



Influência de sistemas RF em centros logísticos

FÁBIO ANDRÉ GOMES OLIVEIRA

novembro de 2019

Influência de sistemas RF em centros logísticos

Fábio André Gomes Oliveira

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em
Engenharia de Software**

Orientador: Professor Doutor Luis Lino Ferreira

Porto, outubro 2019

Aos meus pais,
À minha noiva,
À minha família
E aos meus amigos

Resumo

A indústria tem estado em constante evolução ao longo da sua história passando por 4 revoluções industriais, sempre na procura de melhorar a produtividade e eficiência das suas operações. Encontramo-nos atualmente na revolução denominada Indústria 4.0 representada principalmente pela computação em nuvem, pela Internet-das-coisas e pelos sistemas ciberfísicos, criando o conceito de fábricas inteligentes. O problema tratado neste trabalho está relacionado com a elevada quantidade de processos de unidades logísticas com intervenção humana e com falhas na visibilidade de dados operacionais que prejudicam a tomada de decisões.

Esta tese foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia de Software do Instituto Superior de Engenharia do Porto e tem como contributos o estudo da evolução da indústria, da tecnologia RFID e os benefícios que pode trazer ao meio logístico, o desenho e implementação duma solução de baixo custo com utilização da tecnologia RFID, onde seja possível processar e validar leituras RFID garantindo uma gestão de inventário de forma automática e integração da solução com ferramenta de Business Intelligence de forma a gerar relatórios que permitam dar visibilidade aos dados operacionais.

Através do desenvolvimento de um simulador de estações RFID foram criados dois cenários de estudo onde estiveram envolvidas as operações logísticas de receção e expedição. No primeiro cenário, 10000 itens foram recebidos em 33 minutos e 35 segundos e a mesma quantidade foi expedida em 32 minutos e 44 segundos, enquanto que no segundo cenário, 50000 itens foram recebidos em 33 minutos e 38 segundos, enquanto que a mesma quantidade foi exportada em 34 minutos e 3 segundos. Com estes resultados verificamos que é possível obter uma elevada velocidade operacional adicionando a tecnologia RFID nos processos logísticos. Havendo um aumento de carga por operação logística em 5 vezes do primeiro para o segundo cenário, não se verificaram alterações significativas quer nos tempos de resposta a validação de leituras, quer no tempo de atualização de inventário com dados provenientes das leituras RFID, demonstrando a robustez da solução implementada.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Logística, RFID, Business Intelligence

Agradecimentos

O trabalho que é mostrado neste documento é consequência de vários meses de dedicação e esforço. Contudo, tal não seria possível sem o apoio de alguns intervenientes aos quais quero dirigir os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, quero endereçar um forte agradecimento ao Professor Doutor Luís Lino Ferreira por todo o apoio ao longo desta jornada, ajudando-me a ultrapassar as fases mais difíceis da mesma, pela sua disponibilidade em todas as etapas e orientação no sentido de conseguir sempre melhorar o meu trabalho, dando-lhe o rumo certo.

Em seguida, agradecer ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e a todo o corpo docente que com a sua dedicação e profissionalismo deram-me as ferramentas necessárias para ser bem sucedido nesta fase da minha vida académica e a oportunidade de progredir a minha formação.

Por fim, não posso deixar de agradecer aos meus pais pela educação que me deram e sacrifícios que passaram para eu ter uma boa formação e alcançar os meus objetivos, à minha irmã, cunhado e sobrinhos por estarem sempre ao meu lado e me ajudarem sempre que preciso, ao meu irmão que estaria certamente orgulhoso de mim, em especial à minha noiva por ter sido a pessoa que mais me incentivou a prosseguir a minha formação, por estar sempre ao meu lado e pelos sacrifícios e paciência nos momentos mais difíceis, e aos meus amigos, particularmente ao Bernardo Godinho e Juliana Abreu pela amizade e estarem presentes em todos os momentos.

Índice

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Problema a resolver..... | 2 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 1.3 | Estrutura do documento..... | 3 |
| 2 | Contexto | 4 |
| 2.1 | Estado da arte | 4 |
| 2.1.1 | Indústria 4.0..... | 4 |
| 2.1.2 | Influência da Indústria 4.0 na logística | 7 |
| 2.1.3 | RFID..... | 8 |
| 2.1.4 | Operações logísticas | 12 |
| 2.1.5 | Código de barras vs RFID | 13 |
| 3 | Design | 17 |
| 3.1 | Arquitetura..... | 18 |
| 3.2 | Alternativas | 25 |
| 3.3 | Relatórios..... | 26 |
| 4 | Experimentação e resultados | 29 |
| 4.1 | Simulador | 29 |
| 4.2 | Cenário 1 | 31 |
| 4.3 | Cenário 2 | 34 |
| 5 | Conclusão | 39 |
| 6 | Bibliografia | 41 |

Lista de Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Evolução da indústria | 5 |
| Figura 2: <i>Tag</i> RFID | 8 |
| Figura 3: Sistema RFID | 9 |
| Figura 4: Código de barras 1D | 14 |
| Figura 5: Código de barras 2D | 14 |
| Figura 6: Pontos de leitura RFID em centro logístico | 17 |
| Figura 7: Arquitetura da solução (alto nível)..... | 19 |
| Figura 8: Diagrama de componentes da solução | 20 |
| Figura 9: Diagrama de atividades do processamento de leituras RFID..... | 23 |
| Figura 10: Diagrama de atividades da atualização de inventário | 24 |
| Figura 11: Instalação de solução em infraestrutura local na unidade logística | 26 |
| Figura 12: Relatórios gráficos gerados pela ferramenta de Business Intelligence..... | 27 |
| Figura 13: Relatório de inventário global..... | 27 |
| Figura 14: Relatório de inventário por zona | 28 |
| Figura 15: Simulação do cenário 1 | 32 |
| Figura 16: Tempos de resposta de validação de leitura na estação de receção do cenário 1 ... | 33 |
| Figura 17: Tempos de resposta de validação de leitura na estação de expedição do cenário | 134 |
| Figura 18: Simulação do cenário 2 | 35 |
| Figura 19: Tempos de resposta de validação de leitura nas estações de receção do cenário | 236 |
| Figura 20: Tempos de resposta de validação de leitura nas estações de expedição do cenário | 237 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: As quatro revoluções industriais | 6 |
| Tabela 2: Comparação entre os tipos de frequência usadas em <i>tags</i> RFID | 10 |
| Tabela 3: Relação entre o esquema de codificação EPC e chave GS1..... | 12 |
| Tabela 4: Comparação entre a utilização de código de barras e RFID em operações logísticas | 16 |
| Tabela 5: Configuração das estações RFID para a simulação do cenário 1..... | 32 |
| Tabela 6: Resultados da simulação da estação de recepção no cenário 1..... | 33 |
| Tabela 7: Resultados da simulação da estação de expedição no cenário 1..... | 34 |
| Tabela 8: Configuração das estações RFID para a simulação do cenário 2..... | 35 |
| Tabela 9: Resultados da simulação das estações de recepção no cenário 2 | 36 |
| Tabela 10: Resultados da simulação das estações de expedição no cenário 2..... | 37 |

Acrónimos

Lista de Acrónimos

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| RFID | <i>Radio Frequency Identification</i> |
| EPC | <i>Electronic Product Code</i> |
| WMS | <i>Warehouse Management System</i> |
| TMS | <i>Transport Management System</i> |
| ERP | <i>Enterprise Resource Planning</i> |
| BI | <i>Business Intelligence</i> |
| ASN | <i>Advance Shipping Notice</i> |

1 Introdução

A indústria tem sofrido uma grande evolução aos longo dos tempos, tendo já passado por quatro revoluções durante a sua história. A primeira revolução introduziu sistemas de manufatura mecânicos com recurso ao uso de água e vapor, a segunda revolução introduziu a eletricidade, a eletrónica, os dispositivos mecânicos e os carros, a terceira revolução marcou a aposta nas inovações tecnológicas e introdução de sistemas de automação [1].

Atualmente encontramos-nos na quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0, que vem dando continuidade ao investimento tecnológico traduzido da revolução anterior resultando na criação das chamadas fábricas inteligentes. Desta forma, a Indústria 4.0 é caracterizada pela aposta na computação em nuvem e na Internet-das-coisas, mas principalmente pela introdução dos sistemas ciber-físicos que permitem ter uma solução completamente integrada, com monitorização dos sistemas implementados e rastreamento de produtos [1].

Uma das áreas da indústria mais importantes, por ser transversal a diversas unidades de negócio é a logística. Assim sendo, a evolução tecnologia que se verifica na Indústria 4.0, tem um impacto importante na realidade da logística no sentido de tornar as suas operações mais eficientes, acrescentando valor ao seu negócio. Entre as principais mudanças verificadas encontram-se a introdução de sistemas como ERP, WMS, TMS ou BI e sistemas com sensores e identificação sem fios como por exemplo RFID [2].

RFID é uma tecnologia aplicada em sistemas para identificação de objetos físicos etiquetados com *tags* RFID, através de ondas rádio, que comparativamente com outros métodos de identificação, seja manual ou através de etiquetas de códigos de barras, tornam o processo mais rápido, eficiente e automatizado [3].

A eficiência do fluxo de materiais torna-se cada vez mais essencial para que as cadeias de distribuição sejam competitivas e aumentarem os seus lucros. Os métodos tradicionais de identificação e localização de materiais por meio manual ou por leitura de código de barras não dão a resposta necessária às necessidades atuais, e conduzem, muitas vezes, a erros ou falta de informação e, por consequência, a ruturas de stock e perdas de dinheiro.

1.1 Problema a resolver

A competitividade no mercado industrial e logístico tem sido cada vez maior implicando uma constante procura, por parte das empresas, em melhorar a sua eficiência. Anteriormente, a solução para os problemas existentes numa unidade logística era encontrada com base em reestruturações relativamente à estratégia ou modo operacional. Contudo, nos dias de hoje soluções a esse nível revelam-se insuficientes para que as empresas se tornem competitivas. Com a influência que as várias atividades têm umas nas outras a ser cada vez maior, é essencial que haja uma coordenação rigorosa das mesmas e, assim sendo, requer uma capacidade de decisão cada vez mais assertiva. [4]

Entre os problemas que as empresas precisam de reunir esforços para resolver podemos nomear dois que serão aqueles que este trabalho tem intenção de estudar. O primeiro está relacionado com quantidade de operações manuais que se verificam nas unidades logísticas, como por exemplo a gestão de inventário por contabilidade manual ou por leitura de códigos de barras. Para além de ser um processo lento, onde a velocidade está diretamente relacionada com a habilidade do operador que executa a função, é um processo que tem intervenção humana e, desta forma, o risco de erro é elevado. O outro problema em estudo está relacionado com a visibilidade de dados operacionais. Sendo a tomada de decisão tão importante na evolução no meio industrial e logístico, a disponibilidade e qualidade de informação gerada a partir de dados operacionais recolhidos pela implementação das novas tecnologias inerentes à Indústria 4.0 revela-se fundamental para auxiliar os responsáveis pelas atividades operacionais a tomarem as melhores decisões.

1.2 Objetivos

Neste trabalho é pretendido desenvolver uma solução *open-source* recorrendo à tecnologia RFID sendo uma opção de baixo custo para ser implementada numa unidade logística. Esta solução visa então resolver os problemas identificados na secção 1.1, permitindo o fluxo de materiais ao longo da cadeia de distribuição de uma forma mais rápida e eficiente. A solução integrará também com uma ferramenta de Business Intelligence, de forma a dar visibilidade aos dados operacionais recolhidos, numa forma inteligente sendo um importante apoio para a tomada de decisões no que diz respeito às operações dos centros logísticos.

Desta forma, os objetivos do trabalho são os seguintes:

- Estudar as revoluções industriais;
- Analisar a influência da Indústria 4.0 na logística;
- Estudar a tecnologia RFID e os seus benefícios para os centros logísticos;
- Desenhar e implementar uma solução com utilização da tecnologia RFID, onde seja possível processar e validar leituras RFID garantindo uma gestão de inventário de forma automática;

- Integração da solução desenvolvida com uma ferramenta de Business Intelligence para gerar relatório de dados;
- Desenvolver um simulador para definir casos de estudo;
- Execução de simulações e análise de resultados.

1.3 Estrutura do documento

O documento apresentado encontra-se dividido em cinco capítulos. Inicia-se com o capítulo da Introdução, onde é introduzido o problema em estudo e objetivos do trabalho. Segue-se o capítulo do Contexto, onde o trabalho é contextualizado e feita uma revisão da literatura relativamente às áreas em estudo, como a Indústria 4.0, a sua influência na logística e a tecnologia RFID. Seguidamente é encontra-se o capítulo Design, onde é apresentada a arquitetura da solução e detalhes de implementação da solução desenvolvida e alternativas encontradas. No quarto capítulo é apresentado um simulador desenvolvido e usado em experimentações realizadas, com a análise dos resultados obtidos. Por fim, um capítulo com as conclusões do trabalho.

2 Contexto

2.1 Estado da arte

Neste capítulo é realizada uma revisão do estado da arte. É feita uma introdução à Indústria 4.0 e a sua influência na área da logística, seguido do estudo dos conceitos gerais da tecnologia RFID. Termina com a apresentação das principais operações logísticas e um comparativo das mesmas utilizando identificação de produtos com recurso a leitura de códigos de barras com a identificação por RFID.

2.1.1 Indústria 4.0

A indústria tem sofrido uma grande evolução aos longo dos tempos tendo já passado por várias revoluções na sua história.

A primeira revolução industrial, denominada Indústria 1.0, teve início ainda no século XVIII e durou até aos inícios do século XIX, com a introdução de sistemas de manufatura mecânicos recorrendo ao uso de água e vapor [5]. Marcou uma mudança nas atividades da sociedade onde a indústria ganhou uma maior importância em detrimento das atividades humanas. Esta mudança foi motivada por uma procura de produtos em volume superior ao que era a oferta. No seu livro chamado Riqueza das Nações, Adam Smith apresenta a ideia que o preço é um valor dado pelas variações entre a oferta e a procura de produtos, isto é, o preço aumenta quando a procura é superior à oferta e diminui quando a oferta é superior à procura [1].

A segunda revolução industrial, denominada Indústria 2.0, teve o seu período desde os últimos anos do século XIX até à década de 80 do século XX e resultou na produção em grandes quantidades e variedades (produção em massa) [5]. As maiores mudanças passaram pela introdução da eletricidade, eletrónica, dispositivos mecânicos e carros. Henry Ford, fundador da Ford Motor Company, teve a sua contribuição com a produção em massa através

de linhas de produção e Taiichi Ohno criou o sistema de produção da Toyota com foco nos diversos interesses dos seus clientes, resultado na fabricação de produtos variados [1].

A terceira revolução industrial, denominada Indústria 3.0, começou na década de 80 do século XX e dura até aos dias de hoje, tendo introduzido sistemas de automação na indústria [5]. Adicionalmente, tiveram lugar inovações tecnológicas no campo da indústria eletrónica com grande influência, como por exemplo a passagem do uso de sinal analógico para o digital. Nesta fase, os avanços nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) estiveram no centro da mudança de paradigma na manufatura, com a introdução da computação e da robótica no meio industrial [5].

A quarta revolução industrial, denominada Indústria 4.0, foi apresentada na Feira de Hannover em 2011. Contudo, a sua oficialização teve lugar no ano de 2013 com a ideia de revolucionar o setor industrial. Dando continuidade à aplicação tecnológica existente, a Indústria 4.0 é representada principalmente pela computação em nuvem, pela Internet-das-coisas e pelos sistemas ciber-físicos (uma das ideias mais revolucionárias), tendo resultado no aumento de fábricas inteligentes, acompanhando esta tendência. Relativamente à revolução anterior, a Indústria 4.0 acrescenta o conceito de digitalização do ecossistema industrial numa solução totalmente integrada [5] e cobre a necessidade de ter soluções que permitam monitorização de dados em tempo real, rastreio de produtos e estados e aplicação de instruções para controlo de processos de produção [6].

