3.1)$$

Quando aplicado ao contexto da indústria do azeite o recomendado é que o volume seja medido em litros (L) e, conseqüentemente, a densidade seja expressa em quilogramas por litro ($kg\ L^{-1}$) (Peri, 2014). A cooperativa segue estas recomendações utilizando $0,916\ kg\ L^{-1}$ como valor padrão de densidade de azeite. Assim, substituindo o valor da densidade na equação (3.1) pelo valor usado pela cooperativa, tem-se uma nova equação (3.2) que relaciona a quantidade de azeite em litros com quilogramas.

$$V = \frac{m}{0,916} \quad (3.2)$$

Para que a massa do azeite esteja em concordância com as unidades é necessário converter toneladas em quilogramas. Para isto basta multiplicar o valor de toneladas por 1000. Assim a equação (3.3) permite calcular a quantidade de litros de azeite (V) correspondente à quantidade em toneladas (m).

$$V = \frac{m \times 1000}{0,916} \quad (3.3)$$

Simulação da capacidade de embalagem

De forma a tornar o processo de embalagem mais eficiente é importante que os funcionários da cooperativa consigam testar vários cenários relacionados com a capacidade de embalagem dos depósitos do lagar. Um cenário importante é saber quantas garrafas de azeite são possíveis produzir sabendo que se tem certa quantidade de azeite.

A cooperativa tem vários tipos de embalagens com diferentes capacidades que vão desde 50 mililitros a 5 litros. A partir da escolha de um ou mais depósitos e do tipo de embalagem, o modelo de simulação deve conseguir indicar quantas garrafas são possíveis encher, como esquematizado na imagem figura 3.3.

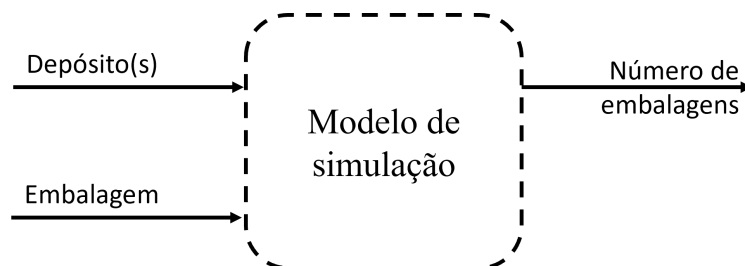


Figura 3.3: Esquema da simulação de embalagem referente ao número de garrafas.

Para esta simulação utiliza-se a equação (3.3) descrita anteriormente com alguns ajustes. Inicialmente é necessário somar a quantidade de azeites, em toneladas, de todos os depósitos escolhidos pelo utilizador e converter em litros. Para obter o número de garrafas é necessário dividir a quantidade de azeite em litros obtido pela capacidade da garrafa escolhida. Assim é possível criar um modelo matemático que simule a capacidade de embalagem dos depósitos. Assim tem-se a equação (3.4) que permite calcular o número de garrafas (N_{garrafas}) tendo em conta o total da massa de azeite nos depósitos escolhidos (M_{total}) assim como a capacidade do tipo de garrafa escolhido (V_{garrafa}).

$$N_{\text{garrafas}} = \frac{M_{\text{total}} \times 1000}{0,916 \times V_{\text{garrafa}}} \quad (3.4)$$

Por exemplo, se se quiser saber a capacidade de embalagem de dois depósitos, um com 13 toneladas de azeite e outro com 20 toneladas, no que toca a garrafas de 5 litros, o número de garrafas vai ser dado por:

$$N_{\text{garrafas}} = \frac{(13 + 20) \times 1000}{0,916 \times 5} = 7205,24 \quad (3.5)$$

Uma vez que para este efeito não se podem contabilizar garrafas que não estejam completamente cheias deve ser feito arredondamento por defeito. Assim com o azeite nos dois depósitos é possível embalar 7205 garrafas.

Outro cenário importante na simulação de encomendas é perceber quantas toneladas são necessárias para encher um certo número de garrafas.

Neste caso, a partir da escolha de um número de garrafas e do tipo destas o modelo deve simular a quantidade de azeite necessária, tal como demonstrado na figura 3.4.



Figura 3.4: Esquema da simulação de embalagem referente à quantidade de azeite.

Modificando a equação (3.3) para que esta fique em ordem à massa, tem-se a equação (3.6).

$$m = \frac{V \times 0,916}{1000} \quad (3.6)$$

Neste caso o volume total de azeite vai ser dado pelo produto do número de garrafas (N_{garrafas}) com a capacidade da garrafa escolhida (V_{garrafa}) em litros. Assim tem-se a equação (3.7) que permite calcular a quantidade de azeite (m_{azeite}) em toneladas necessária para o embalamento do número de garrafas pretendidas.

$$m_{\text{azeite}} = \frac{N_{\text{garrafas}} \times V_{\text{garrafa}} \times 0,916}{1000} \quad (3.7)$$

Por exemplo, havendo a necessidade de embalar 5000 embalagens de 2 litros a quantidade necessária de azeite vai ser dada por:

$$m_{\text{azeite}} = \frac{5000 \times 2 \times 0,916}{1000} = 9,16 \quad (3.8)$$

Simulação da capacidade de encomendas

No caso das encomendas o importante é perceber se o lagar tem capacidade para cumprir a encomenda tanto em termos de quantidade de azeite disponível como em termos de tempo.

Assim escolhendo o número de embalagens e a data de entrega o modelo deve indicar qual a quantidade necessária de azeite e que parte desta, no mínimo, tem de ser embalada por dia, como representado na figura 3.5.



Figura 3.5: Esquema da simulação de encomendas.

No que toca à quantidade necessária para cumprir a encomenda utiliza-se a equação (3.7). Para se obter o ritmo diário mínimo basta fazer o quociente entre a quantidade necessária e o número de dias. Esta relação é dada pela equação (3.9) onde R é o ritmo de embalamento diário mínimo, m_{azeite} a quantidade total de azeite em toneladas e N_{dias} o número de dias úteis até à data de entrega.

$$R = \frac{m_{\text{azeite}}}{N_{\text{dias}}} \quad (3.9)$$

Por exemplo, uma encomenda de 5000 embalagens de 2 litros vai necessitar de 9,16 toneladas de azeite. O ritmo diário de embalamento, tendo em conta que se tem de entregar em 3 dias, vai ser dada por:

$$R = \frac{9,16}{3} = 3,05 \quad (3.10)$$

Estes valores podem ser comparados com a quantidade de azeite existente na cooperativa, assim como a capacidade de embalamento desta, de forma a perceber se estão dentro da capacidade da cooperativa.

Usando o exemplo anterior, se a cooperativa tiver um ritmo de embalamento de 3 tonelada/dia conclui que em condições normais não consegue cumprir a encomenda. Pode então rejeitar a encomenda ou aceitar e, de forma a conseguir dar conta, fazer horas extras no processo de embalamento, sendo que isto implica um custo extra.

3.3.2 Serviços

O módulo de serviços é essencial na estrutura do sistema, sendo responsável por assegurar a segurança e a funcionalidade da aplicação, assim como a integridade da informação do sistema.

No que toca à segurança este módulo deve garantir que apenas os utilizadores autorizados possam aceder à plataforma e às diferentes funcionalidades. Isto é feito através da validação das credenciais, garantindo que cada utilizador apenas possa aceder às informações e funcionalidades que correspondam ao seu papel e às autorizações concedidas. Este aspeto é fundamental para a proteção do sistema contra acessos não autorizados.

A integridade da informação é mantida através de um processo de validação que assegura que os dados refletem a realidade de forma precisa. Este processo é importante para assegurar que as decisões tomadas com base nesses dados sejam fundamentadas em informação correta.

Por fim é responsável pela comunicação entre o módulo de dados e de aplicação o que permite a recolha e armazenamento de informação por parte do utilizador assim como a visualização desta.

3.3.3 Modelo preditivo

Ao perceber o funcionamento e necessidades da cooperativa foi possível concluir que uma melhor compreensão do comportamento dos clientes permitiria melhorar a tomada de decisões por parte da cooperativa no que toca à gestão de azeite. Para além disto permite uma maior proatividade na venda aos clientes podendo contactar os clientes com produtos que vão ao encontro as suas preferências.

O primeiro passo passa então pelo estudo das características das vendas, quais as necessidades dos clientes e preferências. Normalmente os clientes compram com base no tipo de azeite (virgem, extra virgem...), no preço deste e nas características (amargo, picante...). Outro fator importante será o azeite produzido pela cooperativa pois esta informação limita a quantidade que pode ser vendida. Se a produção for baixa num ano então a quantidade de azeite vendida também será.