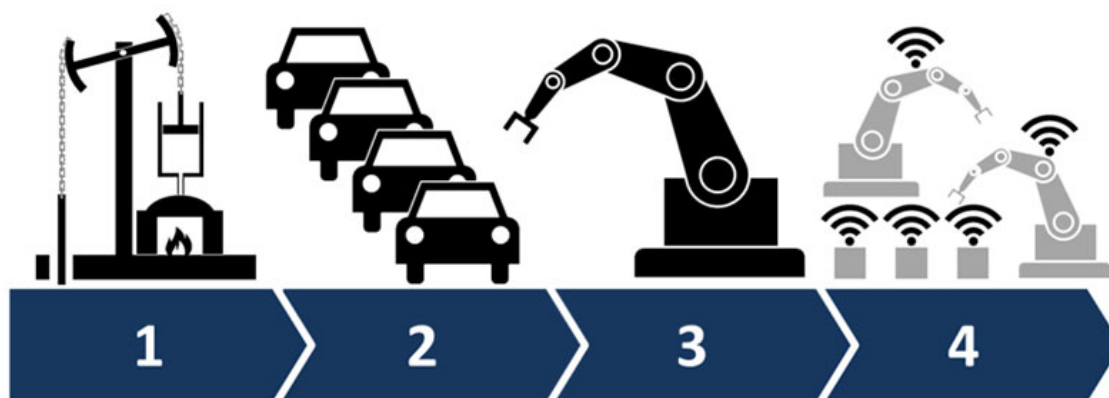


Figura 1: Evolução da indústria ¹

A computação em nuvem é uma grande mais-valia para a indústria, uma vez que é possível atingir altos níveis de performance a um custo reduzido, permitindo a partilha de recursos, alocação dinâmica e armazenamento de grandes volumes de dados. Esta flexibilidade veio combater uma menor produtividade aquando da necessidade por parte das empresas, em determinados momentos, de aumentar os seus recursos físicos, como, por exemplo, servidores de bases de dados [5].

¹ Founder's Guide, "Industry 4.0: Bringing Your Manufacturing Into the Future", 15 de novembro de 2016, <http://foundersguide.com/industry-4-0-bringing-your-manufacturing-into-the-future/>

A Internet-das-coisas define-se como uma infraestrutura de rede global onde múltiplos dispositivos se interligam baseando a sua atividade em dados recolhidos por sensores, na comunicação entre si e o processamento de dados. Inicialmente usada com a tecnologia RFID para identificação e rastreamento de objetos, a Internet-das-coisas rapidamente evoluiu e associou-se a outras tecnologias como sensores, GPS ou dispositivos móveis através de Wi-Fi, Bluetooth ou NFC. É possível encontrar RFID em diversas áreas da indústria, como no transporte de materiais, no retalho, gestão de materiais ou cuidados de saúde. Da mesma forma, a aplicação de sensores também se encontra visível na monitorização de várias vertentes como indústria, ambiente, transporte e cuidados de saúde.

A Indústria 4.0 está fundamentalmente assente nos sistemas ciber-físicos. Estes sistemas consistem numa interligação e comunicação entre componentes físicos e componentes de *software*, e apresentam uma evolução aos atuais sistemas embebidos simples, no sentido de oferecer adaptabilidade, escalabilidade, resiliência e segurança. No entanto, esta evolução implica a definição de uma nova arquitetura com destaque para a modularidade, interoperabilidade e verificação, devido às suas características, tais como a autonomia e a cooperação, em resposta à constante mudança do ambientes e configurações onde são aplicados. São os sistemas ciber-físicos que tornam possível a Indústria 4.0, eliminando as barreiras entre o mundo físico e o virtual. A união entre agentes físicos, agentes de *software* e agentes humanos torna possível e real o conceito de fábricas inteligentes, um marco muito importante na história da indústria, onde a produtividade e a eficiência apresentam melhorias significativas. Desta forma, novos modelos de negócio, mais flexíveis, tornam-se possíveis [5].

Para implementar a Indústria 4.0, existem desafios técnicos que devem ser considerados:

- O avanço tecnológico é significativo e muitas empresas poderão não estar ainda preparadas para a transformação necessária;
- Sendo expectável que a quantidade de objetos físicos interligados e a quantidade de dados transmitidos na rede das empresas aumentem em larga medida ao longo do tempo, a escalabilidade é um potencial problema e que deve ser cuidadosamente analisado;
- A grande quantidade de informação recolhida dos diversos dispositivos interligados só terá valor se a mesma for processada. Desta forma, a análise de dados é uma aplicação importante a ter em conta de forma a tirar o maior proveito para o negócio;

| Indústria 1.0 | Indústria 2.0 | Indústria 3.0 | Indústria 4.0 |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---|
| Motores a vapor e água | Produção em massa Energia elétrica | Sistemas de automação | Internet das coisas Sistemas ciber-físicos |

Tabela 1: As quatro revoluções industriais

2.1.2 Influência da Indústria 4.0 na logística

O aparecimento de novas tecnologias e clientes cada vez mais exigentes, implicou uma grande mudança na indústria levando à revolução que se encontra atualmente em curso, a Indústria 4.0. A evolução das TIC e a sua aplicação na indústria tornou-se fundamental para a mesma se tornar mais eficiente e competitiva, adicionando valor ao seu negócio. Tendo em conta que a logística é uma atividade transversal que afeta as várias unidades de negócio envolvidas, torna-se fundamental que a evolução tecnológica que está a acontecer na indústria seja aplicada também nos sistemas logísticos de forma a integrarem com as entidades e parceiros de produção [7]. A logística tem sido uma das atividades da indústria onde as mudanças suprarreferidas se têm evidenciado devido à introdução de sistemas como *Enterprise Resource Planning* (ERP), *Warehouse Management Systems* (WMS) ou *Transportation Management Systems* (TMS) que, juntamente com redes de sensores, rastreamento de objetos e sistemas de *Business Intelligence* (BI) resultam em soluções flexíveis e um importante apoio nas decisões da organização, aumentando a sua eficiência [2].

O planeamento de recursos, sejam eles pessoas, materiais ou equipamentos, vão guiar as cadeias de distribuição a uma maior produtividade, flexibilidade e a uma resposta mais rápida e eficaz à mudança com a incorporação das ideias da Indústria 4.0. Uma gestão adequada dos recursos é uma das formas encontradas para potenciar os processos dentro da cadeia de distribuição. Contudo, as mudanças no planeamento de recursos implicam também uma mudança nos perfis das pessoas com cargos de Recursos Humanos que deverão ter níveis de qualificação cada vez mais elevados para encontrar os recursos com perfis adequados para dar resposta às necessidades técnicas cada vez mais exigentes [2].

Nas cadeias de distribuição, os armazéns desempenham um papel importante no que diz respeito ao fluxo de materiais. Desta forma, também estes vão sofrer alterações grandes e importantes com a incorporação das ideias da Indústria 4.0, como, por exemplo, a implementação de sistemas como WMS para a gestão das atividades da cadeia e soluções inteligentes integrando com a tecnologia RFID na receção e expedição de produtos e seu armazenamento dentro da cadeia [8]. Terá de existir objetivamente uma coordenação total entre todos os intervenientes e em todos os passos do processo. No caso da receção de produtos num armazém, existe uma comunicação com o WMS por parte da transportadora da hora prevista de chegada, de forma a ser automaticamente alocada uma porta de entrada. Os sistemas RFID são responsáveis pela verificação de validação da receção dos produtos, enviando o resultado para o WMS, que por sua vez já atribuiu um local de armazenamento para os produtos recebidos. Uma vez mais, através de sistemas RFID, instalados nos locais de armazenamento, é feito o rastreamento dos materiais permitindo a criação de inventários em tempo-real, sendo assim um importante auxílio na tomada de decisões no sentido de prevenir situações de rutura de *stock* [2].

Sistemas para gestão do transporte de produtos como TMS têm evoluído bastante ao longo dos últimos anos aumentando o número de funcionalidades, sendo cada vez mais adotados pelas companhias. Estes sistemas integram com outros sistemas dentro da cadeia de

distribuição, como, por exemplo, o já referido WMS, e comunicam com transportadoras, parceiros comerciais e clientes. O TMS desempenha um papel importante na cadeia de distribuição com a possibilidade de localizar veículos de forma precisa com o recurso à tecnologia GPS, enquanto os mesmos fazem o seu percurso, de forma a monitorizar a movimentação de produtos em tempo real desde a sua origem até ao destino ou de negociar com transportadoras. Com a evolução das tecnologias e a computação em nuvem cada vez mais em voga, a presença de sistemas TMS alojados em nuvem é vista como a solução preferencial atualmente, permitindo uma implementação mais rápida, evitando instalações locais [2].

2.1.3 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) é uma tecnologia que permite a transmissão da identidade de um objeto ou pessoa de forma única através de ondas rádio [9]. Outros sistemas de identificação existentes, como por exemplo aqueles onde são usados códigos de barras, obrigam a um trabalho manual para a leitura de dados de uma etiqueta. Uma das grandes vantagens do RFID é a possibilidade da transmissão de dados guardados numa *tag* ser realizado de uma forma automática e sem fios, bastando para isso um dispositivo com capacidade de leitura RFID. Desta forma, a identificação usando RFID torna-se mais rápida comparativamente às restantes alternativas [3].

Acredita-se que as suas origens remontem à época da 2ª Guerra Mundial, onde radares eram usados para sinalizar a aproximação de aviões. Contudo, havia o problema de não saberem a quem pertencia cada um deles. Os alemães descobriram então que na eventualidade de haver uma rotação no avião, o sinal de rádio era refletido e com este procedimento saberiam se o avião detetado pertencia às suas tropas ou ao inimigo. Já o britânico Watson-Watt desenvolveu um sistema onde colocou um transmissor em cada avião britânico, que assim que recebia sinais por parte dos radares retransmitia-o. Estes são exemplos que ilustram o funcionamento básico do RFID [10].

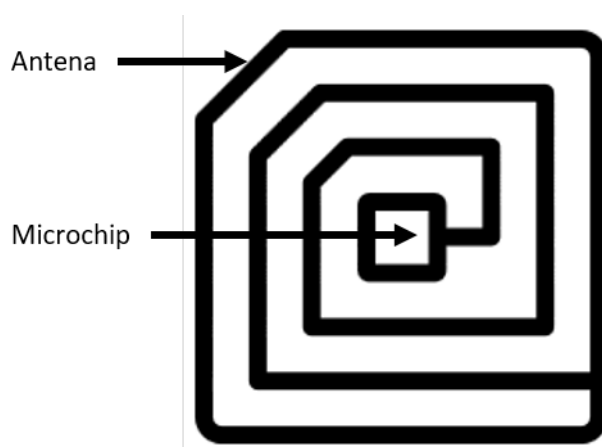


Figura 2: Tag RFID

Em termos de arquitetura, para construir um sistema RFID são necessários três componentes essenciais:

- *Tag* RFID: constituída por um *microchip* e por uma antena, tal como ilustrado na Figura 1. O *microchip* armazena um número de série único, com possibilidade de poder guardar mais informações, como, por exemplo, dados relativos a um produto;
- Leitor RFID: dispositivos (fixos ou móveis) equipados com antenas que através das ondas rádio consomem os dados transmitidos pelas *tags*, filtra-os e envia-os para uma unidade de processamento;
- Servidor: computador que aloja diversas aplicações e bases de dados que compreendem o processamento dos dados RFID.

A Figura 3 demonstra as comunicações realizadas entre os vários componentes do sistema. Tudo se inicia pelo envio de ondas rádio por parte dos leitores RFID, que ao serem detetados pelas antenas das *tags* RFID resultam na sua ativação. Assim sendo, a informação contida nos *chips* das *tags* é comunicada para o leitor modelada numa frequência predefinida, e o último converte a informação recebida em código binário que, por fim, é transmitida para uma unidade de processamento.

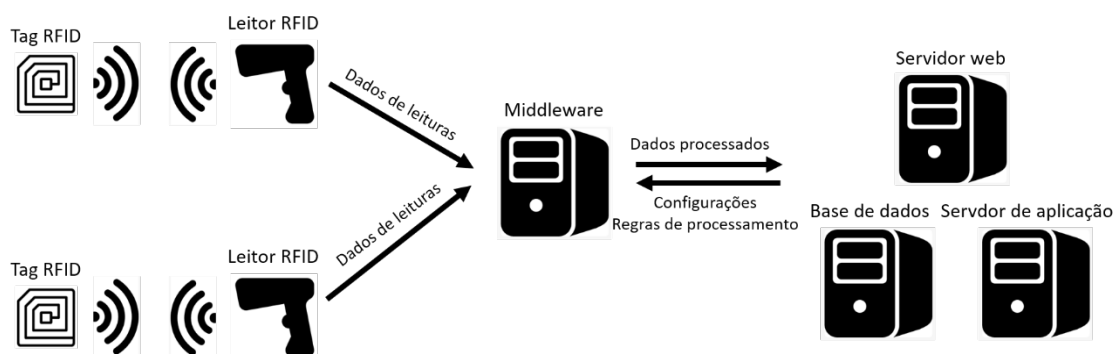


Figura 3: Sistema RFID

No que diz respeito às frequências das ondas rádio utilizadas nas *tags* RFID, podem-se definir três tipos: baixa frequência (LF), alta frequência (HF) e ultra-alta frequência (UHF). Cada um destes tipos de frequência resultam em diferentes comportamentos relativamente à capacidade de leitura e, como consequência, são aplicadas em diferentes âmbitos.

A Tabela 2 reúne para cada um dos tipos as frequências utilizadas, o alcance, as suas possíveis aplicações e também as vantagens e desvantagens [11].

No que diz respeito à fonte de energia, os sistemas RFID podem ser divididos em três categorias: sistemas passivos, sistemas ativos e sistemas semi-ativos.

| Tipo | LF | HF | UHF |
|---------------------|--|--|--|
| Frequência | 125 KHz e 134.2 KHz | 13.56 MHz | Entre 300 MHz e 3GHz |
| Alcance | Poucos centímetros | 50 cm | 6 m |
| Vantagens | <ul style="list-style-type: none"> - Não afetado por metal - Não afetado por água - Sem restrições no uso da frequência | <ul style="list-style-type: none"> - Pouco afetado por metal - Pouco afetado por água - Não afetado por ruído elétrico - Leitura de várias <i>tags</i> em simultâneo | <ul style="list-style-type: none"> - Alto alcance - Taxa de transferência de dados alta - Leitura de <i>tags</i> em massa - Preço das <i>tags</i> substancialmente mais baixo do que LF e HF |
| Desvantagens | <ul style="list-style-type: none"> - Afetado por ruído elétrico - Taxa de transferência de dados baixa | <ul style="list-style-type: none"> - Baixo alcance - Eficiência em metal e água mais baixa em comparação com LF | <ul style="list-style-type: none"> - Sinal absorvido por água - Sinal refletido por metal - Quantidade de memória limitada |
| Aplicações | <ul style="list-style-type: none"> - Rastreamento de animais | <ul style="list-style-type: none"> - Cartões de controlo de acesso - Cartões de crédito - Passaportes | <ul style="list-style-type: none"> - Indústria - Retalho |

Tabela 2: Comparação entre os tipos de frequência usadas em *tags* RFID

Os sistemas passivos utilizam *tags* RFID passivas, isto é, *tags* que não contêm um transmissor nem fonte de energia e apenas refletem as ondas rádio enviadas pela antena do leitor RFID, tendo um curto alcance de leitura. Por serem mais baratas e por não terem necessidade de manutenção, este é o tipo de *tag* mais requisitada pelas empresas para controlar as suas cadeias de distribuição. Podem funcionar a diferentes frequências: baixa, alta e ultra-alta sendo que a frequência deverá ser escolhida de acordo com o tipo de utilização requerido. Quanto mais alta a frequência, mais dificuldade o sinal tem em penetrar materiais e obstáculos.

Os sistemas ativos utilizam *tags* RFID ativas que, por sua vez, possuem um transmissor, uma fonte de energia e, opcionalmente, uma bateria. São mais dispendiosas monetariamente e são usadas para comunicações à distância. Este tipo de *tags* pode ser dividido em duas subcategorias: *transponders* e *beacons*. Os *transponders* são utilizados por exemplo em portagens de autoestradas, onde os *transponders* são acordados pelo sinal enviado pelo leitor RFID, transmitindo de volta o seu número de identificação. Já os *beacons* são usados para o rastreamento de objetos onde a localização é fator importante. De forma periódica, a *tag* transmite o seu número de identificação, sendo este sinal lido por pelos menos 3 antenas instaladas na área circundante [3].

Já os sistemas semi-ativos são baseados em *tags* RFID semi-ativas, que utilizam a bateria para obter energia, contudo realizam a transmissão do mesmo modo que as *tags* RFID passivas, ou seja, refletem as ondas rádio enviadas pela antena do leitor RFID. São *tags* mais baratas que

as *tags* ativas e possuem funcionalidades mais avançadas relativamente às *tags* passivas, uma vez que são usadas em combinação com sensores [11].

Existe já, nos dias de hoje, um vasto número de aplicações que fazem uso da tecnologia RFID, sendo a principal funcionalidade a identificação de objetos físicos, que em conjunto com unidades de processamento e outros sensores, combatem a necessidade da intervenção humana na identificação desses mesmos objetos. Desta forma, o número de erros é substancialmente reduzido ao mesmo tempo que torna as operações mais rápidas e eficientes. A aplicação desta tecnologia pode encontrar-se em várias áreas:

- Logística – A gestão de inventário tornou-se mais rápida e eficiente, onde os produtos identificados com *tags* RFID são facilmente rastreados. Havendo uma maior visibilidade do inventário em tempo real, são prevenidas situações como rutura de stock e, conseqüentemente, perda de dinheiro.
- Transportes – Muitos bilhetes de transportes utilizados hoje em dia têm embebidos *tags* RFID, assim como os pagamentos em portagens de auto estradas já são feitos de forma automática utilizando esta tecnologia, como é o caso (em Portugal) da Via Verde.
- Manufatura – Usado no rastreamento e identificação das várias partes que constituem um produto na sua produção.
- Cuidados de saúde – Utilizado na identificação de produtos e identificação de pacientes, que associado às suas fichas médicas permitem uma melhor gestão do historial médico dos pacientes.
- Controlo de acessos – O acesso a edifícios ou salas pode ser feito recorrendo a cartões com RFID, aumentando a segurança restringindo o acesso apenas a pessoas que possuam os cartões.
- Pagamentos – Existem já cartões de crédito que estão equipados com RFID, permitindo a identificação e pagamento de forma automática em terminais equipados com leitores RFID.
- Cartões de Identificação e Passaportes
- Animais – Muitos países definiram leis para a aplicação de RFID na identificação de animais [11].

2.1.3.1 EPC

Electronic Product Code (EPC) é um número que identifica univocamente um objeto físico, sendo desenhado para ser armazenado numa *tag* RFID e usado para o rastreamento de objetos vários tipos, tais como produtos dentro de uma cadeia de distribuição, unidades logísticas (como caixas de produtos) ou documentos [12].

A GS1 é uma organização de desenha e mantém padrões globais na comunicação empresarial. Para cada classe de objeto, a GS1 associa uma palavra chave e define a estrutura de dados que o representa. A Tabela 1 mostra os esquemas de codificação definidos por cada padrão e a sua aplicação mais frequente.

| Chave GS1 | Esquema de codificação EPC | Aplicação |
|-----------|----------------------------|---------------------|
| GTIN | sgtin | Produtos comerciais |
| SSCC | sscc | Unidades logísticas |
| GLN | sgln | Localização |

Tabela 3: Relação entre o esquema de codificação EPC e chave GS1

A estrutura de um EPC segue um formato básico constituído por 4 partes:

- *Header* - identifica o tipo, tamanho e estrutura do EPC
- *EPC Manager Number* - define a estrutura das partes do EPC que lhe segue
- Classe do objeto - identifica o tipo de objeto
- Número de série - identifica a instância do objeto

A EPCglobal, grupo da GS1 responsável pela gestão da usabilidade dos padrões de EPCs definiu 3 formas de representação dos mesmos:

- *Pure Identity EPC URI*: é a principal representação de um EPC, sob a forma de *Uniform Resource Identifier (URI)*
- *EPC Tag URI*: apresenta uma estrutura onde combina o EPC com outra informação de controlo
- *Binary Encoding*: é a representação binária do EPC ²

Cada esquema de codificação tem as suas próprias regras para a construção de um EPC. Nos Anexo 1, Anexo 2 e Anexo 3 podem ser encontradas as tabelas de codificação e correspondentes partições para os esquemas SGTIN-96, SSCC-96 e SGLN-96, respetivamente. Esta informação é particularmente revelante e tem de ser rigorosamente seguida para a implementação de algoritmos de codificação e descodificação de códigos EPC.

2.1.4 Operações logísticas

As operações logísticas são um conjunto de atividades que se revelam essenciais para o funcionamento de uma unidade logística de modo a que haja fluxo de materiais no menor tempo possível. Uma má estratégia na definição de cada uma destas atividades poderá ter consequências na eficiência das restantes e poderá conduzir a empresa a perdas significativas a nível financeiro.

A receção é a operação que permite a introdução de novos produtos na unidade logística. Os fabricantes enviam os produtos, muitas vezes acompanhados por documento com o conteúdo enviado como por exemplo Advance Shipping Notice (ASN). Na receção os operadores têm a responsabilidade de efetuar a contagem dos produtos recebidos e comparar as quantidades

² "EPC Information", <https://www.epc-rfid.info/>

com a ASN respetiva. Caso não haja correspondência no que às quantidades diz respeito, a entrega pode ser rejeitada. Se a entrega estiver de acordo com o documento, o material é colocado a uma zona de armazenamento e é registada a receção no sistema em funcionamento na unidade logística, como por exemplo WMS. [13] Existem unidades logísticas que após a receção os materiais dão entrada imediata em inventário, contudo existem outros casos onde é requerido que estes sejam colocados numa zona específica antes de ser dada a entrada em inventário.³

A operação de picking é a atividade mais exigente a nível de recursos humanos, sendo naturalmente aquela mais propícia ao erro humano.⁴ Uma lista de picking é gerada pelo sistema da unidade logística (WMS) e um operador é responsável por recolher os produtos de acordo com o documento deslocando-se fisicamente até ao respetivo local confirmando que a recolha contém as quantidades esperadas. Por fim, quando a recolha se encontra completa o operador dá como finalizada a atividade de picking no sistema sendo, desta forma gerado um documento de expedição. [13]

Neste ponto, produtos são inseridos em caixas e colocados numa zona em espera para serem expedidos. A expedição é atividade final que consiste no carregamento de camiões com estes produtos em espera de serem expedidos. Dados relativos à expedição terão de ser registados em sistema, resultando numa atualização do inventário com a saída dos produtos expedidos. [13]

2.1.5 Código de barras vs RFID

O rastreamento de produtos ao longo da cadeia de distribuição é um processo essencial na gestão e fluxo de materiais, sendo código de barras e RFID duas tecnologias diferentes usadas na leitura e identificação de materiais. Embora ambas sejam usadas para a mesma finalidade, isto é, identificação de objetos, pessoas e animais, elas atuam de maneiras bastante diferentes.

Informação relativa ao funcionamento da tecnologia RFID foi apresentado na secção 2.1.3. Os códigos de barras consistem em etiquetas com um conjunto de barras pretas que representam informação sobre um determinado produto. Um exemplo do quotidiano onde é aplicada a identificação por via de código de barras encontra-se nos bilhetes de concertos, tendo cada um o seu próprio código. As Figura 4 e Figura 5 são exemplos de códigos de barras na forma unidimensional e bidimensional, respetivamente.

³ Mal Walker, "Spotlight on: 7 Key Warehouse Processes", 25 de julho de 2018, <https://www.logisticsbureau.com/spotlight-on-7-key-warehouse-processes/>

⁴ "Receiving, Picking, Putaway, Inventory Control, Packing & Shipping", <https://www.abr.com/receiving-picking-putaway-inventory-control-packing-shipping/>

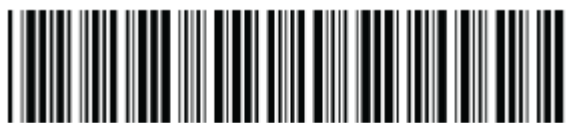


Figura 4: Código de barras 1D



Figura 5: Código de barras 2D

Contudo, existem características na identificação por RFID e código de barras que marcam a diferença na sua utilização. Por um lado, a identificação por código de barras necessita que haja uma linha de visão entre o leitor e o código, o leitor apenas consegue ler um código de cada vez, se a etiqueta que contém o código se encontrar danificada o leitor poderá não conseguir realizar a leitura, o código apenas identifica o tipo de item (por exemplo, t-shirt branca de tamanho M), não pode haver atualização do código e necessita de trabalho humano para manter a rastreabilidade dos objetos e, assim sendo, mais propício ao acontecimento de erros. Por outro lado, as etiquetas com RFID não necessitam de uma linha de visão entre o leitor e a etiqueta para a mesma ser lida, uma vez que a leitura é realizada por meio de ondas rádio podendo ser lidas ao mesmo tempo várias etiquetas, a leitura pode ser realizada mesmo em ambientes mais adversos, existe a identificação unívoca de um objeto específico (por exemplo, uma única t-shirt branca de tamanho M), existe a possibilidade da informação contida na etiqueta RFID ser reescrita e o rastreamento de objetos pode acontecer de uma forma automática sem intervenção humana, logo o erro humano é eliminado. [14]

No entanto, a questão que muitas vezes é colocada sobre qual das opções é a melhor não tem uma resposta imediata. A resposta mais adequada será: depende. À primeira vista, a tecnologia RFID oferece uma grande quantidade de vantagens em comparação com o código de barras. Mas também é verdade que no caso da opção escolhida ser RFID esta exigirá um esforço financeiro maior, uma vez que etiquetas RFID são mais caras que etiquetas com código de barras. Assim sendo, se para uma unidade de negócio o código de barras der uma resposta adequada às suas exigências de rastreamento de produtos, a opção código de barras será uma solução útil e mais económica.⁵

No artigo [13] os autores apresentam um estudo realizado num centro de distribuição. Este objeto de estudo armazena mais de 10 milhões de produtos correspondentes a 10000 tipos

⁵ GopherWerx, “RFID vs. Barcode – What’s the Difference?”, 4 de dezembro de 2017, <http://gopherwerx.com/rfid-vs-barcode-difference/>

diferentes, compreendendo mais de 10000 operações diárias. Contudo, apresenta evidentes problemas de eficiência nas suas operações devido a falhas ao nível da gestão, nomeadamente no que diz respeito aos tempos de espera entre cada operação e à definição da localização que os produtos são destinados (sendo muitas vezes colocados em zonas aleatórias), e ao elevado número de atividades manuais por parte dos seus operadores, onde naturalmente existe o risco de erro humano e também fazem com que as operações se tornem mais lentas com um custo elevado ao nível dos recursos humanos e uma baixa velocidade no fluxo de materiais e da informação.

Neste caso de estudo foram definidos cenários para analisar potenciais melhorias à eficiência do centro de distribuição. Primeiramente, foi aplicado a abordagem de *lean management*, que consiste na ideia de fazer mais com menos, isto é, executar operações no menor tempo possível, com menos recursos humanos, a um custo mais baixo, não prejudicando o nível de qualidade. Desta forma, foi possível reduzir o tempo operacional significativamente tomando medidas como por exemplo, ter um planeamento dos horários de receção de materiais de acordo com os horários de entrega acordados com os fornecedores, e ajustar a política de armazenamento para que haja locais fixos para os diversos tipos de produtos em vez de serem armazenados aleatoriamente. Contudo, processos com intervenção humana não foram eliminados. Nas operações de receção e de expedição os operadores têm a responsabilidade de realizar manualmente a contagem dos vários produtos envolvidos através da leitura dos respetivos códigos de barras, fazer a validação das quantidades e introduzir no WMS os dados relativos à operação em curso. A velocidade da contagem de produtos nestas operações está diretamente ligada às competências que os operadores envolvidos mostram e também ao estado que os códigos de barras se apresentam, uma vez que podem ser de diferentes tamanhos, estarem posicionados em diferentes locais e apresentarem-se parcialmente danificados dificultando a sua leitura.

Seguidamente, foi definido um outro cenário no qual, para além da abordagem de *lean management*, foi integrada também a tecnologia RFID nas operações do centro de distribuição. Desta forma, leitores RFID foram colocados nos portais relativos quer às operações de receção, quer às de expedição, no sentido de recolher automaticamente dados de etiquetas RFID colocadas nas caixas e paletes envolvidas nestas operações. Na operação de receção os fornecedores enviam mercadorias para a unidade logística onde à chegada um operador descarrega o material com um empilhador e conduzindo-o através do portal de receção equipado com leitores RFID. Nesta operação todos os produtos são identificados, as suas quantidades são validadas automaticamente sendo enviada para o WMS da unidade logística toda essa informação de forma síncrona. De forma similar, na operação de expedição o operador realiza o carregamento de caixas e paletes usando um empilhador colocando o material numa zona de expedição passando pelo portal de expedição equipado com leitores RFID. À medida que as etiquetas RFID vão sendo lidas, informação é enviada para o WMS simultaneamente, sendo no final gerado automaticamente um relatório da conclusão do procedimento realizado.

| Operação | Código de barras | RFID | Melhoria |
|--------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------|
| Receção | 91 minutos | 17 minutos | 81,32 % |
| Embalamento e Expedição | 121 minutos | 12,2 minutos | 89,92 % |

Tabela 4: Comparação entre a utilização de código de barras e RFID em operações logísticas

Neste caso de estudo, os tempos das operações de receção e expedição (incluindo o tempo de embalamento) foram retirados usando um cronómetro e encontram-se resumidos na Relativamente à operação de receção onde anteriormente a contagem era realizada com recurso a códigos de barras e tinha uma duração de 91 minutos, com a utilização de RFID esta operação tem a duração de 17 minutos, contando com uma redução de 74 minutos (melhoria de 81,32 %). Já na operação de embalamento e expedição, com a contagem de produtos por via de código de barras durava 121 minutos e com RFID passa a ter uma duração de 12,2 minutos, havendo uma redução de 108,8 minutos (melhoria de 89,92%).

Com a introdução desta nova abordagem, com recurso à tecnologia RFID, foi conseguida uma diminuição significativa da intervenção humana, e conseqüentemente o potencial de erros humanos, mas também aumentar em larga margem a velocidade das operações logísticas. Com RFID dados dos produtos são recolhidos e processados automaticamente, bem como os sistemas logísticos como WMS são atualizados sincronamente, de uma forma mais rápida e eficiente e com menos atividade laboral.

3 Design

Neste capítulo, é apresentado o design da solução encontrada para dar resposta ao problema definido (ver 1.1). O projeto visa a criação de uma solução *open-source* para centros logísticos, tais como centros de distribuição e armazéns, em que seja utilizada a tecnologia RFID de forma a melhorar a eficiência das operações logísticas, diminuindo o risco de erro por intervenção humana. O processamento dos dados recolhidos irão permitir dar uma maior visibilidade das atividades logísticas e sobre o fluxo de produtos ao longo da cadeia de distribuição e um importante auxílio na tomada de decisões.