Assim, para a criação de um modelo preditivo que antecipe as necessidades dos clientes é necessário conhecer o histórico de vendas de cada cliente durante um período significativo de tempo. Neste caso deveria ser de alguns anos de forma a detetar padrões sazonais. Este histórico deveria então conter uma identificação do cliente, a informação referente ao azeite comprado (tipo, quantidade, características) e a data de compra. Também é importante ter o histórico de produção.

Após a recepção dos dados terá que se compreendê-los, ou seja, como se relacionam entre si, se são suficientes para a criação do modelo e quais as suas limitações. Estes dados têm ainda de ser divididos, sendo uma parte usada para treinar o modelo e a outra para o validar. Devem também ser definidas as *features* e os *targets*.

Uma proposta, representada na figura 3.6 é que com base no cliente, na data atual e na quantidade de azeite disponível na cooperativa o modelo consiga prever a quantidade de azeite e o tipo que o cliente tem interesse.



Figura 3.6: Esquema do modelo preditivo.

O modelo procura assim fazer uma classificação, ao prever o tipo de azeite desejado, e uma regressão, ao estimar a quantidade de azeite. Estas são problemáticas da aprendizagem supervisionada e portanto devem ser estudados algoritmos que se encaixem nesta categoria. Outro fator a ter em conta é que uma das *features* é uma data e que o valor dos *targets* vai ser influenciado pela sazonalidade.

Após o treino do modelo este tem que ser testado. Para isto usa-se os dados de teste no modelo e compara-se os resultados dados pelo modelo com os reais. Por exemplo, tendo dados de três anos os dois primeiros anos podiam ser usados para treinar o modelo. De seguida usa-se o modelo para prever a necessidades dos clientes no próximo ano e compara-se este resultado com os dados reais do último ano. Assim verifica-se a adequabilidade do modelo.

IMPLEMENTAÇÃO

O modelo conceptual proposto na secção anterior foi usado como base para a implementação do sistema sendo que a arquitetura deste está representada na figura 4.1. A figura consiste dos vários componentes do sistema e como estes interagem entre si.

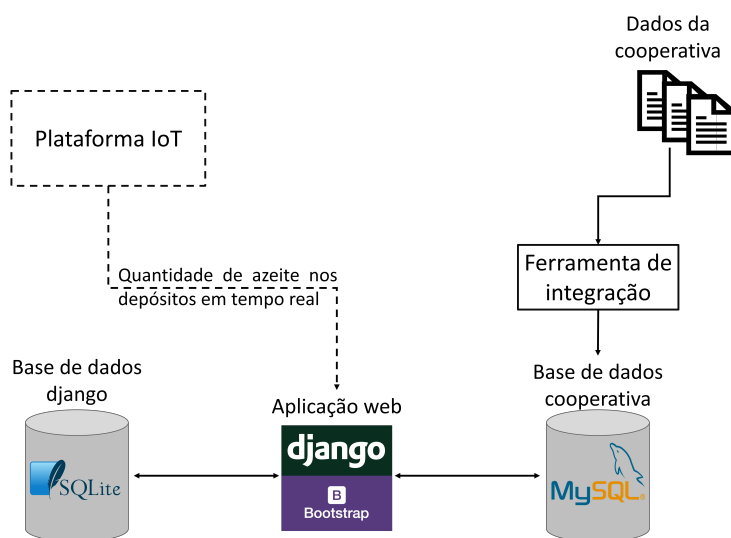


Figura 4.1: *Arquitetura do sistema*

O elemento central é a aplicação web, desenvolvida com Django e bootstrap, que recebe e envia informação a duas bases de dados, uma referente à cooperativa e outra ao Django. A base de dados da cooperativa contém todas as informações referentes ao funcionamento da cooperativa como dados relativos aos clientes ou lotes. A base de dados do Django é usada pelo Django para operações internas deste como autenticação e configurações do sistema. Poderia ter-se usado apenas uma base de dados mas de forma a manter a integridade e independência dos dois sistemas optou-se pela separação em duas bases de dados. Assim evita-se que as operações do Django afetem inadvertidamente os dados da cooperativa ou o contrário, que as operações dos dados da cooperativa afetem as informações do Django. A base de dados da cooperativa é populada inicialmente, através de uma ferramenta de integração, pelos dados da cooperativa. Por fim assume-se que a aplicação Django vai ter acesso em tempo real à quantidade de azeite nos depósitos a

partir da plataforma IoT desenvolvida anteriormente em parceria com a cooperativa. Esta plataforma deve então recolher informação dos sensores instalados nos vários depósitos e fazer a comunicação destes à aplicação (Cartaxo, 2021).

Neste capítulo vão ser explorados os elementos representados na figura assim como os modelos de simulação presentes na aplicação web e, por fim, o desenvolvimento de um modelo preditivo.

4.1 Dados fornecidos pela cooperativa

Para efeitos de testes e desenvolvimento a cooperativa forneceu dados respetivos ao seu funcionamento. Foram estes:

- Ficheiro excel referente à entrada da azeitona na cooperativa no ano de campanha de 2021/2022. Neste documento estão identificados todos os produtores, pelo nome e um número de produtor, que entregaram azeitonas no lagar para posteriormente serem transformadas em azeite entre 2021 e 2022. Para cada caso tem-se a quantidade de azeitona entregue e o lote de azeitona que ficou associado a esta entrega.
- Quatro ficheiros excel que detalham todos os movimentos dos lotes de azeite pelos depósitos desde janeiro de 2019 a dezembro de 2022. Para facilidade de acesso e análise juntou-se os quatro ficheiros num só. Cada movimento tem a quantidade e lote referente ao depósito de saída do produto assim como a quantidade e lote referente ao depósito de entrada de produto. Tem ainda a data de quando o movimento foi realizado e uma coluna que verifica se a quantidade de entrada é a mesma que a de saída de forma a encontrar erros de registo.
- Quatro ficheiros excel que detalham vários processos na cooperativa inclusive os movimentos de azeite, vendas, embalamento, entre outros. Juntou-se os quatro ficheiros num só.
- Ficheiros pdf referentes a diversos contratos celebrados entre a cooperativa e clientes desta.
- Planta do lagar. Nesta planta estão representadas todas as componentes do lagar nomeadamente o escritório, a zona de armazenamento de azeite, a zona de embalamento, a zona de filtragem, a zona de produção e a zona de receção de azeitona.
- Quatro ficheiros excel com o registo dos lotes referentes ao final de cada ano de campanha de 2019 até 2022. Também neste caso se juntou os quatro ficheiros em um.
- Um ficheiro excel com todos os tipos de embalagens usadas pela cooperativa na fase de embalamento do produto.
- Um ficheiro excel que explicita quantas garrafas compõem uma palete para cada tipo de embalagem.

De forma geral todos estes elementos foram analisados o que permitiu compreender a fundo os processos da cooperativa e identificar como estes podem ser melhores.

Os dados foram usados para a população da base de dados, estudo do modelo preditivo e criação da aplicação web. A preparação dos dados assim como a discussão das suas limitações serão exploradas mais a fundo nos capítulos correspondentes.

4.2 Base de dados

Foi criada uma base de dados em MySQL, cujo modelo entidade relacionamentos está representado na figura 4.2, para gerir informação referente à produção, armazenamento e movimentação do azeite na CABB. Esta terá dados referentes aos clientes, produtores, lotes e depósitos da cooperativa. Para este efeito foram criadas 13 tabelas:

- **TipoAzeite:** esta tabela contém os diferentes tipos de azeite. Estes são identificados por um id com uma descrição associada.
- **TipoDeposito:** nesta tabela são identificados os diferentes tipos de depósitos que existem na cooperativa. Tal como a tabela anterior são identificados por um id e têm uma descrição.
- **TipoMovimento:** contém os diferentes tipos de movimentos que há em todo o processo da produção de azeite. É também identificado por um id e contém uma descrição do movimento.
- **CaracteristicaAzeite:** armazena as características que um azeite pode ter. É caracterizado por um id e uma descrição.
- **Cliente:** nesta tabela guarda-se a informação referente a todos os clientes da cooperativa. Para além de um id único também são identificados por um número de cliente definido pela cooperativa. Podem ainda ter um nome, morada e contacto associado.
- **Produtor:** esta tabela tem a mesma estrutura que a tabela dos clientes mas refere-se aos produtores da cooperativa.
- **Lote:** armazena informação dos lotes produzidos onde cada lote tem um id único e um número de lote. Para além disto indica a quantidade de azeite em cada lote, e pode indicar a data de criação deste assim como o nível de acidez do azeite e o tipo de azeite (presentes na tabela TipoAzeite).
- **Deposito:** contém informação referente a todos os depósitos da cooperativa. Estes são identificados por um id e um número de depósito, escolhido pela cooperativa. Cada depósito tem uma capacidade definida e pode, ou não, estar associado a um, e apenas um, lote de azeite. Os depósitos são ainda caracterizados pelo seu tipo, referindo-se à tabela TipoDeposito.
- **Contrato:** mantém informações sobre os contratos estabelecidos com os clientes. Cada contrato possui um id único e um número de contrato. Contém ainda informação referente à data de elaboração do contrato, à data de entrega e um indicador de conclusão do contrato.
- **HistoricoMovimentos:** regista os movimentos do azeite entre os diversos lotes. Cada movimento é identificado por um id e tem associado a data em que ocorreu, o lote

De forma a conectar e organizar eficientemente as informações foram criadas as seguintes ligações entre tabelas:

- **Lote-TipoAzeite:** Cada lote pode, ou não, ser identificado por apenas um tipo de azeite, sendo que cada tipo de azeite pode ser associado a múltiplos lotes. Assim foi criada uma relação de muitos para zero ou um.
- **Lote-Produtor:** um lote pode ter múltiplos produtores assim como um produtor pode ter produzido vários lotes. Estas duas tabelas têm assim uma relação de muitos para muitos possibilitada pela tabela LoteProdutor.
- **Lote-CaracteristicaAzeite:** à semelhança da relação anterior trata-se de uma relação de muitos para muitos, através da tabela CaracteristicaAzeiteLote, que permite associar a um lote diversas características.
- **HistoricoMovimento-Lote:** entre estas duas tabelas há duas relações, uma para associar o movimento ao lote de origem e outra ao lote de destino. Ambas são relações de muitos para zero ou um.
- **HistoricoMovimento-TipoMovimento:** esta relação identifica qual o tipo de movimento. Trata-se de uma relação de muitos para um.
- **Deposito-TipoDeposito:** à semelhança da relação anterior identifica qual o tipo de depósito através de uma relação de muitos para um.
- **Deposito-Lote:** trata-se de uma relação de um para zero ou um. Cada depósito pode ter um ou zero lotes associados e cada lote só pode ter associado a um depósito.
- **Deposito-Contrato:** cada contrato pode ter vários depósitos reservados e cada depósito pode ter sido reservado por contratos diferentes. Assim está-se perante uma relação de muitos para muitos facilitada pela tabela DepositoContrato.
- **Contrato-Cliente:** cada contrato pode estar associado a apenas um cliente mas um cliente pode ter vários contratos. Assim tem-se uma relação de muitos para um.

4.3 Integração com os dados da CABB

Foi criado um *script* em Python de forma a popular a base de dados com base nos dados fornecidos pela cooperativa, como está esquematizado na figura 4.3. Esta ferramenta é essencial para que a aplicação web tenha acesso aos dados da cooperativa.

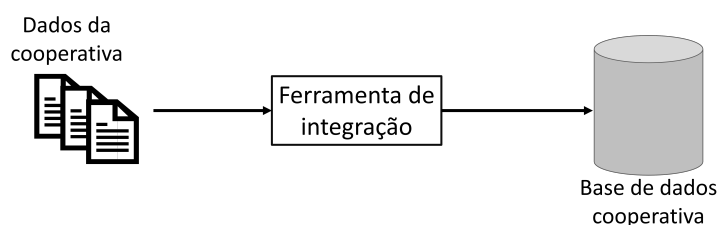


Figura 4.3: Esquema de entrada e saídas da ferramenta de integração

De forma a ser possível conectar-se à base de dados usou-se o *MySQL Connector*, um *driver* que permite o acesso de programas Python a base de dados MySQL (MySQL, 2023).

Para ler os ficheiros excel usou-se a biblioteca Pandas.

Com base no funcionamento da cooperativa, detalhado no capítulo 2.2, começou-se por popular as tabelas que caracterizam os lotes, depósitos e movimentos, são estas:

- **TipoDeposito:** Foram criados quatro tipos de depósitos: intermédio, armazenamento, blend e embalagem.
- **TipoMovimento:** Tem todos os movimentos feitos pela azeitona e azeite na cooperativa. São estes: entrada, intermédio, intermédio para armazenamento, armazenamento para armazenamento, granel e embalagem.
- **TipoAzeite:** Refere se o azeite é virgem ou extra virgem.
- **CaracteristicaAzeite:** Foi populado com as características usadas pela cooperativa: amargo, defeito, maduro e picante.

Criou-se ainda todos os depósitos existentes na cooperativa (53 intermédios, 28 de armazenamento, 1 de blend e 3 de embalagem) com o tipo, capacidade e número correspondente.

Com base no ficheiro referente ao registo de lotes no final de 2022 populou-se a tabela lote e associou-se o id do lote ao depósito correspondente. Considerou-se usar o ficheiro de movimentos dos lotes para acrescentar mais lotes e popular a tabela HistoricoMovimentos no entanto foram encontrados uma quantidade considerável de registos de movimentos com informação errada e portanto optou-se por não utilizar estes dados.

No que toca aos contratos foram criados quatro, com base nos contratos fornecidos pela cooperativa, de foram a testar vários cenários.

Por fim através do ficheiro com a entrada de azeitona referente a 2021/2022 foram adicionados alguns produtores sendo que, por motivos de confidencialidade, apenas se utilizou o seu número de produtor.

Utilizando os ficheiros que detalham os vários processos na cooperativa foi também possível popular a tabela de clientes, também apenas com o seu número de cliente por motivos de confidencialidade, utilizando informação de faturas.

4.4 Aplicação Web

Foi criada uma aplicação web para mostrar as informações da cooperativa ao utilizador assim como permitir que este faça simulações e registos. Para este efeito foi utilizado o Django em conjunto com o bootstrap.

O Django trata-se de uma *framework backend open-source* em Python. É uma *framework* com muita documentação e segura com um sistema de autenticação. O facto de usar o Python e portanto ter uma integração facilitada com modelos de aprendizagem automática também foi tido em conta.

O bootstrap também se trata de uma *framework open-source* mas direcionada para o *frontend*. Esta ferramenta disponibiliza vários componentes como barras de navegação, formulários, botões, entre outros, que permitem agilizar o processo de desenvolvimento das páginas web.

4.4.1 Estrutura do projeto

O desenvolvimento de uma aplicação web com o Django começa com a criação de um projeto. Este projeto pode ter uma ou mais aplicações. Neste caso criou-se um projeto denominado de CABBproject e apenas uma aplicação, CABBapp.

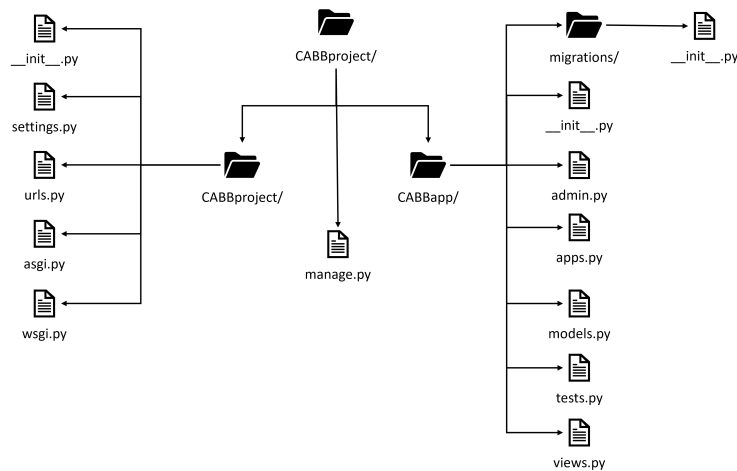


Figura 4.4: Esquema de ficheiros do projeto criado pelo Django

A estrutura inicial do projeto está representada na figura 4.4, onde o projeto tem duas pastas, CABBproject/ que contém os ficheiros referentes ao projeto, e o CABBapp/ que contém os ficheiros referentes à criação da app. Há ainda um ficheiro manage.py que permite gerir o projeto Django através da linha de comandos. Por fim há vários ficheiros __init__.py usados para indicar que o diretório é um pacote Python. As restantes componentes referentes ao projeto são descritas na tabela 4.1 e os referentes à aplicação na tabela 4.2.

Tabela 4.1: Descrição dos ficheiros criados automaticamente quando se cria um projeto no Django

Nome do ficheiro	Descrição
settings.py	Contém todas as configurações do projeto Django.
urls.py	Mapeia Uniform Resource Locator (URL) para as apps corretas. Garante que quando um utilizador acede por um certo URL seja apresentada a app correta.
asgi.py	É usado para permitir que a aplicação Django funcione de forma assíncrona.
wsgi.py	É responsável pela comunicação da aplicação web com um servidor web.