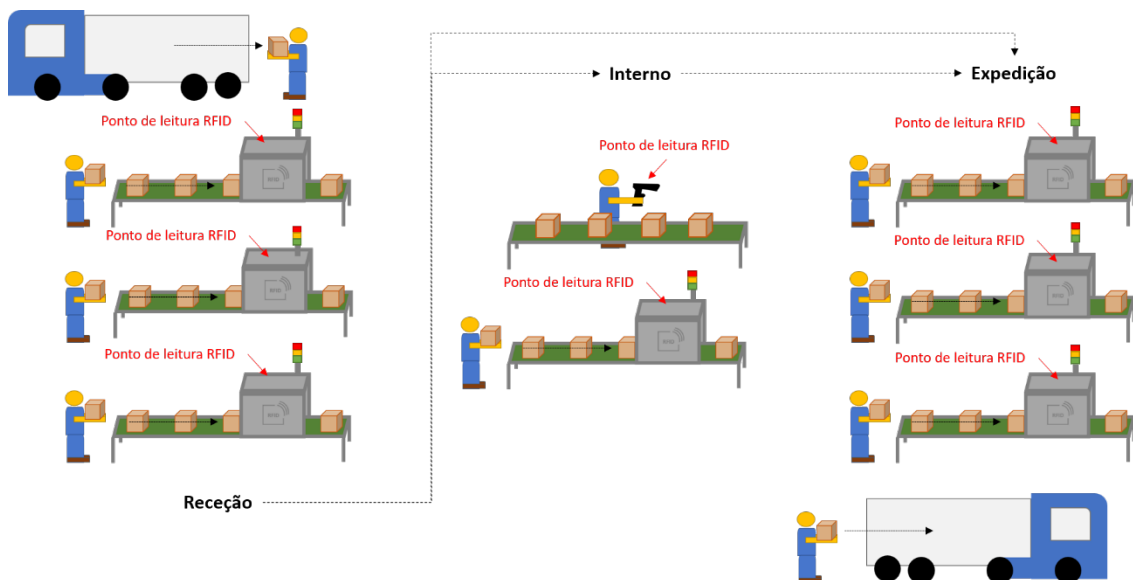


Figura 6: Pontos de leitura RFID em centro logístico

Num ambiente logístico, os pontos de leitura RFID devem ser colocados em localizações estratégicas e de acordo com os processos que o negócio pratique, conforme exemplifica a Figura 6. De uma forma generalizada, os centros de distribuição compreendem os processos

de recepção e de expedição de produtos, que marcam respetivamente a entrada e saída dos mesmos no centro. Sendo objetivo da solução permitir um controlo de stock com assertividade, estes revelam-se locais ideais para a implementação de um ponto de leitura RFID e conseqüentemente existe a possibilidade de medir a velocidade do fluxo de produtos.

Adicionalmente, pode relevar-se pertinente a introdução de outros pontos de leitura em áreas internas que permitam mover produtos de umas áreas para outras, pelo que os mesmos dão uma maior visibilidade e acrescentam valor a outros processos que o ambiente logístico possa ter. É pretendido que a solução seja flexível no sentido de suportar a definição de pontos de leitura de vários tipos (entrada, saída e interno) conforme a natureza dos processos operacionais.

A solução desenhada contém as seguintes funcionalidades:

- Personalização de cada estação RFID relativamente à operação (recepção, expedição ou outro), modo (cego ou não cego) e esquemas de codificação suportados;
- Validação de EPCs de acordo com a configuração da estação RFID;
- Persistência de leituras RFID;
- Validação de leituras por comparação com documentos importados;
- Geração de relatórios com recurso a uma ferramenta de Business Intelligence.

3.1 Arquitetura

Seguindo as características típicas da revolução industrial em curso, a Indústria 4.0, a solução apresentada é desenhada com a intenção de poder ser alojada num ambiente em nuvem. Tal como é possível ver na Figura 7, onde é apresentada a arquitetura da solução numa perspetiva de alto nível, poderemos ter um *cluster* contendo as várias instâncias dos diversos micro-serviços da camada aplicacional e também outros serviços como a ferramenta de Business Intelligence de acordo com o dimensionamento pretendido para a infraestrutura, estando a distribuição da carga atribuída ao balanceador de carga definido para o *cluster*. Desta forma, as estações RFID têm a possibilidade de comunicar com os serviços que compõem a solução através da internet.

Numa arquitetura de micro-serviços, a aplicação é decomposta em serviços mais pequenos, com um propósito único e conseqüentemente um âmbito mais restrito. Isto tem como resultado um desenvolvimento mais rápido, mais fácil de entender e manter mesmo com o crescimento da solução. Havendo serviços separados, tecnologicamente também podem ser diferentes, pelo que é possível escolher as tecnologias mais apropriada para um determinado serviço em vez de haver uma escolha que tenha de ser comum a toda a solução. Relativamente aos deployments e escalabilidade, tem a vantagem de poder ser realizados de forma independente por cada serviço. Existem, contudo, algumas desvantagens, como por exemplo existência de complexidade adicional de ser aplicado num sistema distribuído, onde

tem de haver uma estratégia de comunicação e tratamento de falhas bem definidos, os testes de mais difícil execução uma vez que implica a execução do serviço testado e dos demais que tem dependência, e base de dados particionada, onde cada micro-serviço se liga a uma base de dados própria, implicando algumas vezes a existência de duplicação de dados. Apesar das desvantagens, foi decidido que esta seria a melhor abordagem uma vez que é a que melhor assenta numa perspetiva de manutenção a longo prazo.

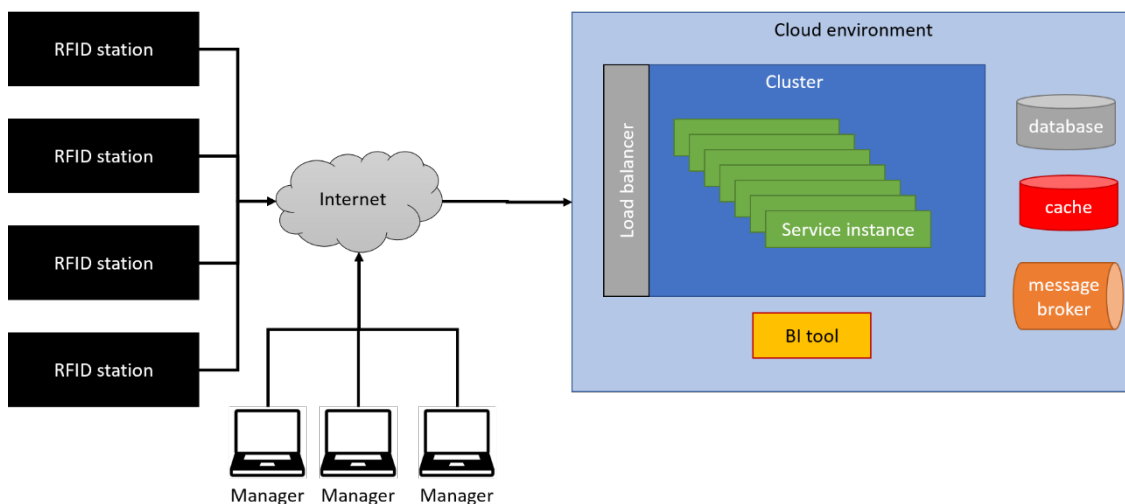


Figura 7: Arquitetura da solução (alto nível)

A Figura 8 ilustra os componentes da solução e a forma como os mesmos interagem uns com os outros.

- RFID Reader:

Transmissor e recetor de radiofrequência que permite leitura e escrita de informação em tags RFID. Os leitores RFID podem ser de dois tipos: fixos ou móveis. Os fixos podem ser instalados sob a forma de portais ou túneis. Já os do tipo móvel são instalados em dispositivos móveis e ser transportados para qualquer lugar.

- Barcode scanner:

Leitor de códigos de barras que poderá ser integrado numa unidade logística cuja configuração ainda não suporte identificação RFID em contentores de produtos. Um exemplo desta configuração é uma estação RFID do tipo túnel, onde à entrada do mesmo é identificada a caixa pela leitura do seu código de barras e posteriormente o seu conteúdo pela leitura das tags RFID.

- Microcontoller:

Microcontrolador de baixo custo, como por exemplo um Arduino, responsável por receber informações de leitura de etiquetas RFID por parte de um RFID Reader e informações de leitura de código de barras de contentores de produtos, caso esta configuração se aplique. Para além disso, contém um serviço que tem como objetivo agregar os dados de leitura e enviá-los para os serviços que compõem a Application layer da solução. Adicionalmente o

serviço tem a possibilidade de integrar com um componente de sinalização luminosa, revelando o resultado da leitura indicado pelos serviços da Application layer.

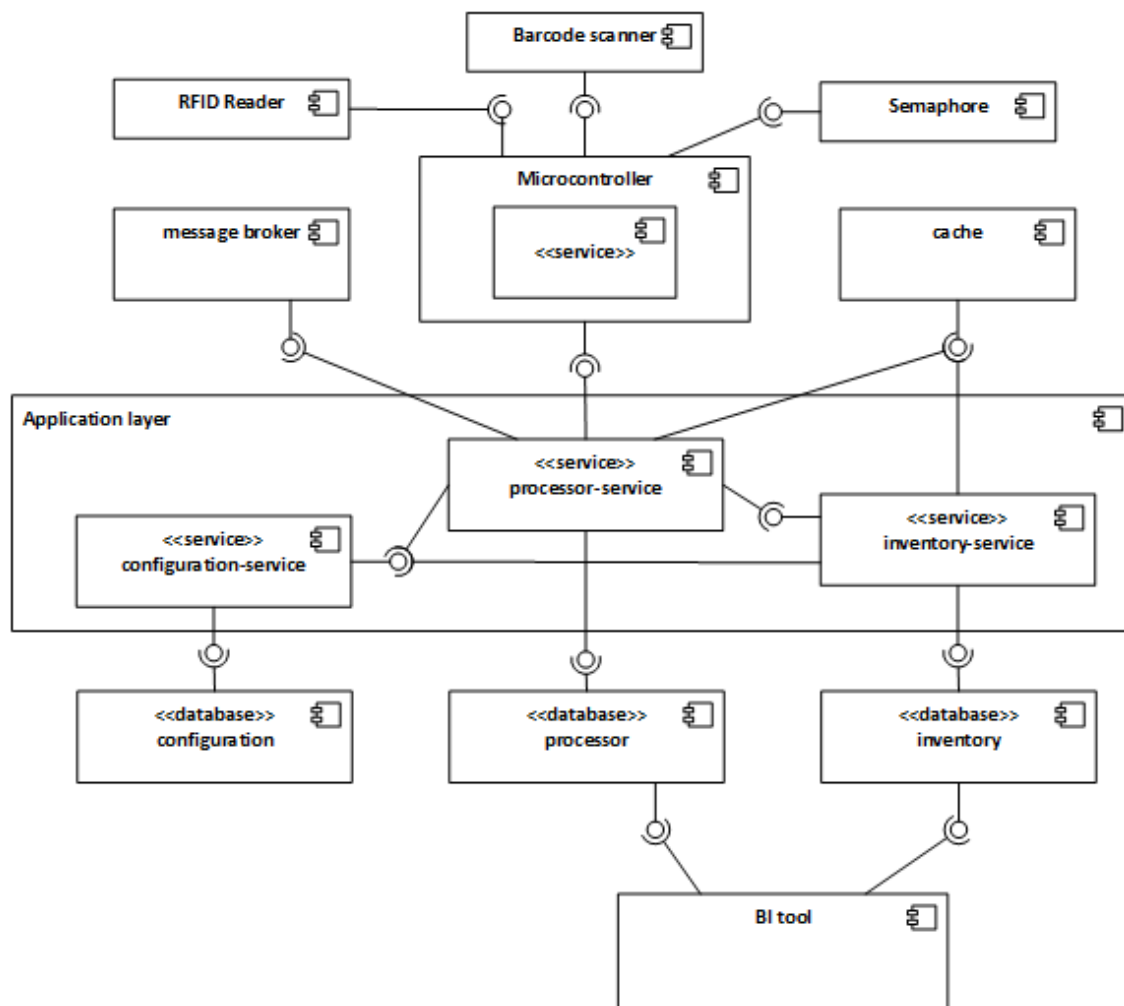


Figura 8: Diagrama de componentes da solução

- Semaphore

Responsável por sinalizar de forma luminosa o resultado do processamento e validação de leituras RFID.

- Application layer

Este é o componente central da solução, responsável pela recepção, processamento, manipulação de dados. Desta forma, é composto por diversos micro-serviços, cada um com um âmbito específico:

- configuration-service

Permite definir as configurações do sistema como por exemplo os esquemas de codificação RFID suportados, as zonas e estações RFID que compõem a unidade logística. Para cada estação RFID definida é necessário configurar características

relacionadas com a mesma, como por exemplo o tipo de operação (receção, expedição ou interna), zona à qual os produtos lidos serão assignados, as percentagens mínimas de tags RFID (ao nível do contentor e ao nível do item) bem codificadas por leitura para que a mesma seja considerada válida e também percentagem mínima requerida para correspondência com documento importado.

- processor-service

Responsável pela receção e validação de leituras realizadas por parte dos pontos de leitura RFID. As validações aplicadas serão de acordo com as configurações definidas para a estação RFID que originaram as leituras, ou seja, ao nível da validade dos EPCs das tags RFID e ao nível da correspondência com documentos importados. As leituras válidas são persistidas em base de dados. Tem também a funcionalidade de aceitar a importação de documentos com conteúdo esperado de leituras, sendo que a cada documento está associada uma respetiva operação, como por exemplo ordens de receção ou expedição. Por fim, periodicamente sincroniza os eventos RFID persistidos com o serviço inventory-service de maneira que o inventário possa ser atualizado.

- inventory-service

Este componente é responsável pela manipulação e persistência do inventário da unidade logística.

- Bases de dados

Cada um dos micro-serviços da Application Layer tem a sua respetiva base de dados. Desta forma, os serviços configuration-service, processor-service e inventory-service ligam-se às bases de dados configuration, processor e inventory, respetivamente.

- Message broker

Utilizado para permitir execuções assíncronas, nomeadamente em tarefas com a função de persistência de leituras, de forma a melhorar a performance da solução.

- Cache

Utilizado para permitir guardar dados em cache, onde o acesso aos mesmos é mais rápido comparativamente com consultas a base de dados ou pedidos a serviços externos. É utilizado para guardar dados com pouca frequência de serem alterados, como por exemplo configurações.

- BI Tool

As operações nos ambientes logísticos implicam, na maioria das vezes, a geração de grandes quantidades de dados. De forma a dar visibilidade aos mesmos, é adicionado uma ferramenta de Business Intelligence, como por exemplo Business Intelligence and Reporting Tools (BIRT) ⁶, que é responsável pela geração de relatórios que são um importante auxílio na tomada de

⁶ "BIRT", <https://www.eclipse.org/birt/>

decisões. Entre eles podem-se encontrar relatórios como leituras por operação, documentos importados por operação, itens por zona e inventário global e por zona.

A Figura 9 apresenta os vários passos que a solução executa desde que uma leitura é capturada por uma estação RFID até que é dado o resultado do processamento da mesma, ou seja, se a mesma foi considerada válida, inválida ou sem correspondência com documento de conteúdo esperado importado. Este resultado poderá ser particularmente importante para desencadear ações automáticas de acordo com o mesmo, como por exemplo sinalização luminosa atribuindo uma cor a cada tipo resultado, ou no caso das caixas na estação RFID serem conduzidas num tapete rolante, haver integração com um sistema automático de desvio de caixas de leituras inválidas.

A estação RFID recolhe os dados de leitura (tags RFID e código de barras do contentor, se aplicável) e o serviço em execução no microcontrolador agrega estes dados enviando-os para o processor-service. Nesse momento, o conteúdo da leitura é validado, isto é, é verificado se a quantidade EPCs corretamente codificados é aceitável de acordo com a configuração definida para a estação em causa. Qualquer leitura com quantidade de EPCs que não seja aceitável resultará numa resposta de insucesso e conseqüentemente no acender da luz vermelha do semáforo da estação, indicando um erro. No caso da estação RFID estar configurada para receber leituras de forma cega, isto é, não existe validação da leitura recebida contra um documento importado, a leitura com conteúdo RFID válido é persistida e é devolvida uma resposta de sucesso e a luz verde do semáforo acende, sinalizando sucesso. Se a estação estiver configurada para operações de leitura não cega, a leitura, se válida, é igualmente persistida, contudo, é verificado se existe correspondência da leitura contra um documento importado, ou seja, é verificado se o conteúdo da leitura era esperado na percentagem definida como aceitável para a estação. Caso não se verifique, é retornado uma resposta de alerta e o sinal amarelo do semáforo é ligado com essa indicação. Já se houver correspondência do conteúdo da leitura com um documento, é devolvida resposta de sucesso e o sinal verde de sucesso é ligado.