Tabela 4.2: Descrição dos ficheiros criados automaticamente quando se cria uma app no Django

Nome Ficheiro	Descrição
migrations/	Nesta pasta são armazenados os ficheiros de migração. Estes ficheiros garantem que a base de dados é consistente com o que está descrito no <code>models.py</code> quando este é alterado.
admin.py	O Django tem uma interface de administração que, entre outras funcionalidades, permite a gestão de dados da base de dados. Neste ficheiro são registados os modelos que podem ser alterados nesta interface.
apps.py	Refere-se a toda as configurações da aplicação.
models.py	Ficheiro onde estão definidos os modelos da base de dados que a aplicação utiliza. Os modelos são classes que representam as várias tabelas da base de dados. Os atributos das classes representam os campos da tabela.
tests.py	É utilizado para a criação de testes automatizados para a validação do funcionamento da aplicação.
views.py	Ficheiro onde estão definidos as várias views. Estas são responsáveis por processar os pedidos HTTP e retornar a resposta. É a base da aplicação, onde toda a lógica é implementada, incluindo o processamento de formulários ou a obtenção de dados da base de dados.

Ao longo do desenvolvimento da aplicação adicionaram-se novas funcionalidades que necessitam de novos ficheiros, o que fez com que a estrutura se alterasse. Vão ser descritas as várias alterações feitas.

Criou-se uma pasta `templates/` que contém todos os ficheiros HTML correspondente às várias páginas da aplicação web. Ainda no que toca ao *frontend* criou-se uma pasta `static/` que tem três subpasta, `js/` que contém as funções de javascript, `media/` que contém as imagens usadas pela aplicação web e `styles/` que contém os ficheiros CSS.

Em relação à aplicação adicionou-se um ficheiro `forms.py` onde estão definidos todos os formulários usados na aplicação web, um ficheiro `urls.py` que mapeia o URL com o template correto e um ficheiro `decorators.py` onde são definidos decorators que permitem aplicar lógica adicional nas views.

Por fim foi adicionado o ficheiro `routers.py` ao projeto. Para usar o sistema de autenticação do Django este necessita de uma base de dados para guardar informação. Poderia-se juntar as tabelas criadas pelo Django à base de dados criada para os dados da cooperativa mas, devido ao facto de terem finalidades diferentes, optou-se por separar o que resultou em duas bases de dados. O `routers.py` serve então para definir que base de dados deve o projeto usar em cada situação. Isto resultou ainda na adição de mais um ficheiro, `db.sqlite3`, referente à base de dados do Django.

A figura 4.5 ilustra a estrutura final da aplicação sendo que os ficheiros e pastas criados

automaticamente pelo Django estão a cinzento.

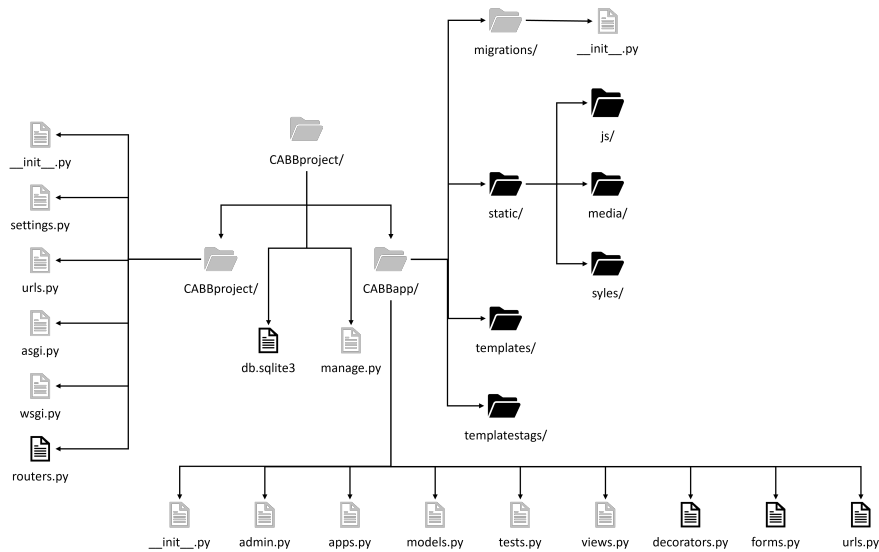


Figura 4.5: Esquema de ficheiros do projeto final

Para uma compreensão completa da estrutura do projeto Django é importante perceber como os diversos componentes se relacionam. Na figura 4.6 tem-se uma representação das interações fundamentais entre elementos que ocorrem quando um utilizador acede à aplicação web. De notar que nem todos os elementos estão representados, apenas os mais relevantes.

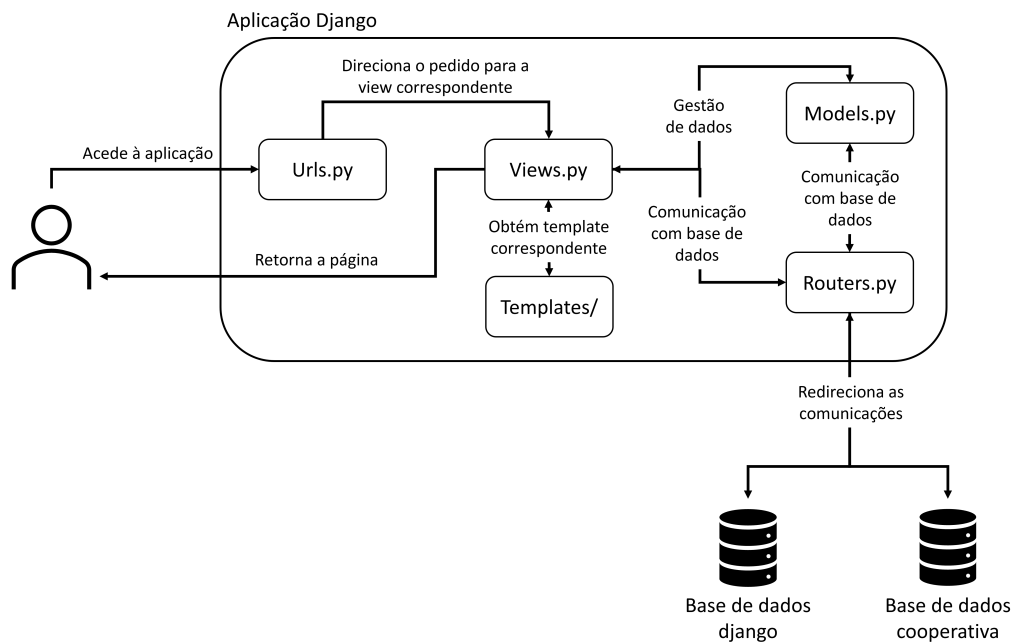


Figura 4.6: Esquema de comunicação entre os ficheiros do projeto Django

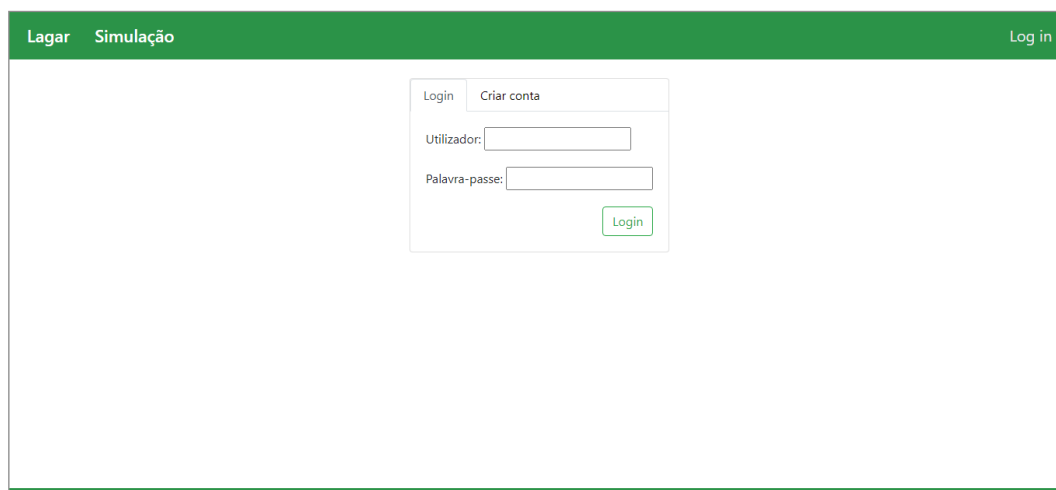
Quando um utilizador acede a uma página da aplicação web o pedido é tratado pelo ficheiro `urls.py` que direciona este para a view correta, presente no ficheiro `views.py`. Aqui o pedido é processado o que pode implicar receber ou adicionar/alterar dados referentes ao funcionamento da cooperativa o que torna necessário a comunicação com o `models.py`. As comunicações com as bases de dados são direcionadas para a base de dados correspondente pelo `router.py`. Se a comunicação for relacionada com processos nativos do Django, como a autenticação, é encaminhada para a base de dados Django, caso contrário é direcionada para a base de dados da cooperativa. Por fim o `views.py` retorna a informação da página, retirada da pasta `templates`, que será exibida pelo browser ao utilizador.