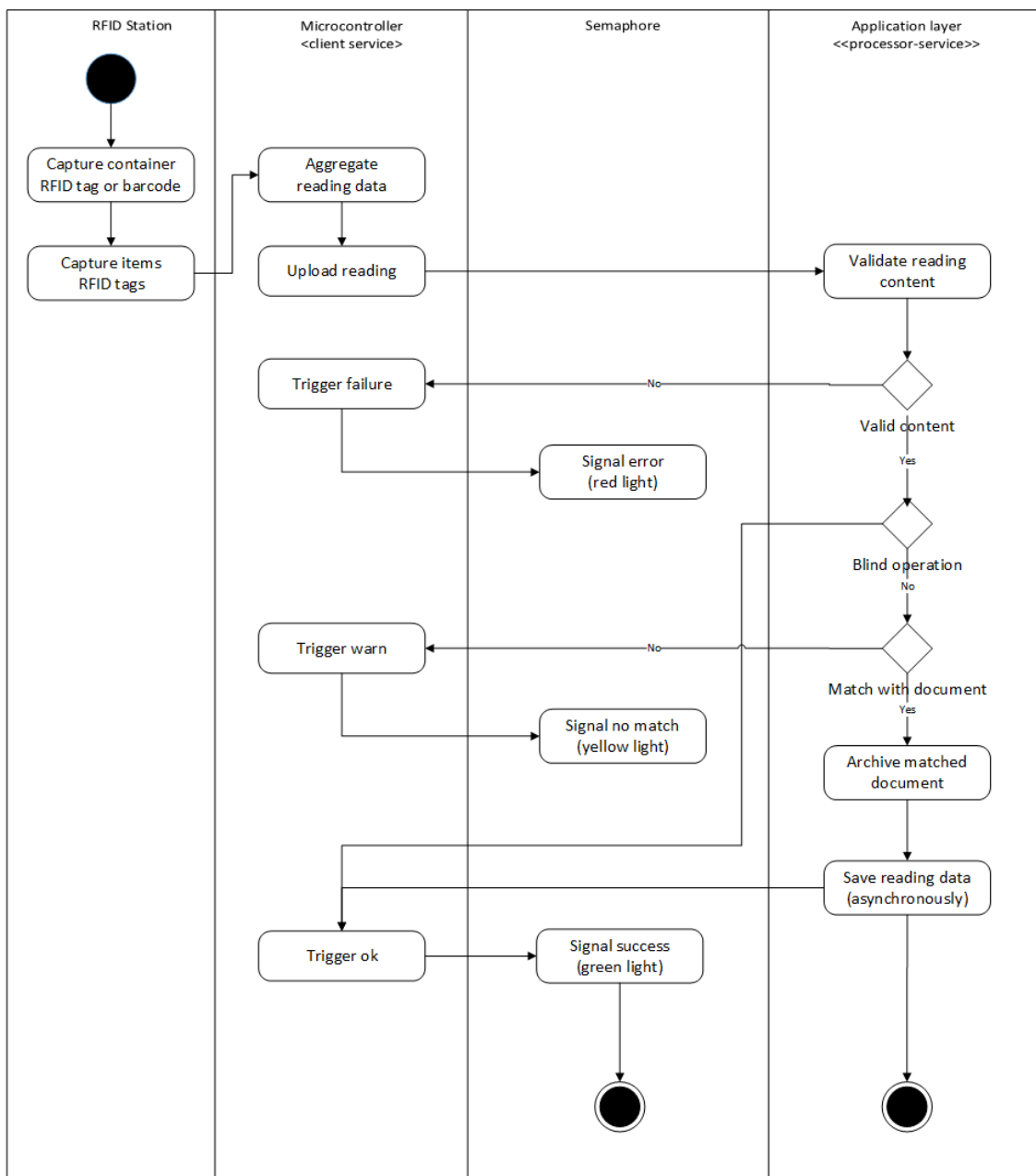


Figura 9: Diagrama de atividades do processamento de leituras RFID

Na Figura 10 encontra-se o diagrama de atividades que descreve os passos de atualização de inventário. Existe no processor-service um Job que é executado de forma periódica, sendo responsável pela sincronização de dados com outro serviço da Application Layer, o inventory-service. A execução é iniciada pela consulta em base de dados do instante da última sincronização realizada (anchor), seguido da consulta de todos os eventos RFID que tiveram lugar posteriormente ao valor do anchor. Caso existem eventos para sincronizar, se necessário são particionados em conjuntos com número máximo de 100, de forma a otimizar a transmissão de dados na rede. Cada conjunto de eventos é enviado para o inventory-service que, por sua vez, atualiza os dados relativos ao inventário. Isto é obtido pela remoção do registo de eventos que sejam mais antigos para cada EPC e persistido os novos dados do

mesmo. Após todos os conjuntos de eventos terem sido enviados, o processor-service termina o seu trabalho atualizando o valor do anchor, para poder ser usado na execução seguinte do Job.

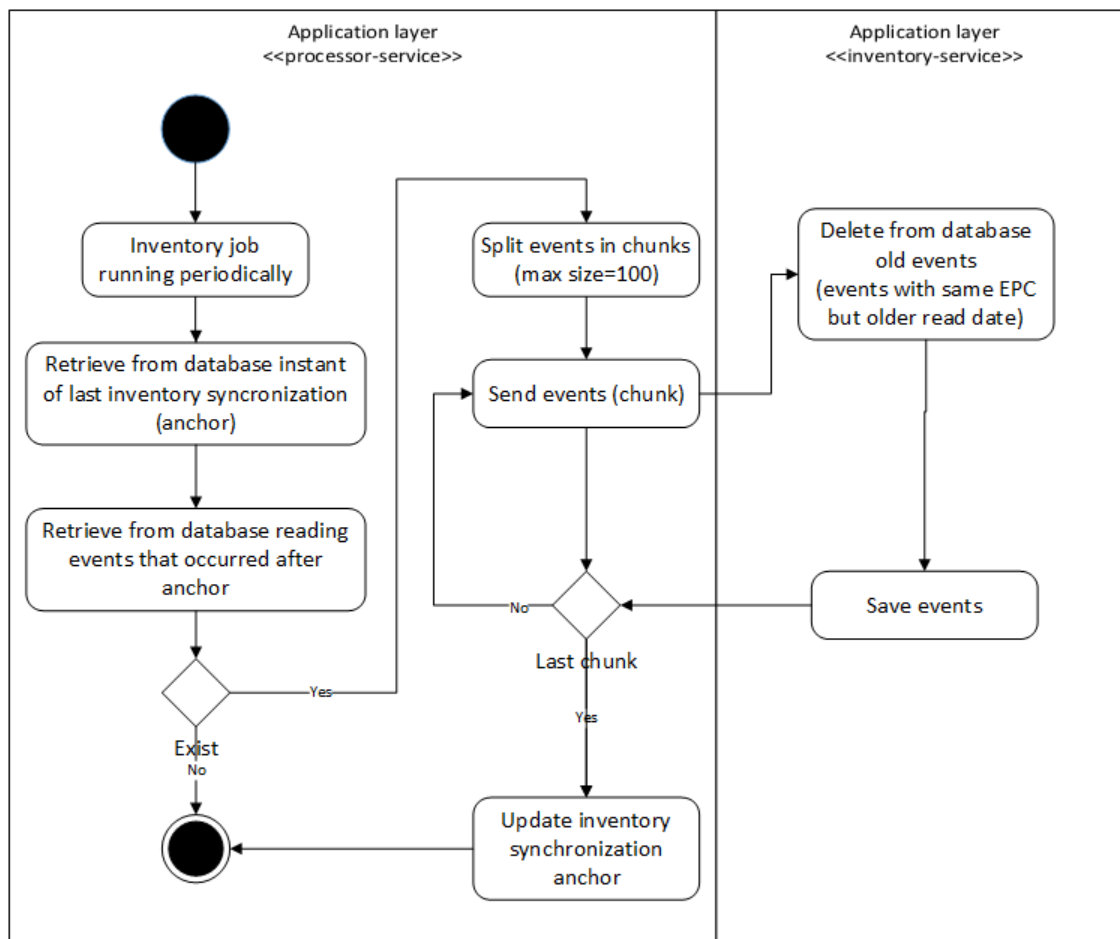


Figura 10: Diagrama de atividades da atualização de inventário

Relativamente às tecnologias utilizadas na solução, os serviços foram desenvolvidos na linguagem de programação Java ⁷, pela familiaridade com a linguagem e pela sua vasta utilização. Para ajudar ao desenvolvimento foi utilizada a Spring Framework ⁸, que compreende um conjunto de módulos auxiliares que aumentam a velocidade de desenvolvimento. Para além disso, foi usada Spring Boot ⁹, uma extensão à Spring Framework que eliminam o código repetitivo de configurações necessário para construir uma aplicação em Spring. Nos Anexos 4, 5 e 6 é possível encontrar diagramas de classes dos serviços configuration-service, processor-service e inventory-service, respetivamente. Já no Anexo 7 pode ser encontrado o modelo de dados utilizado nas bases de dados dos serviços da solução.

⁷ Java, www.java.com

⁸ Spring, <https://spring.io/>

⁹ Spring Boot, <https://spring.io/projects/spring-boot>

Para a avaliação do sistema desenvolvido casos de estudo serão criados, baseado nos seguintes indicadores que compreendem um centro logístico:

- número de pontos de leitura RFID;
- cadência de materiais por ponto de leitura, isto é, o intervalo de tempo médio entre cada leitura RFID;
- quantidade de produtos do centro logístico;

Para isso, será desenvolvido um simulador de pontos de leitura RFID, que gera leituras de itens com RFID, de modo a avaliar a performance e exatidão do processamento das mesmas.

3.2 Alternativas

Para o problema definido no âmbito deste trabalho foram identificadas duas possíveis soluções alternativas àquela que foi escolhida como a mais adequada. A primeira está relacionada com a infraestrutura escolhida. Uma alternativa a ter a solução em ambiente em nuvem seria ter uma solução instalada numa infraestrutura local na unidade logística. A maior vantagem numa abordagem deste tipo está relacionada com a disponibilidade dos vários componentes que fazem parte da solução e com a remoção da dependência de ligação à internet, eliminando também possíveis latências de rede nos pedidos aos serviços que compõe a solução. Contudo, no que diz respeito aos pontos negativos desta alternativa, numa visão a larga escala, onde uma determinada unidade de negócio compreendia diversas unidades logística, o esforço de instalação e manutenção da solução seria diretamente proporcional ao número de unidades logísticas envolvidas. Esta alternativa também não teria possibilidades para evoluir para uma solução multi-tenant, onde uma empresa detém várias unidades de negócio e dados centralizados. Adicionalmente, não seria uma abordagem de acordo o que a revolução da Indústria 4.0 trouxe, nomeadamente na introdução de soluções alojadas em ambiente de nuvem. Tendo em conta o peso dos pontos negativos, foi decidido que esta não seria a melhor solução encontrada.

A outra alternativa em análise prende-se com o desenho da solução. Ao contrário da solução escolhida, onde temos uma arquitetura de micro-serviços, uma outra solução poderia passar por uma arquitetura monolítica. Relativamente às vantagens desta abordagem, sendo uma solução onde os vários módulos se encontram interligados e dependentes entre si funcionando como uma única peça, o desenvolvimento torna-se mais simples, assim como os testes end-to-end e o próprio deployment, uma vez que basta apenas instalar no servidor um pacote com a solução. No entanto, uma abordagem deste tipo apresenta algumas limitações. Com o crescimento da solução em tamanho e complexidade, o entendimento da solução torna-se bastante difícil e alterações à mesma igualmente difíceis de ser aplicadas. Adicionalmente, qualquer alteração a um dos módulos implica o redeploy da solução como um todo. Pelo mesmo critério utilizado na escolha da arquitetura da solução (ver 3.1), numa perspectiva de manutenção a longo prazo foi decidido que esta não seria a melhor abordagem.

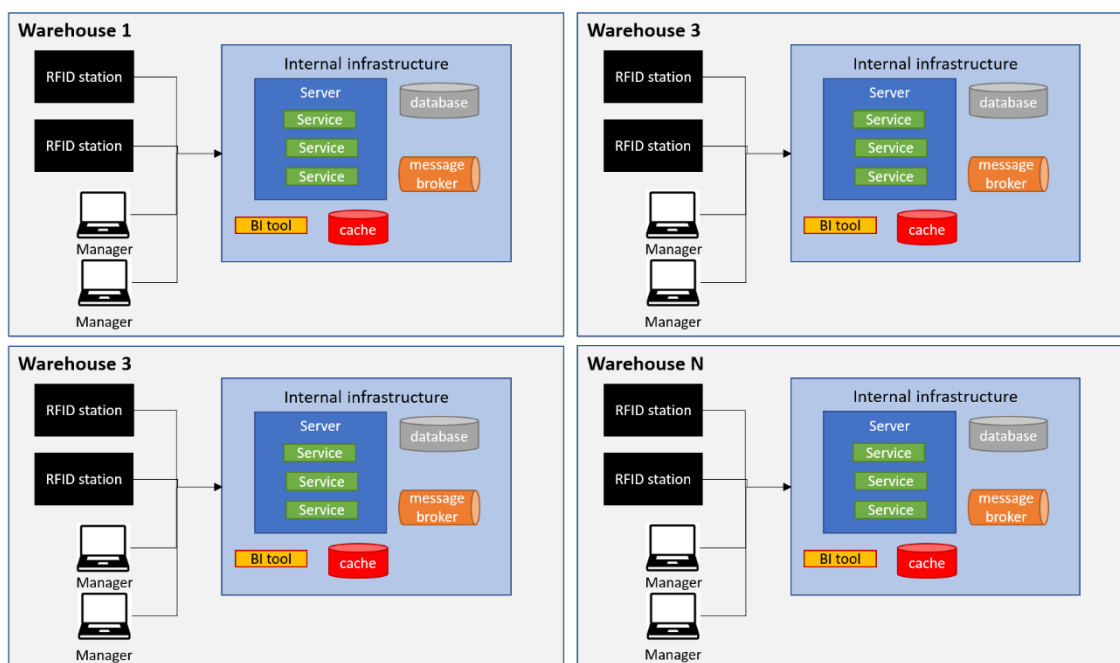


Figura 11: Instalação de solução em infraestrutura local na unidade logística

3.3 Relatórios

Com a grande quantidade de dados gerados numa unidade logística, dar visibilidade aos mesmos torna-se essencial para que os mesmos acrescentem valor. Sendo requisito da solução apresentada a integração com uma ferramenta de Business Intelligence, foi decidido utilizar a ferramenta Business Intelligence and Reporting Tools (BIRT) para a geração de relatórios que ajudem o utilizador final a ter uma perceção mais clara relativamente aos dados produzidos e a tomar decisões. Foi decidido utilizar esta ferramenta uma vez que é open-source, de fácil utilização e dispõe de diversas funcionalidades para a manipulação de dados e geração de gráficos.

Desta forma, a ferramenta BIRT consome os registos das bases de dados do configuration-service, processor-service e inventory-service, processando-os de maneira a gerar os seguintes relatórios:

- Leituras realizadas por operação (ver Figura 12);
- Documentos importados por operação (ver Figura 12);
- Quantidade de itens por zona (ver Figura 12);
- Listagem de inventário global (ver Figura 13);
- Listagem de inventário por zona (ver Figura 14).

Reports

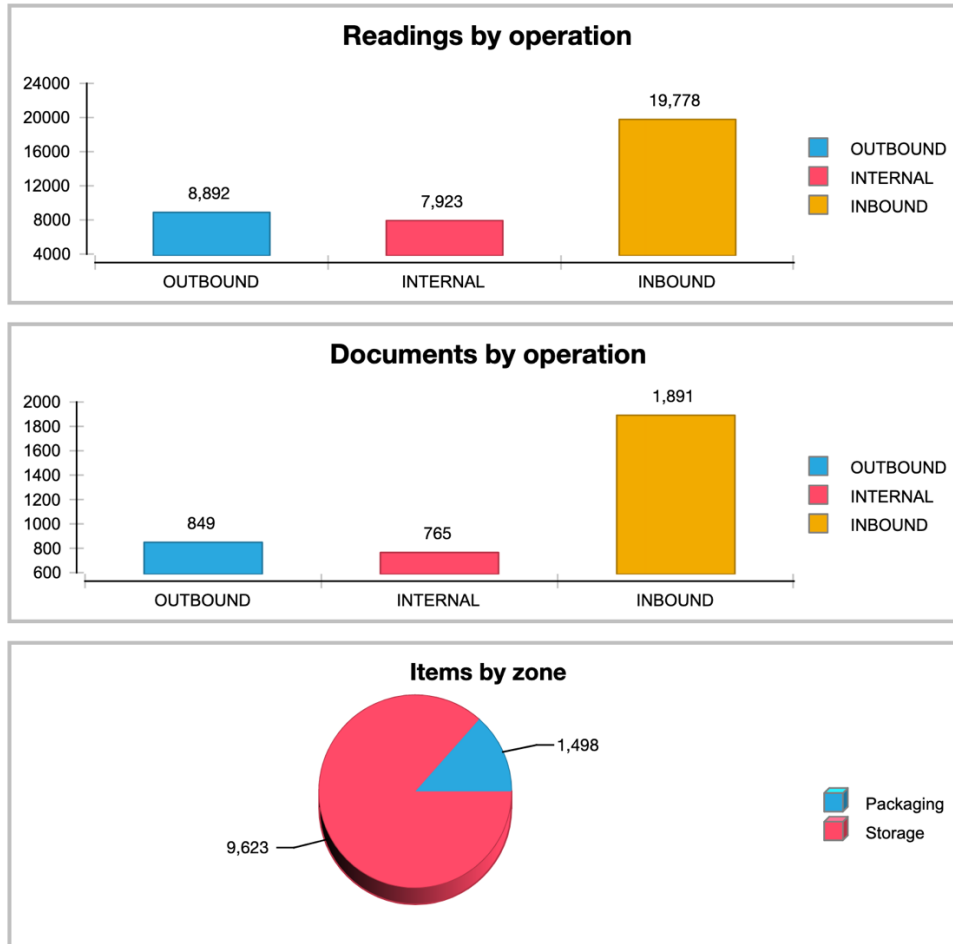


Figura 12: Relatórios gráficos gerados pela ferramenta de Business Intelligence

| Inventory | |
|----------------|----------|
| Item code | Quantity |
| 16666661111397 | 74 |
| 18888881112079 | 65 |
| 18888881111515 | 64 |
| 19999991111957 | 63 |
| 17777771111289 | 61 |
| 16666661111762 | 61 |
| 16666661111595 | 60 |
| 19999991112060 | 60 |
| 18888881111478 | 58 |
| 16666661111663 | 58 |
| 16666661112042 | 57 |
| 18888881111119 | 57 |
| 19999991111186 | 56 |
| | -- |

Figura 13: Relatório de inventário global

| Items by zone | | |
|---------------|---------|----------|
| Item code | Zone | Quantity |
| 1888881111515 | Storage | 64 |
| 1666661111762 | Storage | 61 |
| 1666661111397 | Storage | 61 |
| 1777771111289 | Storage | 61 |
| 1888881111478 | Storage | 58 |
| 1999991112060 | Storage | 58 |
| 1888881111119 | Storage | 57 |
| 1666661111663 | Storage | 57 |
| 1777771111296 | Storage | 55 |
| 1777771111135 | Storage | 55 |

Figura 14: Relatório de inventário por zona

4 Experimentação e resultados

Nesta secção apresentam-se experiências realizadas com a implementação desenvolvida. Através do simulador gerador de leituras RFID foi possível compor cenários aproximados da realidade e avaliar a performance dos serviços da solução implementada e também analisar o impacto num centro logístico que usasse o mesmo.

4.1 Simulador

Com a impossibilidade de utilizar equipamentos reais para definir casos de estudo, foi decidido desenvolver um simulador que permitisse reproduzir cenários o mais aproximado da

```
tmdei:
  reuseSimulationData: false
  inboundToInternal: 900000
  internalToOutbound: 900000
  simulationData: <path to simulation data directory>
  log: <path to simulation log directory>
  zones:
    - Storage
  companyPrefix:
    - 999999
  itemReference:
    - 1111111
  stations:
    - name: StationInbound
      operation: INBOUND
      zone: Storage
      containerEncodingAccuracy: 0
      itemEncodingAccuracy: 1
      itemEncodingError: 0.001
      matchingThreshold: 1
      items: 10000
      containerMaxItemCodes: 5
      containerMinItems: 1
      containerMaxItems: 20
      interval: 2000
      intervalMaxDelta: 200
```

realidade com a flexibilidade de definir diferentes casos de estudo.

Para conseguir criar um cenário de estudo é necessário editar o ficheiro de configuração da aplicação do simulador, adicionando um bloco com o formato tal como o apresentado no Texto 1.

- `tmdei.reuseSimulationData`: deve ser definido com “true” caso se pretenda usar dados relativos à simulação anterior, como por exemplo estações e zona criadas e também evitar geração de EPCs anteriormente utilizados;
- `tmdei.inboundToInternal`: Tempo de inatividade (em milissegundos) entre o fim do trabalho das estações RFID de operações de receção e início de trabalho das relativas a operações internas;
- `tmdei.internalToOutbound`: Tempo de inatividade (em milissegundos) entre o fim do trabalho das estações RFID de operações internas e início de trabalho das relativas a operações de expedição;
- `tmdei.simulationData`: Diretório onde são guardados ficheiros com dados relativos à simulação em execução, como por exemplo zonas e estações criadas e dados relativos aos EPCs SGTIN-96 e códigos de barras SSCC gerados ;
- `tmdei.log`: Diretório onde serão guardados ficheiros de log relativamente aos resultados de execução de cada estação RFID;
- `tmdei.zones`: Lista de zonas que compreendem a simulação;
- `tmdei.companyPrefix`: Lista de company prefixes que serão usados para a geração de EPCs STIN-96 e códigos de barras SSCC;
- `tmdei.itemReference`: Lista de item references que serão usados para a geração de EPCs STIN-96;
- `tmdei.stations`: Lista de estações que compreendem a simulação
- `tmdei.stations[i].name`: Nome da estação RFID;
- `tmdei.stations[i].operation`: Operação da estação RFID (INBOUND, INTERNAL ou OUTBOUND);
- `tmdei.stations[i].zone`: Nome da zona para a qual os produtos lidos pela estação RFID serão assignados;
- `tmdei.stations[i].containerEncodingAccuracy`: Percentagem mínima de assertividade de codificação de SSCC-96 requerida para considerar a leitura válida. Valor 0 significa que a identificação dos contentores de produtos é realizada por código de barras SSCC;
- `tmdei.stations[i].itemEncodingAccuracy`: Percentagem mínima de assertividade de codificação SGTIN-96 para considerar a leitura válida;
- `tmdei.stations[i].itemEncodingError`: Percentagem de probabilidade de geração de código EPC SGTIN-96 errado;
- `tmdei.stations[i].matchingThreshold`: Percentagem mínima requerida de correspondência do conteúdo da leitura com documento importado para considerar que a leitura teve correspondência com sucesso. No caso de ter um valor superior a

zero, são importados para o sistema antes do envio de leituras, documentos correspondentes ao conteúdo esperado da leitura;

- `tmdei.stations[i].items`: Quantidade total de itens que compreendem a simulação;
- `tmdei.stations[i].containerMaxItemCodes`: Quantidade máxima de tipos itens por contentor;
- `tmdei.stations[i].containerMinItems`: Quantidade mínima de itens por contentor;
- `tmdei.stations[i].containerMaxItems`: Quantidade máxima de itens por contentor;
- `tmdei.stations[i].interval`: Cadência de leituras, isto é, o intervalo de tempo (em milissegundos) entre a leitura de cada contentor gerado;
- `tmdei.stations[i].intervalMaxDelta`: Tempo máximo (em milissegundos) adicional ao intervalo anterior. O valor é gerado aleatoriamente com valor compreendido entre 0 e o valor definido.

Estações do mesmo tipo de operação iniciam o seu trabalho em simultâneo. Primeiramente iniciam trabalho as estações RFID de receção (operação INBOUND), seguido das estações RFID de operações internas (operação INTERNAL) e por fim as estações de expedição (operação OUTBOUND).

Durante a execução de trabalho de uma estação RFID, ficheiros de log vão sendo alimentados com dados relativos às leituras realizadas. Desta forma, por cada leitura realizada uma nova linha é adicionada com a identificação do contentor, quantidade de itens no seu conteúdo e também o resultado da validação da leitura por parte dos serviços da Application Layer e o tempo de resposta até obter o resultado dessa validação.

Terminado o trabalho de uma da estação, no mesmo ficheiro de log é inserido um registo final com um sumário do trabalho realizado, contendo dados adicionais como por exemplo quantidade de leituras realizadas (e quantas tiveram como resultado sucesso, alerta e falha), quantidade total de itens pertencentes a leituras com resultado de sucesso, alerta e falha, e por fim, uma média dos tempos de resposta a obter o resultado de leituras.

4.2 Cenário 1

Este cenário é composto por duas estações RFID, uma responsável pela receção e outra pela expedição de produtos, como é ilustrado na Figura 15. O trabalho para a estação de cada operação conta com um volume total de 10000 itens, cada um deles identificado com uma etiqueta RFID (esquema de codificação SGTIN-96). Os vários produtos encontram-se distribuídos em caixas identificadas com código de barras SSCC, sendo que cada caixa pode conter entre 1 e 20 itens pertencentes a um máximo de 5 tipos de produtos diferentes. A cadência de leituras definida para esta simulação é de uma leitura (caixa e itens contidos) a cada 2 segundos (podendo haver uma variação de até 0.2 segundos). Como regras para a

validação de leituras em ambas as estações, foram definidas como regras que cada leitura tem de ter a totalidade dos itens do seu conteúdo identificados com EPCs SGTIN-96 válidos e ter correspondência na sua totalidade com um documento previamente importado. De forma a tornar a simulação mais realista, para o caso da estação de receção foi definida uma probabilidade de erro de codificação na geração de cada EPC SGTIN-96 no valor de 0.1%. A configuração para cada uma das estações RFID encontra-se resumida na Tabela 5.

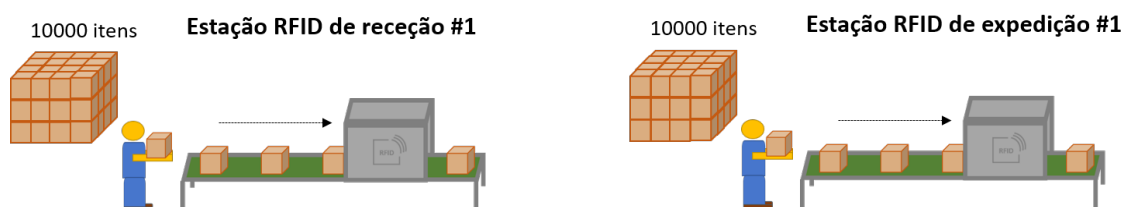


Figura 15: Simulação do cenário 1

| | Estação de receção | Estação de expedição |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Tipo de estação | Túnel RFID | Túnel RFID |
| Identificação da caixa | Código de barras - SSCC | Código de barras - SSCC |
| Identificação do item | Tag RFID - SGTIN-96 | Tag RFID - SGTIN-96 |
| Total de itens | 10000 | 10000 |
| Mínimo de itens por caixa | 1 | 1 |
| Máximo de itens por caixa | 20 | 20 |
| Máximo de tipos de item por caixa | 5 | 5 |
| Mínimo de STGIN-96 válidos | 100% | 100% |
| Correspondência mínima com documento | 100% | 100% |
| Probabilidade de erro de codificação SGTIN-96 | 0.1% | 0% |
| Cadência | 1 leitura a cada 2 segundos | 1 leitura a cada 2 segundos |
| Varição da cadência | Até mais 0.2 segundos | Até mais 0.2 segundos |

Tabela 5: Configuração das estações RFID para a simulação do cenário 1

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos no que diz respeito à simulação realizada na estação de receção. Numa operação que levou 33 minutos e 35 segundos a ser concluída, ocorreu um total de 959 leituras realizadas, onde 954 (99.48%) tiveram sucesso na sua validação, isto é, as regras de ter 100% conteúdo com EPC SGTIN-96 válidos e 100% do conteúdo encontrou correspondência com um documento importado foram cumpridas, sendo o inventário atualizado com 9919 novos itens. Estas regras, contudo, não foram obedecidas em 5 das leituras (0.52%), pelo que as mesmas foram rejeitadas e, por consequência, os 81 itens que faziam parte do seu conteúdo não deram entrada em inventário. Para medir a performance da solução nesta operação foram avaliadas duas métricas. Os itens de leituras consideradas válidas levam em média 49.45 milissegundos a ser adicionados ao inventário. Foi obtida também uma média de tempo de resposta de 7.98

milissegundos relativamente no processo de validação de leituras, sendo apresentado no gráfico da Figura 16 a variação dos tempos de resposta ao longo da simulação.

| Resultados - estação de receção | |
|--|---------------|
| Tempo de trabalho | 33m35s |
| Total de itens | 10000 |
| Total de leituras | 959 |
| Leituras válidas | 954 (99.48%) |
| Leituras inválidas | 5 (0.52%) |
| Itens de leituras válidas | 9919 (99.19%) |
| Itens de leituras inválidas | 81 (0.81%) |
| Tempo médio de resposta (validação da leitura) | 7.96ms |
| Tempo médio atualização de inventário | 49.45ms |

Tabela 6: Resultados da simulação da estação de receção no cenário 1

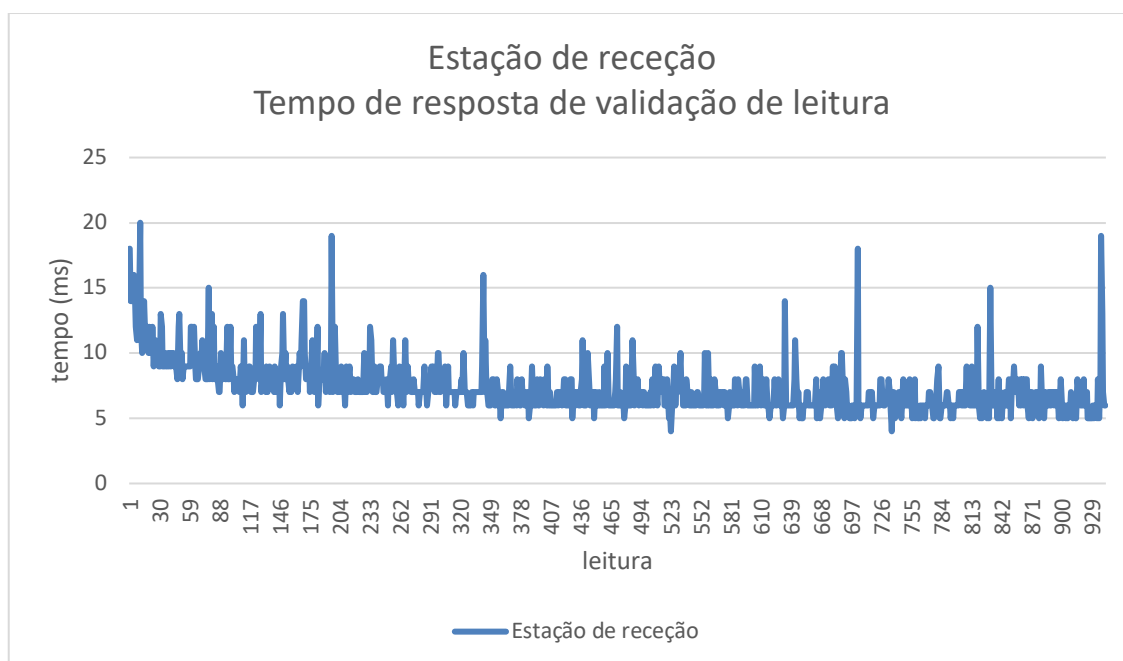


Figura 16: Tempos de resposta de validação de leitura na estação de receção do cenário 1