4.4.2 Estrutura da aplicação web

Nesta secção vão ser descritas as várias secções da aplicação web e as funcionalidades destas.

Autenticação

Quando se acede à aplicação web o primeiro passo é a autenticação do utilizador ou, caso este ainda não tenha conta, a criação de uma nova conta. Na figura 4.7 pode-se observar estas duas funcionalidades relacionadas com autenticação.



A imagem mostra a interface de usuário da aplicação web. No topo, há uma barra verde com o texto "Lagar Simulação" à esquerda e "Log in" à direita. O conteúdo principal é um formulário centralizado com dois abas: "Login" (selecionada) e "Criar conta". O formulário contém dois campos de entrada: "Utilizador:" e "Palavra-passe:". Abaixo dos campos, há um botão verde com o texto "Login".

Figura 4.7: *Página inicial da aplicação web com o utilizador não autenticado*

Foram definidos os três tipos de utilizadores previstos no modelo conceptual e um tipo adicional que é necessário para usar o sistema de autenticação do Django. Estes quatro tipos de utilizadores apresentam estrutura hierárquica, isto é, um grupo de utilizadores tem as mesmas permissões que os grupos com um nível de autenticação mais baixo que estes. Do nível mais baixo para o mais alto tem-se então:

- **Operador:** são as permissões padrão de uma nova conta que permite o acesso à informação do lagar e às simulações.

- **Utilizador:** para além das permissões do operador permite o registo e a consulta de movimento dos lotes de azeite.
- **Administrador:** em adição às permissões já mencionadas este tipo de utilizador pode adicionar e alterar informação no que toca aos depósitos, contratos, clientes, produtores e lotes. Pode ainda gerir as contas dos utilizadores.
- **Super utilizador:** este tipo de utilizador é necessário ser criado para usar o sistema de autenticação do Django. Tem acesso a todas as permissões de configuração do projeto Django, inclusive as relacionadas com autenticação, e da aplicação criada.

Após o utilizador se autenticar é redirecionado para a página inicial, representada na figura 4.8, onde se pode ver quatro secções: Lagar, referente à página inicial, Simulação, Registos e Administração. De notar que as secções que aparecem dependem das permissões do utilizador, na imagem está-se perante um utilizador do tipo super utilizador.

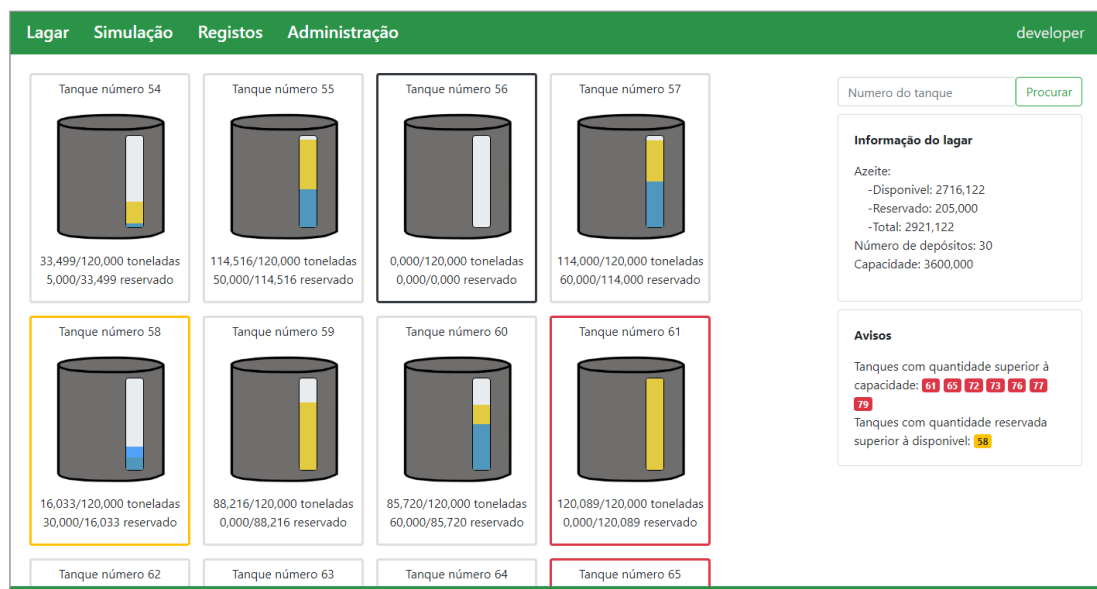


Figura 4.8: Página inicial da aplicação web com o utilizador autenticado

Todos os projetos Django têm uma página de administração, uma interface web, que facilita a gestão e manutenção do projeto. Na aplicação web desenvolvida esta página é usada para gerir as permissões dos utilizadores.

Lagar

O Lagar refere-se à página inicial da aplicação onde se tem acesso a toda a informação do lagar. São listados todos os depósitos de armazenamento, identificados pelo seu número, sendo possível ver a quantidade de azeite existente e reservada. Clicando em cada depósito tem-se acesso a informação sobre o lote: o número do lote, os produtores, a acidez, o tipo e que características sensoriais tem.

É também nesta secção que é feita monitorização dos valores nos depósitos. Se há um erro de registo, onde os tanques têm uma quantidade de azeite superior à capacidade,

estes são assinalados com um contorno vermelho. Se tiverem uma quantidade reservada superior à que existem são identificados por um contorno amarelo. Os depósitos vazios são assinalados com um contorno cinzento-escuro. Há ainda uma secção que indica todos os depósitos que têm erros.

Por fim tem-se ainda informação geral do lagar e pode-se pesquisar por um ou vários depósitos.

Simulação

Na secção de simulação são implementados os modelos de simulação discutidos no capítulo anterior. Tem-se acesso a dois tipos de simulação:

Simulação de encomendas: permite ao utilizador, através de parâmetros como o número e tipo de embalagens, tipo de azeite e a data de entrega, perceber se o lagar tem capacidade para cumprir uma encomenda. Os resultados indicam a quantidade de azeite necessária assim como quais os depósitos com o tipo de azeite desejado. Se o lagar conseguir cumprir a encomenda indica quanto fica no lagar caso contrário indica a quantidade que falta para chegar ao número desejado de embalagens. Por fim indica ainda qual o ritmo diário de embalamento para cumprir o prazo da encomenda.

Na figura 4.9 tem-se um exemplo de uma simulação. O utilizador pretende saber se é possível entregar uma encomenda de 5000 embalagens de 5l de azeite virgem tendo em conta a data de entrega. Como resultado indica que são necessárias 22,900 toneladas de azeite sendo que é necessário embalar, no mínimo, 4,580 toneladas por dia. Indica ainda que os depósitos 81 e 83 têm azeite virgem e, cumprindo a encomenda, a quantidade que fica disponível deste tipo de azeite é de 87,100 toneladas. Com estas informações o utilizador consegue então tomar uma decisão mais informada referente a aceitar encomendas.

Lagar Simulação Registos Administração		developer
Simulação encomenda		
Número de embalagens:	5000	
Tipo de embalagem:	5 l	
Tipo de azeite:	<input type="radio"/> Nenhum <input checked="" type="radio"/> Virgem <input type="radio"/> Extra virgem	
Data de entrega:	22/09/2023	
<input type="button" value="Calcular"/>		
Resultado		
Embalamento:		
Azeite necessário: 22.900 toneladas.		
Ritmo diário: 4.580 toneladas.		
Depósitos:		
81 83		
Azeite disponível: 110.000 toneladas.		
Sobram 87.100 toneladas		

Figura 4.9: Exemplo de uma simulação referente à capacidade de cumprir uma encomenda

Simulação de embalamento: a partir do número e tipo de embalagens indica a quantidade de azeite necessária. Para além disto, se o utilizador escolher um depósito, indica se este tem capacidade para o embalamento desejado. Se não tiver indica a quantidade que está em falta. Se tiver indica a quantidade que sobra e, com base nesta informação, quantas embalagens de cada tipo podem ser embaladas. Na figura 4.10 tem-se um exemplo de utilização deste tipo de simulação. O utilizador pretende saber se é possível empacotar 5000 embalagens de 5 litros usando o azeite no depósito 71. A simulação indica que são necessárias 22,900 toneladas de azeite sobrando 52,435 no depósito. Relativo a esta quantidade indica ainda quantas embalagens, de cada tipo, é possível embalar.