Posteriormente à execução da simulação da estação de receção (ver Tabela 7), iniciou-se o trabalho da estação de expedição que demorou 32 minutos e 44 segundos. Nesta operação existiu um total de 964 leituras válidas contendo um total de 10000 itens (100%). O tempo médio de atualização de inventário com a saída destes itens foi de 47.75 milissegundos. Relativamente à métrica de tempo de resposta de validação de leitura, houve uma média de 6.02 milissegundos, onde a variação dos tempos de resposta ao longo da simulação é apresentado no gráfico da Figura 17.

| Resultados - estação de expedição | |
|--|--------------|
| Tempo de trabalho | 32m44s |
| Total de itens | 10000 |
| Total de leituras | 964 |
| Leituras válidas | 964 (100%) |
| Leituras inválidas | 0 (0%) |
| Itens de leituras válidas | 10000 (100%) |
| Itens de leituras inválidas | 0 (0%) |
| Tempo médio de resposta (validação da leitura) | 6.02ms |
| Tempo médio atualização de inventário | 47.75ms |

Tabela 7: Resultados da simulação da estação de expedição no cenário 1

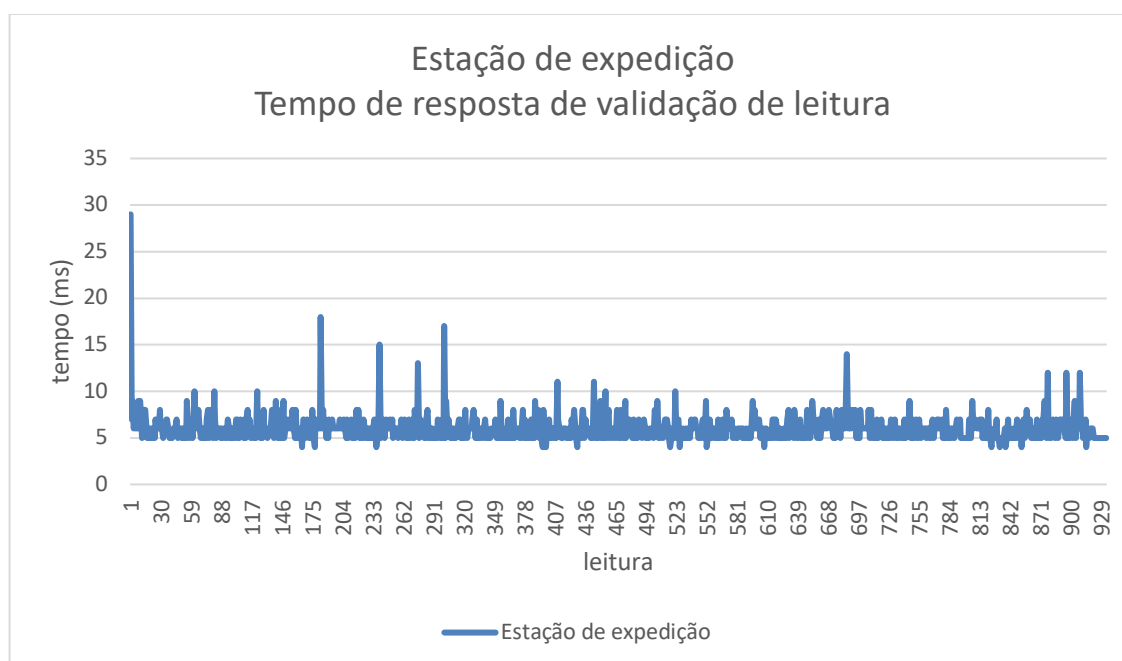


Figura 17: Tempos de resposta de validação de leitura na estação de expedição do cenário 1

4.3 Cenário 2

Este cenário tem a intenção de analisar a performance da solução num cenário pensado para simular a execução de trabalho numa unidade logística de maior dimensão. Nesse sentido, esta simulação é composta por um total de 10 estações RFID, onde 5 funcionam com operação de receção e outras 5 para a operação de expedição (ver Figura 18). As estações RFID têm configuração igual às restantes da mesma operação, sendo que a configuração de estação para cada operação é mantida relativamente à definida no Cenário 1, estando resumidas na Tabela 8. Desta forma, é possível comparar os resultados desta simulação, onde existe uma carga superior, com os da anterior e avaliar o impacto na performance da solução.

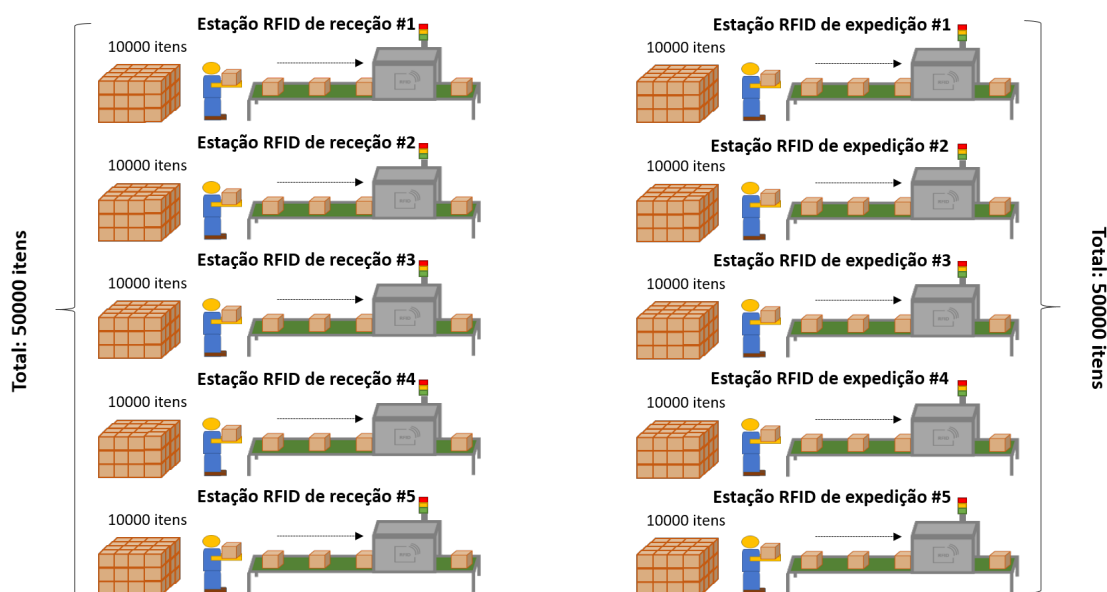


Figura 18: Simulação do cenário 2

| | 5x Estação de recepção | 5x Estação de expedição |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Tipo de estação | Túnel RFID | Túnel RFID |
| Identificação da caixa | Código de barras - SSCC | Código de barras - SSCC |
| Identificação do item | Tag RFID - SGTIN-96 | Tag RFID - SGTIN-96 |
| Total de itens | 10000 | 10000 |
| Mínimo de itens por caixa | 1 | 1 |
| Máximo de itens por caixa | 20 | 20 |
| Máximo de tipos de item por caixa | 5 | 5 |
| Mínimo de SGTIN-96 válidos | 100% | 100% |
| Correspondência mínima com documento | 100% | 100% |
| Probabilidade de erro de codificação SGTIN-96 | 0.1% | 0% |
| Cadência | 1 leitura a cada 2 segundos | 1 leitura a cada 2 segundos |
| Variação da cadência | Até mais 0.2 segundos | Até mais 0.2 segundos |

Tabela 8: Configuração das estações RFID para a simulação do cenário 2

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos na simulação de uma perspectiva global e também de forma independente em cada uma das estações RFID envolvidas. Esta simulação contou com o trabalho em paralelo das 5 estações de recepção com uma duração de 33 minutos e 38 segundos. Houve neste período um total de 4725 leituras efetuadas, sendo consideradas válidas 4667 dessas leituras (98.77%) tendo entrado em inventário 49252 novos itens. Houve também leituras consideradas inválidas por não cumprirem das regras de validação de leituras estipuladas para a estação, num total de 58 (1.23%), fazendo com que 748 itens não dessem entrada em inventário. Os itens que fizeram parte do conteúdo de leituras consideradas válidas demoraram em média 31.54 milissegundos a serem inseridos no inventário. No que diz

respeito ao processo de validação de leituras, foi obtida uma média de tempo de resposta de 6.44 milissegundos, sendo apresentado no gráfico da Figura 19 a variação dos tempos de resposta ao longo da simulação.

| Resultados - estações de receção | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| | Estação #1 | Estação #2 | Estação #3 | Estação #4 | Estação #5 | Total |
| Tempo de trabalho | 33m09s | 33m38s | 32m38 | 33m00s | 33m03s | 33m38s |
| Total de itens | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 50000 |
| Total de leituras | 946 | 961 | 932 | 941 | 945 | 4725 |
| Leituras válidas | 931 (98.41%) | 950 (98.86%) | 919 (98.61%) | 929 (98.72%) | 938 (99.26%) | 4667 (98.77%) |
| Leituras inválidas | 15 (1.59%) | 11 (1.14%) | 13 (1.39%) | 12 (1.28%) | 7 (0.74%) | 58 (1.23%) |
| Itens de leituras válidas | 9830 (98.30%) | 9847 (98.47%) | 9819 (98.19%) | 9836 (98.36%) | 9920 (99.20%) | 49252 (98.50%) |
| Itens de leituras inválidas | 170 (1.70%) | 153 (1.53%) | 181 (1.81%) | 164 (1.64%) | 80 (0.80%) | 748 (1.50%) |
| Tempo médio de resposta (validação da leitura) | 4.45ms | 6.41ms | 6.46ms | 6.41ms | 6.47ms | 6.44ms |
| Tempo médio atualização de inventário | - | - | - | - | - | 31.54ms |

Tabela 9: Resultados da simulação das estações de receção no cenário 2

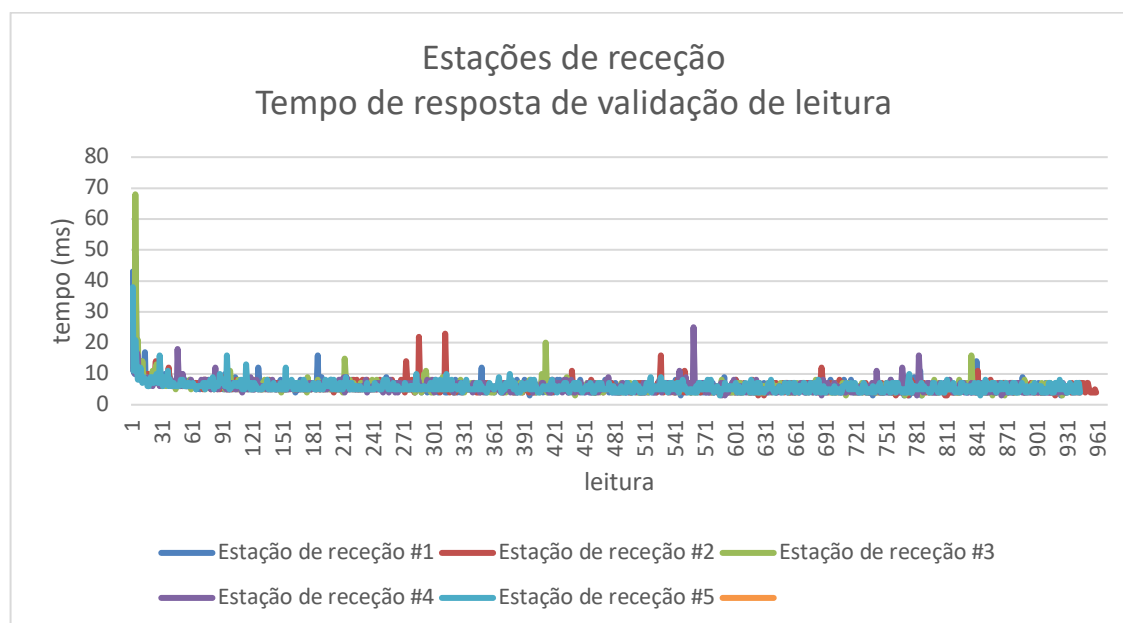


Figura 19: Tempos de resposta de validação de leitura nas estações de receção do cenário 2

Terminado o trabalho das cinco estações RFID de receção, teve então lugar o trabalho das cinco estações de expedição, cujos resultados são apresentados na Tabela 10. Durante 34 minutos e 3 segundos aconteceram no total 4760, todas consideradas válidas, cujo conteúdo compreendia 50000 itens (100%). A saída de inventário dos itens lidos por estas estações

aconteceu numa média de 48.09 milissegundos. Já no que diz respeito ao tempo de resposta de validação de leitura, foi obtida uma média de 5.26 milissegundos. O gráfico da Figura 20 mostra a variação dos tempos de resposta ao longo da simulação.

| Resultados - estações de expedição | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| | Estação #1 | Estação #2 | Estação #3 | Estação #4 | Estação #5 | Total |
| Tempo de trabalho | 33m46s | 33m36s | 33m09s | 32m08s | 34m03s | 34m03s |
| Total de itens | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 50000 |
| Total de leituras | 964 | 959 | 947 | 918 | 972 | 4760 |
| Leituras válidas | 964 (100%) | 959 (100%) | 947 (100%) | 918 (100%) | 972 (100%) | 4760 (100%) |
| Leituras inválidas | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| Itens de leituras válidas | 10000 (100%) | 10000 (100%) | 10000 (100%) | 10000 (100%) | 10000 (100%) | 50000 (100%) |
| Itens de leituras inválidas | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| Tempo médio de resposta (validação da leitura) | 5.22ms | 5.22ms | 5.28ms | 5.25ms | 5.33ms | 5.26ms |
| Tempo médio atualização de inventário | - | - | - | - | - | 48.09ms |

Tabela 10: Resultados da simulação das estações de expedição no cenário 2

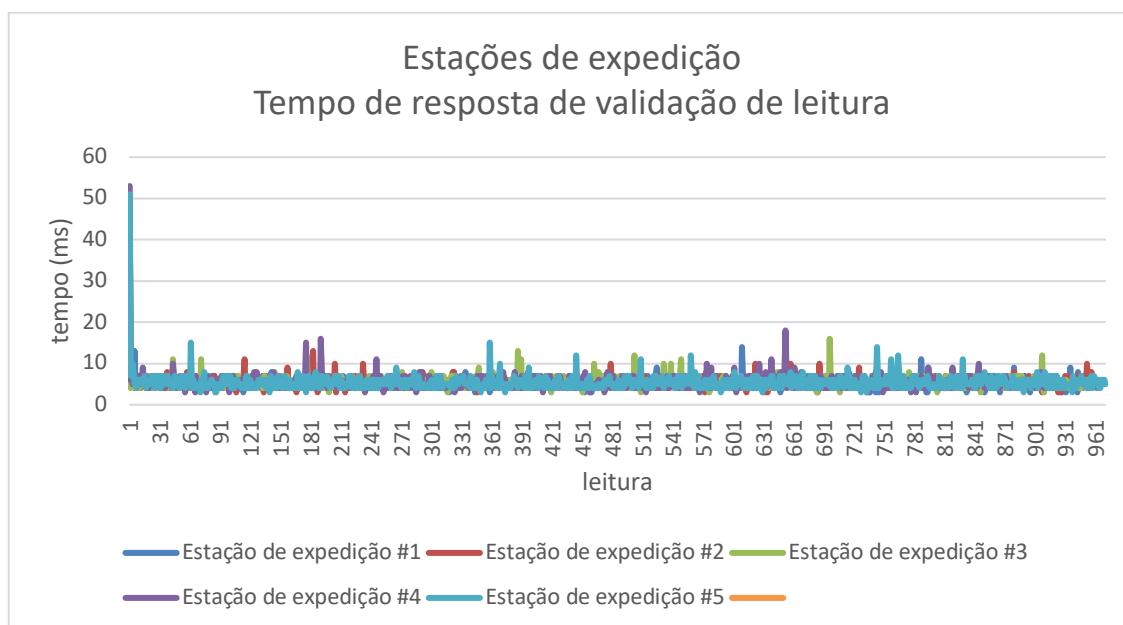


Figura 20: Tempos de resposta de validação de leitura nas estações de expedição do cenário 2

Comparando os resultados das simulações realizadas em ambos os cenários definidos, não se verificam diferenças significativas entre os mesmos, pelo que podemos afirmar que o aumento da carga no segundo exercício não teve impacto na performance da solução. É

possível também verificar, observando os gráficos correspondentes à variação dos tempos de resposta na validação de leituras, que a solução desenvolvida é bastante estável. Desta forma, podemos afirmar que é uma solução que permite fazer a validação de leituras RFID, ter o rastreamento de produtos e um controlo de inventário praticamente em tempo real e de forma automática, sendo, por isso, uma solução robusta e bastante útil que acrescenta valor ao cliente.

5 Conclusão

O objetivo principal deste trabalho era o desenho e implementação de uma solução de baixo custo com recurso à tecnologia RFID que possa ser implementada numa unidade logística que permitisse rastreamento de produtos e gestão de inventário de um modo automático. Era também requisito haver integração desta solução com uma ferramenta de Business Intelligence de forma a dar visibilidade aos dados recebidos traduzindo-os em informação útil para o cliente. Parte do trabalho passava pelo estudo da indústria e as revoluções existentes ao longo da sua história até àquela que atravessamos nos dias de hoje, a chamada Indústria 4.0, e o estudo tecnologia RFID e analisar o impacto e benefícios que podem trazer ao meio industrial e logístico.

Não havendo meios para usar a solução implementada num ambiente real, foi necessário criar um simulador de estações RFID que permitisse criar cenários o mais aproximado da realidade e definir casos de estudo para avaliar quer a performance da solução desenvolvida, quer o valor que a solução poderia acrescentar. Nesse sentido foram definidos dois cenários em que estiveram em estudo as operações logísticas de receção e expedição de produtos. No caso da simulação para o cenário 1, foi definida uma estação RFID para cada operação enquanto que para a do cenário 2 foram definidas cinco estações RFID por operação. A configuração e quantidade de itens definidos foram iguais para todas as estações da mesma operação em ambos os cenários estudados. Assim sendo, do primeiro para o segundo cenário houve um aumento em 5 vezes do volume total de itens lidos por operação. Com estas simulações verifica-se que num processo automatizado deste tipo é possível fazer rastreamento e gestão de inventário de grandes quantidades de produtos num curto espaço de tempo. No cenário 1, 10000 itens foram recebidos em 33 minutos e 35 segundos e a mesma quantidade foi expedida em 32 minutos e 44 segundos, enquanto que no cenário 2, 50000 itens foram recebidos em 33 minutos e 38 segundos, enquanto que a mesma quantidade foi exportada em 34 minutos e 3 segundos.

Com estes resultados verificamos que é possível obter uma elevada velocidade operacional adicionando a tecnologia RFID nos processos logísticos, tal como também foi estudado em [13] e referenciado na secção 2.1.5, onde passos manuais como leitura de códigos de barras de

produtos para contabilização dos mesmos tornam o processo lento, diretamente dependente da competência do operador que o está a executar e altamente propício ao surgimento de erros que podem ter como consequência perdas financeiras significativas.

As simulações realizadas em 4 permitiu avaliar a performance da solução implementada. Com o aumento de carga por operação logística em 5 vezes do cenário 1 para o cenário 2, não se verificaram alterações significativas quer nos tempos de resposta a validação de leituras, quer no tempo de atualização de inventário com dados provenientes das leituras RFID.

Apesar dos objetivos propostos para este trabalho terem sido alcançados, ainda há espaço para a adição de outras funcionalidades que acrescentem melhorias à solução. Um dos possíveis trabalhos futuros poderá ser acrescentar integração com ERP de forma poder alimentado pelos dados processados pela solução. Outro possível trabalho poderá ser o desenvolvimento de um módulo com função de agregar leituras recebidas de um leitor RFID com integração com a solução desenvolvida neste trabalho, para ser instalado em microcontroladores, sendo assim possível criar estações RFID a um baixo custo. Pode também ser adicionado suporte para utilização de outros esquemas de codificação RFID.

A realização deste trabalho foi uma experiência bastante enriquecedora, uma vez que me permitiu desenvolver competências e aplicar conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Engenharia de Software. Foi um trabalho exigente, mas muito proveitoso uma vez que permitiu obter conhecimentos no âmbito da Indústria 4.0 e o RFID que estão cada vez mais em voga trazendo benefícios para as empresas e para as pessoas.

6 Bibliografia

- [1] Y. Yin, K. E. Stecke e D. Li, "The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0," *International Journal of Production Research*, vol. 56, nº 1-2, pp. 848-861, 2018.
- [2] L. Barreto, A. Amaral e T. Pereira, "Industry 4.0 implications in logistics: an overview," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1245-1252, 2017.
- [3] B. B. Violino, "The Basics of RFID Technology The Basics of RFID Technology," *RFID Journal*, pp. 1-4, 2005.
- [4] R. Buil e . M. A. Piera, "Warehouse redesign to satisfy tight supply chain management constraints," *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, vol. 5, nº 3, pp. 286-291, 2008.
- [5] L. D. Xu, E. L. Xu e L. Li, "Industry 4.0: state of the art and future trends," *International Journal of Production Research*, vol. 7543, pp. 1-22, 2018.
- [6] S. Vaidya, P. Ambad e S. Bhosle, "Industry 4.0 - A Glimpse," *Procedia Manufacturing*, vol. 20, pp. 233-238, 2018.
- [7] N. B. F. T. L. M. S. Schmidtke, "Technical potentials and challenges within internal logistics 4.0," *Proceedings - GOL 2018: 4th IEEE International Conference on Logistics Operations Management*, pp. 1-10, 2018.
- [8] B. Bukova, E. Brumercikova, L. Cerna e P. Drozdziel, "The Position of Industry 4.0 in the Worldwide Logistics Chains," *LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics*, vol. 9, nº 1, pp. 18-23, 2018.
- [9] H. Tan, "Application research of RFID in supply chain logistics management," *Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, IEEE/SOLI 2008*, vol. 2, pp. 2456-2459, 2008.
- [10] B. B. Violino, U. Watson-watt e C. Walton, "The History of RFID Technology The History of RFID Technology," *RFID Journal*, pp. 1-2, 2005.
- [11] B. Fennani, H. Hamam e A. O. Dahmane, "RFID overview," *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM*, 2011.

- [12] C. A. Repec, EPC Tag Data Standard, GS1, 2017.
- [13] J. C. Chen, C. H. Cheng, P. B. Huang, K. J. Wang, C. J. Huang e T. C. Ting, "Warehouse management with lean and RFID application: A case study," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 69, nº 1-4, pp. 531-542, 2013.
- [14] G. R.T. White, G. Gardiner, G. Prabhakar e A. Abd Razak, "A Comparison of Barcoding and RFID Technologies in Practice," *Journal of Information, Information Technology, and Organizations (Years 1-3)*, vol. 2, pp. 119-132, 2007.

Anexo 1 – Partição e codificação do SGTIN-96 [12]

| Partition | GS1 Company Prefix | | Item Reference | |
|-----------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | Nº bits | Nº dígitos | Nº bits | Nº dígitos |
| 0 | 40 | 12 | 4 | 1 |
| 1 | 37 | 11 | 7 | 2 |
| 2 | 34 | 10 | 10 | 3 |
| 3 | 30 | 9 | 14 | 4 |
| 4 | 27 | 8 | 17 | 5 |
| 5 | 24 | 7 | 20 | 6 |
| 6 | 20 | 6 | 24 | 7 |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|------------|-----------|------------------------|--------------------|--------|
| Nº bits | 96 | | | | | |
| EPC URI | urn:epc:tag:sgtin-96:F.C.I.S | | | | | |
| Segmento lógico | EPC Header | Filter (F) | Partition | GS1 Company Prefix (P) | Item Reference (I) | Serial |
| Nº bits segmento lógico | 8 | 3 | 3 | 20-40 | 24-4 | 38 |
| Segmento codificação | EPC Header | Filter (F) | GTIN | | | Serial |
| Nº bits segmento codificação | 8 | 3 | 47 | | | 38 |

Anexo 2 – Partição e codificação do SSCC-96 [12]

| Partition | GS1 Company Prefix | | Serial | |
|-----------|--------------------|------------|---------|------------|
| | Nº bits | Nº dígitos | Nº bits | Nº dígitos |
| 0 | 40 | 12 | 18 | 5 |
| 1 | 37 | 11 | 21 | 6 |
| 2 | 34 | 10 | 24 | 7 |
| 3 | 30 | 9 | 28 | 8 |
| 4 | 27 | 8 | 31 | 9 |
| 5 | 24 | 7 | 34 | 10 |
| 6 | 20 | 6 | 38 | 11 |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|------------|-----------|------------------------|--------|-----------|
| Nº bits | 96 | | | | | |
| EPC URI | urn:epc:tag:sscc-96:F.C.S | | | | | |
| Segmento lógico | EPC Header | Filter (F) | Partition | GS1 Company Prefix (P) | Serial | Reservado |
| Nº bits segmento lógico | 8 | 3 | 3 | 20-40 | 38-18 | 24 |
| Segmento codificação | EPC Header | Filter (F) | SSCC | | | Serial |
| Nº bits segmento codificação | 8 | 3 | 61 | | | 24 |

Anexo 3 – Partição e codificação do SGLN-96 [12]

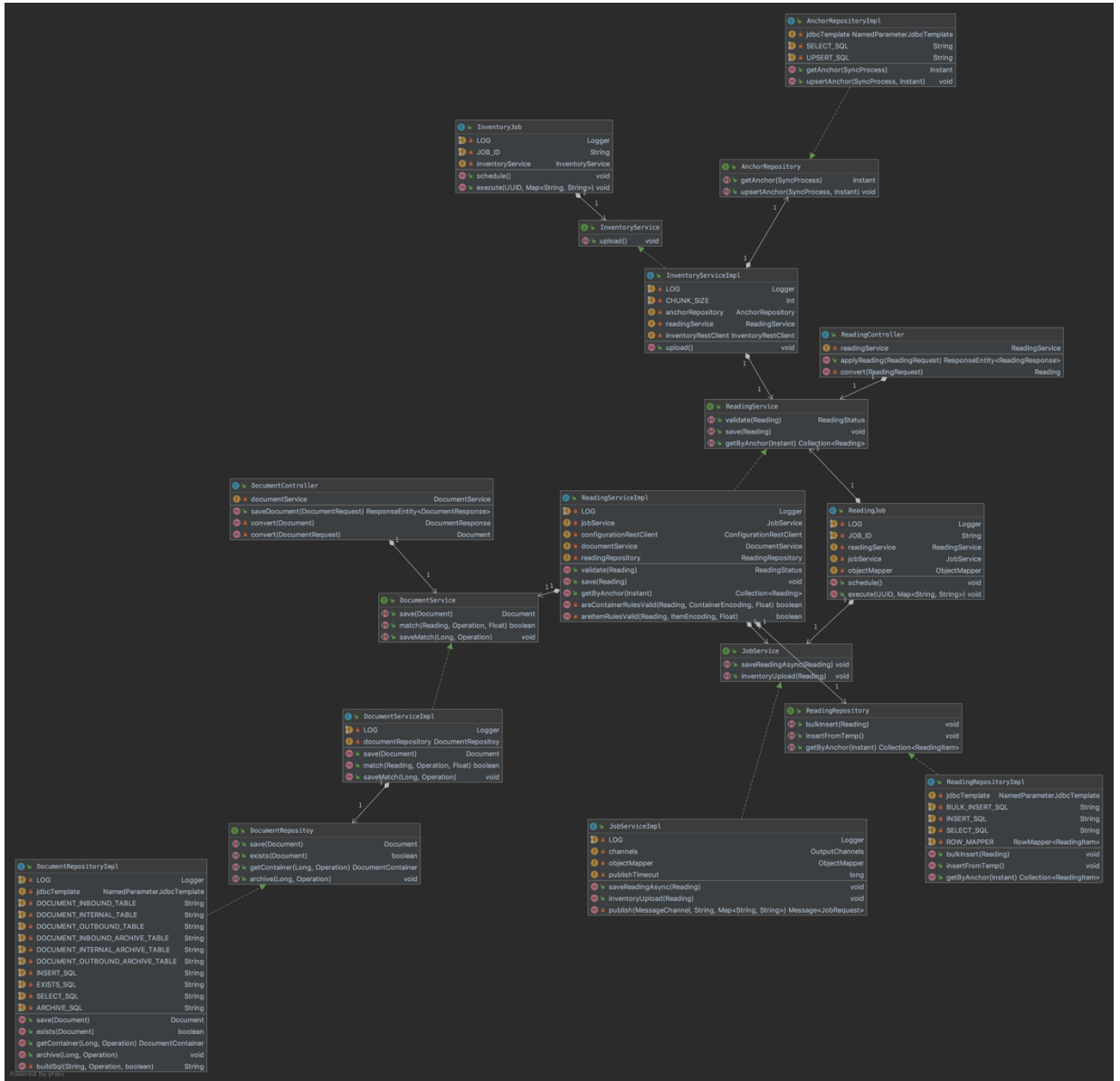
| Partition | GS1 Company Prefix | | Location Reference | |
|-----------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| | Nº bits | Nº dígitos | Nº bits | Nº dígitos |
| 0 | 40 | 12 | 1 | 0 |
| 1 | 37 | 11 | 4 | 1 |
| 2 | 34 | 10 | 7 | 2 |
| 3 | 30 | 9 | 11 | 3 |
| 4 | 27 | 8 | 14 | 4 |
| 5 | 24 | 7 | 17 | 5 |
| 6 | 20 | 6 | 21 | 6 |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------|-----------|------------------------|--------------------|-----------|
| Nº bits | 96 | | | | | |
| EPC URI | urn:epc:tag:sgln-96:F.C.L.S | | | | | |
| Segmento lógico | EPC Header | Filter (F) | Partition | GS1 Company Prefix (P) | Location Reference | Extension |
| Nº bits segmento lógico | 8 | 3 | 3 | 20-40 | 21-1 | 41 |
| Segmento codificação | EPC Header | Filter (F) | GLN | | | Extension |
| Nº bits segmento codificação | 8 | 3 | 44 | | | 41 |

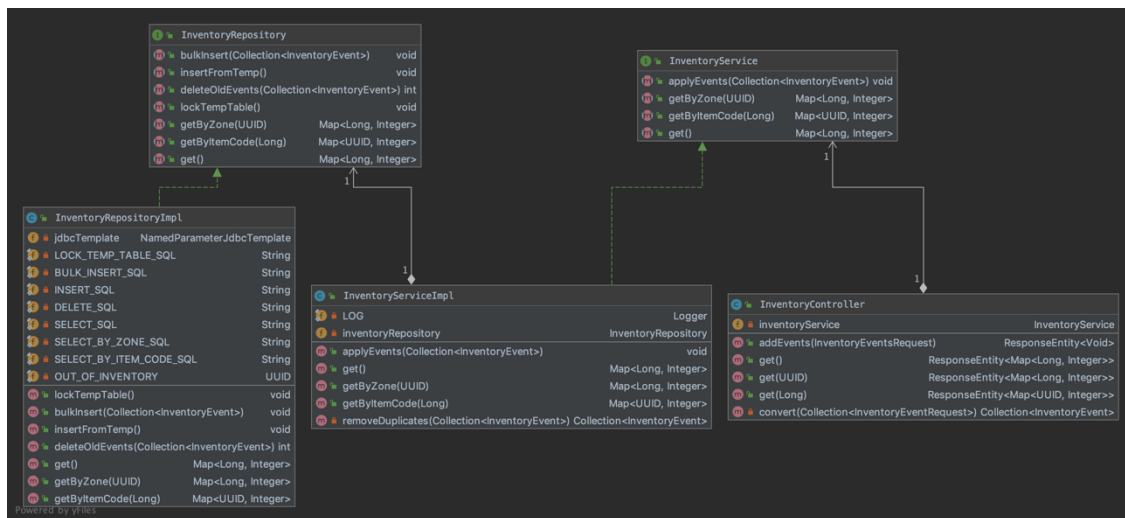
Anexo 4 – Diagrama de classes - configuration-service



Anexo 5 – Diagrama de classes - processor-service



Anexo 6 – Diagrama de classes - inventory-service



Anexo 7 – Modelo de datos