The screenshot shows a web application interface with a green header containing navigation links: 'Lagar', 'Simulação', 'Registos', 'Administração', and a 'developer' label. The main content area is divided into two columns. The left column contains input fields for 'Número de embalagens' (5000) and 'Tipo de embalagem' (5 l), a grid of checkboxes for selecting a warehouse (71 is selected), and a 'Quantidade nos depósitos' field (75.335). A 'Calcular' button is at the bottom right of this section. The right column, titled 'Resultado', displays the calculated results: 'Azeite necessário: 22,900 toneladas.' and 'Sobram 52,435 toneladas nos depósitos.' Below this, it states 'É possível embalar:' followed by a table of packaging types and their quantities.

Quantidade	Embalagem
11448	5 l
19081	3 l
28621	2 l
57243	1 l
76324	750 ml
114486	500 ml
228973	250 ml
572434	100 ml
1144868	50 ml

Figura 4.10: Exemplo de uma simulação referente à capacidade de embalamento de um depósito

Nesta secção é também possível, com base na quantidade de azeite desejada e o tipo de embalagem, perceber quantas embalagens se consegue produzir. Escolhendo um, ou mais, depósitos pode-se simular a capacidade de embalamento destes.

Registos

Esta secção permite o registo dos movimentos de azeite e a consulta destes movimentos.

No que toca ao movimento do azeite pode-se registar a entrada de azeite nos depósitos de armazenamento, o movimento de azeite entre estes depósitos e a saída de azeite dos depósitos para venda em granel ou embalamento. Os movimentos são registados no histórico de movimento e os lotes de azeite são atualizados, inclusive, atualiza-se o lote de destino com os produtores associados ao lote de origem. Em todos estes movimentos valida-se se a quantidade a movimentar não é maior do que a quantidade no depósito de origem e se após o movimento a quantidade no depósito de destino não é maior que a capacidade deste. Também de acordo com esta regra não podem ser escolhidos depósitos vazios como origem nem depósitos cheios como destino. Por fim, caso o movimento seja

para um depósito vazio é criado um novo lote automaticamente de acordo com as regras da cooperativa.

Na consulta dos movimentos inicialmente são mostrados os últimos movimentos no entanto o utilizador pode definir uma data de início, uma data de fim e um ou mais depósitos como parâmetros de forma a personalizar a pesquisa de movimentos de acordo com suas necessidades específicas. A figura 4.11 demonstra a parte de consultar o histórico de movimentos da aplicação. Apenas tem um movimento entre dois depósitos de 60 toneladas realizado no dia 15 de setembro de 2023.

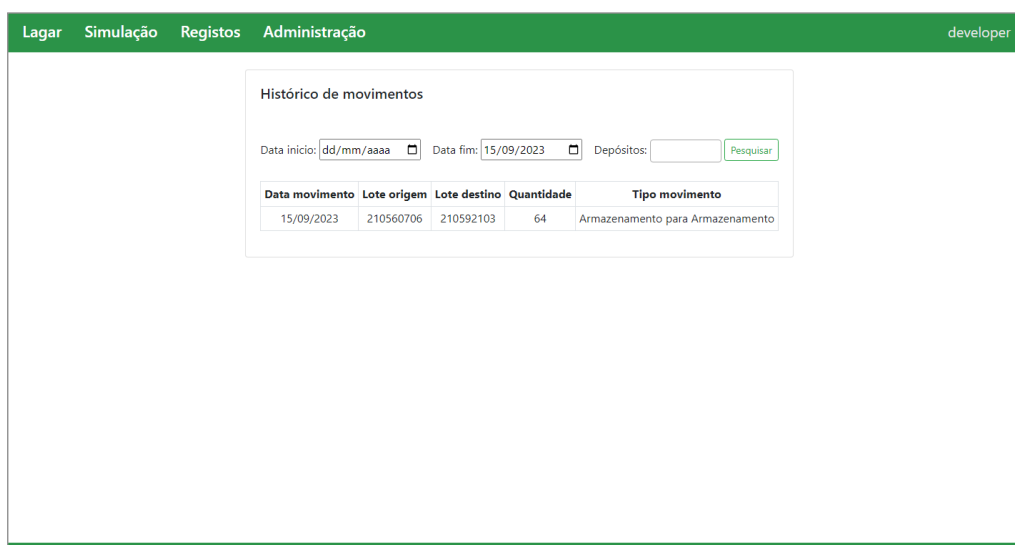


Figura 4.11: Página que mostra os movimentos dos lotes de azeite na cooperativa

Administração

Na administração é possível adicionar e atualizar depósitos, contratos, clientes, produtores e lotes.

Todos estes registos são validados de forma a não haver erros. As validações passam por:

- Não permitir a criação de novos elementos com o mesmo número de identificação de elementos já existentes. Por exemplo, não se pode criar um depósito com o número 54 se já existe um.
- Validar todos os campos de entrada de forma a não permitir a introdução de dados com o tipo errados. Por exemplo, um número do cliente não pode ser um número fracionário.
- Quando os elementos são atualizados verifica-se se as atualizações não entram em conflito com o que já está registado na base de dados. Por exemplo um lote não pode ser associado a mais que um depósito.

Na figura 4.12 tem-se um exemplo da criação de um novo contracto. A criação e atualização dos restantes registos é semelhante.

Lagar Simulação Registos Administração developer

Adicionar contrato Atualizar contrato

Número do contrato: 20

Cliente : 1161

Data de entrega: 29/09/2023

Depósitos a reservar: +

65 60 X

72 20 X

Adicionar

Figura 4.12: *Página correspondente à gestão de contratos*

VALIDAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo analisar e discutir os resultados do trabalho realizado. Ao longo do processo de desenvolvimento todas as componentes foram testadas, progressivamente, de forma a verificar que o funcionamento era o esperado sendo estas alteradas quando se detetavam erros.

Para além da validação feita em paralelo com o desenvolvimento foi realizada uma apresentação da aplicação web aos funcionários da cooperativa onde se demonstraram todas as funcionalidades desenvolvidas e foi dada a oportunidade de a utilizarem. A figura 5.1 mostra uma foto capturada durante esta demonstração.



Figura 5.1: *Demonstração da aplicação web na cooperativa*

De forma a recolher feedback dos funcionários após a apresentação foi elaborado um

questionário que pode ser consultado nos anexos. O questionário pretende avaliar a app de forma geral mas também em funcionalidades específicas de forma a certificar-se de que atende às necessidades e expectativas dos funcionários da cooperativa. Para este efeito dividiu-se a aplicação em 5 elementos a serem avaliados:

- **Lagar:** visualização da quantidade total, disponível e reservada de azeite nos depósitos. Visualização de dados referentes ao lagar, aos depósitos e lotes.
- **Simulação embalamento:** simulação da capacidade de embalamento dos vários depósitos.
- **Simulação encomendas:** simulação da capacidade de encomenda do lagar
- **Registos:** registo dos movimentos de azeite com validação e visualização destes.
- **Administração:** registo de novos clientes, produtores, depósitos, lotes e contratos com validação.

Cada uma destas secções é avaliada, de 1 a 5, de forma a avaliar se são intuitivas, há facilidade de compreender a informação apresentada e se apresentam melhoria em relação ao funcionamento da cooperativa. Há ainda um ranking das diferentes funcionalidades que avalia a utilidade relativa destas. Recolhe-se ainda algumas informações sobre a pessoa que responde, qual o papel na cooperativa e qual a experiência na utilização de aplicações web, de forma a contextualizar as respostas e permitir uma análise mais profunda dos resultados. Por fim há perguntas de respostas abertas com o objetivo de perceber se e como a aplicação web pode contribuir para uma melhoria do funcionamento da cooperativa assim como quais os pontos a melhorar.

Obtiveram-se duas respostas de funcionários da cooperativa, um responsável pelo embalamento e outro pela filtragem de azeite sendo que ambos se consideram utilizadores medianos de aplicações web. De forma geral a aplicação foi avaliada de forma positiva, com uma média de pontuação de 4,5/5.

Na tabela 5.1 tem-se a média das avaliações das várias componentes da aplicação web.

Tabela 5.1: Média das avaliações de cada componente da aplicação web

	Lagar	Simulação embalamento	Simulação encomendas	Registos	Administração
Apresentação da informação	4,5	4	3,5	5	4,5
É intuitivo	4	4	4	4,5	4,5
Apresenta melhoria	4,5	4	4	5	5

No que toca à apresentação da informação a componente de simulação de encomendas foi considerada a menos clara com o lagar e os registos a serem os mais claros. Todos os elementos foram considerados intuitivos havendo espaço para aperfeiçoamento. Os registos e a administração são as componentes que se considera apresentarem uma maior melhoria sendo que as outras componentes também tiveram uma avaliação positiva.

Analisando as perguntas de resposta aberta, os inquiridos consideraram que a utilização da aplicação apresenta uma melhoria quando comparada com o funcionamento atual da cooperativa, sendo a diminuição de erros no processo e otimização destes as justificações dadas. No que toca às funcionalidades a visualização dos dados referente aos lotes e contratos, assim como o registo de movimentos dos lotes foi o mais valorizado. As simulações e a identificação de situações irregulares foram colocadas em segundo plano o que se justifica com a maior necessidade de digitalizar o estado da cooperativa.

De notar que a recolha de respostas foi condicionada pelo facto de o deslocamento à cooperativa ter sido realizado numa altura em que não há produção de azeite, com o lagar a funcionar apenas para embalamento. Isto traduz-se num número reduzido de funcionários disponíveis para responder ao questionário, uma vez que o quadro de pessoal durante esse período é tipicamente menor em comparação com a época de produção. Outra condicionante foi a indisponibilidade por parte da administração para participar cuja avaliação teria uma perspetiva mais estratégica.

Em suma a aplicação funciona como esperado mas carece de um período de teste alargado de forma a encontrar bugs ou inconsistências no funcionamento. Num ponto de vista de uso industrial obteve-se bons resultados no entanto, tem-se consciência que o uso prolongado pela cooperativa iria permitir uma avaliação mais profunda.

CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Síntese do trabalho desenvolvido

O objetivo desta dissertação passou pela criação de uma plataforma de simulação para gestão de armazenamento de azeite a fim de reduzir os erros deste processo e contribuir para uma melhor tomada de decisões e otimização dos processos.

O desenvolvimento desta plataforma passou pelo um estudo do azeite, o seu processo de produção e características, assim como uma aprendizagem do funcionamento de uma cooperativa de azeite, com a CABB a ser usada como referência. Também se estudou simulação, desenvolvimento web assim como aprendizagem automática, com foco no uso desta para modelos preditivos. Foram ainda explorados dois casos semelhantes de forma a perceber como podem estes produtos serem melhorados. Com base no estudo feito e nos requisitos, assim como nos casos de uso, foi desenvolvido o modelo conceptual. Por fim desenvolveu-se a plataforma e esta foi testada.

Em termos de implementação desenvolveu-se então:

- Uma base de dados onde são armazenados dados referentes ao funcionamento da cooperativa.
- Uma ferramenta de integração que permite uma população inicial da base de dados com base nos dados disponibilizados pela cooperativa.
- Um modelo de simulação que permite testar vários casos no que toca à capacidade de encomendas da cooperativa.
- Um modelo de simulação que permite testar vários casos no que toca à capacidade de embalagem de um ou mais depósitos.
- Uma aplicação web que permite aos funcionários da cooperativa aceder ao estado atual do lagar

Foi ainda feito um estudo relativo à implementação de um modelo preditivo que antecipa as necessidades dos clientes tendo sido elaborado um plano de como o concretizar.

De forma geral considera-se que os objetivos foram cumpridos com a plataforma a ser considerada uma melhoria para o funcionamento da cooperativa uma vez que esta

permite a redução de erros humanos, a otimização da visualização de informação da cooperativa assim como um apoio na tomada de decisões. O facto de todas as tecnologias usadas serem *open-source* resulta numa solução com pouco custo de implementação, o que apresenta uma melhoria face a outros produtos no mercado. Há ainda que mencionar que a solução desenvolvida integra-se com as tecnologias já existentes na cooperativa.

6.2 Limitações

Este projeto mostrou ter resultados positivos no entanto há condições que limitaram o seu desenvolvimento. São estas:

- A quantidade e qualidade dos dados fornecidos. Muitos ficheiros de dados tinham erros que os tornavam inviáveis para o uso na criação de certas funcionalidades. Para além disto não foram cedidos todos os dados necessários, como o histórico dos clientes. Isto limitou o desenvolvimento da ferramenta de integração, dos modelos de simulação e do modelo preditivo.
- Os testes realizados. Como já foi mencionado no capítulo 5, o tempo de teste da aplicação limita a viabilidade dos resultados obtidos.
- Disponibilidade da plataforma *IoT*. Numa dissertação anterior foi desenvolvida uma plataforma *IoT* que permite a monitorização em tempo real do nível de azeite nos depósitos da cooperativa. Durante a realização da dissertação esta plataforma, apesar de instalada na cooperativa, não se encontrava disponível o que limitou a integração do projeto desenvolvido com a plataforma *IoT*, assim como o desenvolvimento a nível da monitorização e controlo da quantidade de azeite nos depósitos em tempo real.

6.3 Trabalho futuro

Nesta secção são exploradas algumas possibilidades relacionadas com a continuação do desenvolvimento do trabalho realizado

Modelos preditivos

A criação de um modelo preditivo que antecipa as necessidades dos clientes, podendo ser usado pela cooperativa sendo que o estudo feito nesta dissertação pode ser usado como base. A exploração de outros modelos preditivos, por exemplo a previsão de produção de azeite, também é algo a ter em conta.

Modelos de simulação

Os modelos de simulação podem ser aprofundados e mais robusto, inclusive poderiam ser simulados todos os processos da cooperativa. Isto permitiria aos responsáveis da cooperativa uma compreensão mais profunda do seu funcionamento possibilitando a tomada de decisões mais informadas e estratégicas.

Integração com o trabalho previamente realizado

A integração com a plataforma *IoT* que recolhe, em tempo real, a informação relativa ao nível de azeite nos depósitos é importante para que os utilizadores consigam ter informação atualizada sobre o lagar.

Integração com outras áreas do processo da cooperativa

Esta plataforma está focada no armazenamento de azeite mas poderia ser alargada para outras áreas como a receção da azeitona ou a venda de azeite.

Generalização da aplicação para uso em outras cooperativas

Seria interessante estudar com outras cooperativas as dificuldades e necessidades destas de forma a tornar a aplicação mais geral. Inclusivamente pode ser mais personalizável no que toca ao funcionamento, à apresentação e acessibilidade.

Ferramenta de integração

A ferramenta para integração dos dados da cooperativa com a aplicação web criada pode ser aprofundada permitindo a importação de dados de outros tipos de ficheiros ou com uma formatação diferente. Inclusive poderá ser integrada na aplicação web com uma interface que permita ao utilizador fazer a migração.

BIBLIOGRAFIA

- Abbott, D. (2014). *Applied Predictive Analytics: Principles and Techniques for the Professional Data Analyst* (1ª ed.). Wiley Publishing. (Ver pp. 22, 23).
- Ansotec. (2023). *Transformação digital na indústria Oleícola*. <https://almazaraconectada40.com/pt-pt/>. (Ver pp. xi, 11)
- AnyLogic. (2018). *Simulation Software Comparison* (White paper). The AnyLogic Company. (Ver p. 18).
- Anylogic. (2022). *Simulation Software for Every Business Challenge*. Obtido 2022-02-05, de <https://www.anylogic.com/features/>. (Ver p. 18)
- ASAE. (2017). *Azeites e sua Classificação* [Autoridade de Segurança Alimentar e Económica]. Obtido 2022-01-31, de <https://www.asae.gov.pt/newsletter2/asaenews-n-108-julho-2017/azeites-e-sua-classificacao-.aspx>. (Ver pp. xi, 6, 7)
- Banks, J. (1999). Introduction to simulation. *WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings. 'Simulation - A Bridge to the Future' (Cat. No.99CH37038)*, 1, 7–13 vol.1 (ver p. 13).
- Borshchev, A. (2014). Multi-method modelling: AnyLogic. <https://doi.org/10.1002/9781118762745.ch12>. (Ver p. 17)
- Brownlee, J. (2020). *Data Preparation for Machine Learning: Data Cleaning, Feature Selection, and Data Transforms in Python*. Machine Learning Mastery. <https://books.google.pt/books?id=uAPuDwAAQBAJ>. (Ver p. 20)
- Cartaxo, J. A. F. M. (2021). *Development of an IoT platform to monitor storage conditions and packaging optimization in industry environment*. (Ver pp. 2, 36).
- Cassandras, C., & Lafortune, S. (2008). Systems and Models. Em *Introduction to Discrete Event Systems* (pp. 1–51). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68612-7_1. (Ver p. 16)
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., & Wirth, R. (2000). *CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide* (rel. téc.). The CRISP-DM consortium. (Ver p. 23).
- Connolly, R., & Hoar, R. (2015). *Fundamentals of Web Development* (3ª ed.). Pearson Education. (Ver pp. 12, 13).

- Duckett, J. (2014). *HTML and CSS: Design and Build Websites* (1ª ed.). Wiley Publishing. (Ver p. 12).
- FAABA. (2023). *Cooperativa Agrícola de Beja e Brinches*, CRL. <https://www.faaba.pt/associacoes-filiadas/30>. (Ver p. 1)
- Flexsim. (2022). *About Us*. Obtido 2022-02-05, de <https://www.flexsim.com/company/>. (Ver p. 18)
- Galanakis, C. M. (2017). *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*. Elsevier. (Ver p. 5).
- Granja-Amareleja. (2015). *Processo de Fabrico de Azeite* [Cooperativa Agrícola de Granja C.R.L.]. Obtido 2022-01-31, de <http://www.granjaamareleja.pt/o-nosso-processo/>. (Ver p. 5)
- Greasley, A. (2008). Steps in Building a Simulation Model. Em *Enabling a Simulation Capability in the Organisation* (pp. 31–57). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-169-5_4. (Ver p. 13)
- Greif, S., & Burel, E. (2022). *State of JavaScript*. Obtido 2023-08-31, de <https://2022.stateofjs.com/en-US>. (Ver p. 13)
- Hidnert, P., & Peffer, E. (1950). *Density of Solids and Liquids*. U.S. Government Printing Office. <https://books.google.pt/books?id=Ik2Yev9caHUC>. (Ver p. 29)
- IndeaTechnologies. (2011). Sistema de Supervisión para Bodegas de Aceite de Oliva. (Ver pp. xi, 10, 11).
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine Learning and Deep Learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685–695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2> (ver p. 19)
- Jo, T. (2021). Machine learning foundations. *Supervised, Unsupervised, and Advanced Learning*. Cham: Springer International Publishing (ver pp. 20, 21).
- Kelleher, J., Namee, B., & D'Arcy, A. (2020). *Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics, second edition: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies*. MIT Press. (Ver p. 21).
- Kelleher, J. D., Namee, B. M., & D'Arcy, A. (2015). *Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies*. The MIT Press. (Ver pp. 22, 23).
- Klügl, F., & Bazzan, A. (2012). Agent-Based Modeling and Simulation. *AI Magazine*, 33, 29–40. <https://doi.org/10.1609/aimag.v33i3.2425> (ver p. 17)
- Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied Predictive Modeling*. Springer. (Ver pp. 22, 23).
- Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis*. Mcgraw-hill New York. (Ver pp. 15, 16).
- Lee, I., & Shin, Y. J. (2020). Machine learning for enterprises: Applications, algorithm selection, and challenges. *Business Horizons*, 63(2), 157–170. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.10.005> (ver pp. 19, 21)

- Lusa. (2021). *Portugal deve ter produção recorde de azeite na campanha de 2021/2022*. Obtido 2022-01-30, de <https://observador.pt/2021/09/24/portugal-deve-ter-producao-recorde-de-azeite-na-campanha-de-2021-2022/>. (Ver p. 5)
- Macal, C., & North, M. (2014). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, 6–20. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019874> (ver p. 17)
- Mahesh, B. (2020). Machine Learning Algorithms - A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. [Internet], 9, 381–386 (ver pp. 20, 21).
- Marques, P. (2021). Cooperativa Agrícola de Beja e Brinches. *Espaço rural*, (153), 16–19 (ver pp. 1, 7).
- McDaniel, M., Teng, S., Sprout, E., Costa, H., Hall, H., Hunt, J., Boudreau, D., Ramroop, T., & Rutledge, K. (2022). *The Art and Science of Agriculture*. National Geographic Society. Obtido 2022-02-13, de <https://education.nationalgeographic.org/resource/agriculture/>. (Ver p. 1)
- McFadden, J., Casalini, F., Griffin, T., & Antón, J. (2022). The digitalisation of agriculture. (176). <https://doi.org/10.1787/285cc27d-en> (ver p. 1)
- MDN. (2023). *JavaScript First Steps*. Obtido 2023-08-23, de https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/First_steps. (Ver p. 13)
- MySQL. (2023). *Introduction to MySQL Connector/Python*. <https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/connector-python-introduction.html>. (Ver p. 39)
- Nelson, B. L. (2021). *Simulation Programming with Python*. (Ver p. 19).
- Oracle. (2022). *Java JDBC API*. Obtido 2022-02-05, de <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/jdbc/>. (Ver p. 19)
- Peri, C. (2014). *The Extra-Virgin Olive Oil Handbook*. John Wiley & Sons. (Ver pp. 7, 29).
- Popova, I. (2012). Modeling ICT4D: System dynamics model of Swedish University projects. *Spider ICT4D series*, 12–16 (ver pp. xi, 16).
- RockwellAutomation. (2022). *Discrete Event Modeling*. Obtido 2022-02-05, de <https://www.rockwellautomation.com/pt-pt/products/software/arena-simulation/discrete-event-modeling.html>. (Ver p. 18)
- Said Mohamed, E., Belal, A., Kotb Abd-Elmabod, S., El-Shirbeny, M. A., Gad, A., & Zahran, M. B. (2021). Smart farming for improving agricultural management. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3, Part 2), 971–981. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007> (ver p. 1)
- Sarker, I. H. (2021). Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(160). <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-021-00592-x> (ver p. 20)
- Simio. (2022). *What is Simio?* Obtido 2022-02-05, de <https://www.simio.com/about-simio/what-is-simio-simulation-software.php>. (Ver p. 18)
- SIMONE. (2020). *Decision Tree, Random Forest and XGBoost on Arduino*. <https://eloquentarduino.github.io/2020/10/decision-tree-random-forest-and-xgboost-on-arduino/>. (Ver pp. xi, 21)

- SimPy. (2023). *SimPy Discrete event simulation for Python*. (Ver p. 19).
- Statistics & Data. (2023). *Most Popular Backend Frameworks – 2012/2023*. Obtido 2023-08-31, de <https://statisticsanddata.org/data/most-popular-backend-frameworks-2012-2023/>. (Ver p. 13)
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas - Briefing paper* (rel. téc.). Food e Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <https://www.fao.org/3/ca4887en/ca4887en.pdf>. (Ver p. 1)
- Ullrich, O., & Lückcrath, D. (2017). An Introduction to Discrete-Event Modeling and Simulation. *Simul. Notes Eur.*, 27(1), 9–16 (ver p. 16).
- University of Hamburg Department of Computer Science. (2022). *Quick Overview*. Obtido 2022-02-05, de <http://desmoj.sourceforge.net/overview.html>. (Ver p. 18)
- Ventura, C. (2018). *Treino de painel de provadores para azeites virgem: Caraterização físico-química e sensorial de azeites virgem*. (Ver pp. 6, 7).
- Yin, C., & Mckay, A. (2018). *Introduction to Modeling and Simulation Techniques* (ver pp. xi, 13, 14).

I

ANEXO

Avaliação de aplicação web

Este questionário tem como objetivo a avaliação da aplicação web desenvolvida no âmbito de uma dissertação. Esta aplicação, criada em parceria com a cooperativa agrícola de beja e brinches, tem como objetivo otimizar a gestão e tomada de decisões relativas ao armazenamento de azeite. A resposta a este questionário é fundamental para avaliar a aplicação e identificar pontos a melhorar. O questionário é anónimo e as respostas serão utilizadas exclusivamente para fins académicos.

Qual o seu papel na cooperativa?

Considera-se um utilizador experiente em aplicações web?

1 2 3 4 5

Nada experiente Muito experiente

Avalie os vários elementos da aplicação web em relação à apresentação da informação (1-incompreensível, 5-facilmente compreensível)

	1	2	3	4	5	N/A
Lagar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação embalamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação encomendas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Registos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Administração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Avalie os vários elementos da aplicação web de acordo com o quão intuitiva é a sua utilização (1-nada intuitiva, 5-muito intuitiva):

	1	2	3	4	5	N/A
Lagar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação embalamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação encomendas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Registos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Administração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Para cada elemento avalie se a sua utilização apresenta uma melhoria quando comparada com o funcionamento atual da cooperativa (1-não apresenta melhoria, 5-apresenta uma grande melhoria):

	1	2	3	4	5	N/A
Lagar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação embalamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Simulação encomendas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Registos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Administração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ordene as seguintes funcionalidades de acordo com a sua utilidade (1-mais útil, 7-menos útil):

- Visualização em tempo real da quantidade total, disponível e reservada de azeite nos depósitos
- Visualização dos dados referentes a um depósito e respetivo lote
- Identificação de situações irregulares (ex: o depósito ter menos azeite disponível do que o que está reservado)
- Simulação de capacidade de encomenda
- Simulação de capacidade de embalamento
- Registo de movimentos de azeite
- Registo de novos clientes, produtores, depósitos, etc..

De forma geral como avalia a aplicação web?

1 2 3 4 5
 Muito má Muito boa

**Considera que a aplicação pode contribuir para um melhor funcionamento da cooperativa?
Porquê?**

Quais os principais pontos a melhorar?

Que funcionalidades gostaria de ver adicionadas?

Comentários adicionais:



