

LUIZ GUILHERME PARMA PIRES

RICARDO MUTTI

**PROJETO DE SISTEMA DE RASTREAMENTO DE LOTES DE PEÇAS
PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE INDÚSTRIA DE MÓVEIS**

São Paulo

2016

Catálogo-na-publicação

Pires, Luiz Guilherme

Projeto de Sistema de Rastreamento de Lotes de Peças para uma Linha de Produção de Indústria de Móveis / L. G. Pires, R. Mutti -- São Paulo, 2016. 108 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.INDÚSTRIAS 2.RASTREAMENTO I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t. III.Mutti, Ricardo

LUIZ GUILHERME PARMA PIRES

RICARDO MUTTI

**PROJETO DE SISTEMA DE RASTREAMENTO DE LOTES DE PEÇAS
PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE INDÚSTRIA DE MÓVEIS**

Relatório apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo como requisito da
disciplina PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso
II

Área de Concentração: Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Junqueira

São Paulo

2016

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Fabrício Junqueira, por todo o apoio, conhecimento e esforço dedicado ao sucesso do projeto. Às nossas famílias, amigos e todos que contribuíram de alguma maneira com esse trabalho.

RESUMO

Este trabalho desenvolve o projeto de um sistema de rastreamento de lotes de peças em uma linha de produção de uma indústria de móveis, com foco em características da Indústria 4.0. O sistema consiste no acompanhamento e registro de lotes de peças em uma aplicação com duas plataformas, sendo elas um aplicativo móvel e uma plataforma *web*. Essa aplicação possui foco em orientação a serviços, por meio de *tags* e leitores RFID e comunicação com CLPs via OPC, com modelagem da linha de produção baseada em uma indústria moveleira. O projeto foi desenvolvido e validado em bancadas didáticas no LSA – Laboratório de Sistemas de Automação na Escola Politécnica da USP. A monografia tem por objetivo descrever a concepção, os requisitos, a construção e a validação do sistema.

Palavras-chaves: Indústria 4.0. RFID. SOA. Indústria moveleira.

ABSTRACT

This work develops the project of a tracking system for batches in a production line at a furniture industry, focusing on aspects of Industry 4.0. The system tracks e records batches in a two-platform application, one web and one mobile app. This application has a service oriented architecture, through RFID tags and readers, OPC communication with PLCs and the modelling of the production line of a furniture industry. The project was developed and tested in didactic industry-like stations at the LSA – Laboratório de Sistemas de Automação at University of São Paulo. This document aims to describe the conceiving, the requirements, the building and the validation of the system.

Key words: Industry 4.0. RFID. SOA. Furniture industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da cadeia produtiva da indústria moveleira.	27
Figura 2 - Esquema de sequenciamento das bancadas didáticas	31
Figura 3 - Diagrama de Casos de Uso – Gerenciamento de usuários.....	33
Figura 4 - Diagrama de Casos de Uso – Gerenciamento de ordens	34
Figura 5 - Diagrama de Casos de Uso – Gerenciamento de processos.....	34
Figura 6 - Modelo entidade relacionamento do banco de dados do projeto	35
Figura 7 - Diagrama de atividades - Realizar login	36
Figura 8 - Diagrama de atividades - Cadastrar usuário	37
Figura 9 - Diagrama de atividades - Gerenciar usuários	38
Figura 10 - Diagrama de atividades - Criar ordem	39
Figura 11 - Diagrama de atividades - Consultar ordem.....	40
Figura 12 - Diagrama de atividades - Editar ordem	41
Figura 13 - Diagrama de atividades - Aprovar ordem	42
Figura 14 - Diagrama de atividades - Visualizar histórico	43
Figura 15 - Diagrama de atividades - Consultar processo	44
Figura 16 - Diagrama de atividades - Editar processo.....	45
Figura 17 - Diagrama de atividades - Cadastrar processo	46
Figura 18 - Diagrama de atividades - Cadastrar atividade	47
Figura 19 - Diagrama de atividades - Consultar atividades.....	48
Figura 20 - Diagrama de classes do sistema	49
Figura 21 - Visão geral da arquitetura do sistema	52
Figura 22- Representação esquemática de arquitetura MVC	53
Figura 23 - Tela de abertura do aplicativo	56
Figura 24 - Tela de login do aplicativo.....	56
Figura 25 - Tela de login web	57
Figura 26 – Tela web para tentativa de login com e-mail e/ou senha incorretos	57
Figura 27 - Tela web mostrada para tentativa de login com usuário não aprovado	58
Figura 28 - Tela web de cadastrar usuário	59
Figura 29 - Tela web indicando resultado da operação de cadastrar usuário	59
Figura 30 - Tela web listando usuários cadastrados	60
Figura 31 - Tela web de gerenciamento de usuário	61

Figura 32 - Tela web indicativa do resultado do gerenciamento de usuário	61
Figura 33 - Tela inicial web	62
Figura 34 - Tela com informações do aplicativo móvel	62
Figura 35 - Tela web listando ordens	63
Figura 36 - Tela do aplicativo móvel listando as ordens	64
Figura 37 - Tela web de consultar/aprovar ordem	64
Figura 38 - Tela web indicando resultado de aprovação de ordem	65
Figura 39 - Tela de aprovar ordens do aplicativo móvel	65
Figura 40 - Tela web de editar ordem	66
Figura 41 - Tela web de adicionar ordem	67
Figura 42 - Tela web indicando resultado da operação de adicionar ordem	67
Figura 43 - Tela de criar ordem no aplicativo móvel	68
Figura 44 - Tela web listando atividades	69
Figura 45 - Tela web de consultar atividades	69
Figura 46 - Tela de consultar atividades no aplicativo	70
Figura 47 - Tela web de editar atividade	70
Figura 48 - Tela web de adicionar atividade	71
Figura 49 - Tela web indicando resultado da operação de adicionar atividade	71
Figura 50 - Tela web listando processos	72
Figura 51 - Tela web de consultar processo primário	73
Figura 52 - Tela web de consultar processo com subprocessos	73
Figura 53 - Tela do aplicativo listando processos	74
Figura 54 - Tela do aplicativo de consultar processo com subprocessos	74
Figura 55 - Tela do aplicativo de consultar processo com atividades	75
Figura 56 - Tela web de editar processo	76
Figura 57 - Tela web em caso de sucesso ao editar processo	76
Figura 58 - Tela web em caso de erro ao editar processo	77
Figura 59 - Tela web de cadastrar processo	78
Figura 60 - Tela web para cadastrar processo sem subprocessos	78
Figura 61 - Tela web para cadastrar processo com subprocessos	79
Figura 62 - Tela web de visualizar histórico	80
Figura 63 - Tela de iniciar lote do aplicativo móvel	80
Figura 64 - Tela de utilização de atividade para todos os lotes	81
Figura 65 - Tela de utilização de atividades por ordem	81

Figura 66 - Tela da Google Play Store com o aplicativo desenvolvido	83
Figura 67 - Disposição das bancadas e computador na realização dos experimentos..	84
Figura 68 - Outra vista da disposição das bancadas	85
Figura 69 - Hub USB utilizado para conectar todos os leitores em um computador ...	85
Figura 70 - Leitor RFID utilizado na montagem	86
Figura 71 - Leitor RFID na bancada Distributing	86
Figura 72 - Leitor RFID na bancada Handling	87
Figura 73 - Parte de baixo de uma peça com tag RFID fixada	87
Figura 74 - Modelo "V" de desenvolvimento e testes do projeto	93
Figura 75 - Árvore do processo Sofá 746	95
Figura 76 - Árvore do processo Poltrona 754	96
Figura 77 - Árvore do processo Cadeira 818	96
Figura 78 – Representação esquemática de cadastrar processos	97
Figura 79 - Representação esquemática de cadastro e login de cliente	97
Figura 80 - Representação esquemática de cadastro e aprovação de ordem	97
Figura 81 - Representação esquemática de visualizar histórico	98
Figura 82 - Resultado da visualização do histórico da ordem executada	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes da ordem executada	98
Tabela 2 - Resultados obtidos por meio da execução da ordem.....	98
Tabela 3 - Entradas "hostis" utilizadas para testar sistema.....	100
Tabela 4 - Erros encontrados durante os testes.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
TI	Tecnologia da Informação
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
LSA	Laboratório de Sistemas de Automação
ERP	<i>Enterprise Resources Planning</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	13
1.2	PROBLEMA E CONTEXTUALIZAÇÃO	14
1.3	MOTIVAÇÕES	15
1.4	OBJETIVOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	ESTADO DA ARTE	17
2.2	WEB SERVICES.....	20
2.3	OPC.....	21
2.4	RFID	21
2.5	SOA	23
2.6	INDÚSTRIA 4.0	24
3	A INDÚSTRIA MOVELEIRA NO CONTEXTO DO PROJETO.....	26
3.1	ESPECIFICIDADES DA INDÚSTRIA MOVELEIRA	28
3.2	MODELAGEM DO PROCESSO PRODUTIVO	30
4	DEFINIÇÃO DO SISTEMA E METODOLOGIA	32
4.1	REQUISITOS	32
4.2	CASOS DE USO DO SISTEMA	33
4.3	BANCO DE DADOS	35
4.4	DIAGRAMAS DE ATIVIDADES.....	35
4.5	DIAGRAMA DE CLASSES	49
4.6	ARQUITETURA DO SISTEMA	50
5	DESENVOLVIMENTO	55
5.1	INTERFACES DOS USUÁRIOS	55
5.2	IMPLEMENTAÇÃO DAS PLATAFORMAS	82
5.3	MONTAGEM DAS BANCADAS	83

6	TESTES.....	89
6.1	METODOLOGIA DE TESTES	89
6.2	REALIZAÇÃO DOS TESTES.....	93
7	RESULTADOS.....	95
8	CONCLUSÕES.....	104
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

1 INTRODUÇÃO

O Brasil passa por um processo de desindustrialização, com a participação da indústria no PIB nacional caindo de 24,2% em 2005 para 19,5% para 2015, segundo o IBGE. Em 2015, a variação do produto interno industrial, em valores correntes, em relação ao ano anterior foi de -6,2%, enquanto que o mesmo índice para os setores de serviços e de agropecuária foram de -2,7% e 1,5%, respectivamente, mostrando que o setor da indústria foi o que enfrentou o maior declínio nesse período (IBGE).

Uma das principais soluções para a reversão de uma situação cada vez mais desfavorável para a indústria é a inovação e o aumento da produtividade. As oportunidades para projetos e métodos de aumentar a eficiência das indústrias brasileiras ficam mais claras no momento, e a tecnologia é uma das melhores maneiras de se atingir tais objetivos, seja de reduzir custos, desperdícios ou aumentar a produtividade.

Com tecnologias disponíveis que permitem uma comunicação cada vez mais rápida e sem restrições entre objetos de diferentes naturezas, sejam máquinas, pessoas ou materiais, surgem novas utilizações para essas interações, seja para aumentar a rastreabilidade da produção ou para ingressar em uma era de flexibilidade e personalização de produtos. Essas características, até então vistas como geradoras de custos, podem se tornar fatores determinantes para a sustentabilidade da indústria a longo prazo.

No contexto da indústria moveleira, a complexidade de relações interdependentes criadas pela quantidade de partes únicas e sequências de operações gera grandes desafios (KYLE e LUDKA, 2000). Essas especificidades sugerem sistemas de controle e planejamento detalhados, que podem se beneficiar de tecnologias de rastreamento da produção e apoio à tomada de decisões.

Sistemas de gerenciamento e planejamento de produção e estoques, como os *Enterprise Resources Planning* (ERP) e *Material Resources Planning* (MRP), já são velhos conhecidos das indústrias. Porém, observa-se uma distinção entre camadas de operações, com o nível gerencial dominado pelas tecnologias citadas, suportadas pelo grande desenvolvimento da Tecnologia da Informação, e um nível de automação de chão-de-fábrica, com os Controladores Lógico Programáveis (CLPs) e sistemas supervisórios.

Essa camada intermediária, deixada de lado no passado, pode ser preenchida por sistemas de execução de manufatura (MES), onde a necessidade de dados em tempo real é suprida pela implementação de sistemas de identificação por radiofrequência (RFID), com aquisição de dados eficiente, confiável e na velocidade exigida pelo MES (CHEN, XIE e ZHENG, 2009).

Sistemas de rastreamento da produção por meio de RFID, ao disponibilizar ferramentas para um gerenciamento de operações industriais mais eficiente, podem ser relacionados a um contexto muito maior, do aumento das oportunidades de desenvolvimento para a indústria moveleira, e da indústria como um todo no Brasil, apresentando, juntamente com outras várias iniciativas tecnológicas, possibilidades de reversão do declínio da participação na economia brasileira e de redução das importações de produtos manufaturados.

1.1 TEMA

O tema do trabalho é Indústria 4.0 na indústria moveleira. Um problema percebido em muitas indústrias é o da rastreabilidade de peças e bens produzidos dentro da cadeia produtiva. Com a informação em tempo real das entidades no processo de estocagem, produção e expedição, cria-se diversas possibilidades de melhoria da eficiência e qualidade, pois possibilita o cálculo de indicadores de desempenho, identificação de gargalos de produção e pode reduzir o tempo para tomada de decisão dentro do planejamento e controle de produção. Esse trabalho busca maneiras de desenvolver um sistema eficiente de rastreabilidade dentro de uma indústria de móveis.

A Indústria 4.0 é um projeto introduzido pelo governo da Alemanha para aprimorar o uso da tecnologia e computação dentro da manufatura. Algumas das tecnologias que a suportam são: *Internet of Things* (IoT), *big data analytics*, *cloud computing*, realidade aumentada, manufatura aditiva e *Cyber Physical Systems* (CPS). A IoT, o CPS e *Cloud Computing* se relacionam como a base para a execução desse trabalho, com a comunicação entre “coisas” (dispositivos, peças, equipamentos, etc.) da IoT, a integração computacional e em rede de sistemas físicos, e uma plataforma com mobilidade e menos limitações físicas de *Cloud Computing*.

No contexto da IoT, tudo se conecta e comunica num grande fluxo de informações, desde pequenos objetos até grandes sistemas, formando uma rede de serviços e produtos, e esses processos ocorrem de uma maneira muito mais colaborativa. A ideia de Indústria 4.0 se apodera desses conceitos de IoT para constituir essa rede a nível industrial. A comunicação M2M (*Machine to Machine*), o gerenciamento e planejamento em tempo real dos processos produtivos, e uma produção cada vez mais sob demanda são alguns dos tópicos de estudo da Indústria 4.0. A informação constitui a base de todo esse sistema, e a integração é a palavra-chave mais adequada para se descrever um projeto de Internet das Coisas.

1.2 PROBLEMA E CONTEXTUALIZAÇÃO

No contexto específico da indústria moveleira, há uma grande variedade de materiais, peças, equipamentos e processos utilizados na cadeia produtiva. Um exemplo é a produção de cadeiras tubulares de aço, onde tubos e chapas de aço são cortados, dobrados, furados, soldados, pintados, etc. Um problema muito comum nessa indústria é obter dados específicos sobre o processo produtivo para cada lote de peças, como hora de entrada e hora de saída em cada máquina. Para fins desse trabalho no contexto da indústria moveleira, essas informações serão relacionadas à identificação das entidades e recursos produtivos ao longo do processo produtivo. Assim, é possível ter rastreabilidade da cadeia produtiva, recolhendo dados como materiais, modelo, equipamentos e processos utilizados por lote de peças.

Portanto, para tentar resolver o problema da rastreabilidade encontrado em indústrias moveleiras, esse trabalho utiliza uma abordagem de Indústria 4.0, na qual a Internet das Coisas, os *Cyber Physical Systems* e *Cloud Computing* disponibilizam ferramentas para sua execução. Foi desenvolvido um modelo da cadeia produtiva de uma indústria de moveis, e a partir disso utiliza-se a tecnologia de identificação RFID para se obter rastreabilidade das entidades e recursos produtivos. A partir desse ponto, o gerenciamento da produção da indústria decide o destino desses dados, que podem ser processados por ferramentas para se extrair informações a fim de reduzir custos, tempo de produção e planejar melhor o processo produtivo.

1.3 MOTIVAÇÕES

Como já citado, a rastreabilidade de recursos e materiais dentro de uma linha de produção é um problema comum na indústria. Segundo o IBGE, a indústria em 2015 foi responsável por R\$ 3,6 trilhões do PIB brasileiro. Portanto, há uma clara motivação econômica para o projeto, onde a tecnologia pode ser um fator contribuinte para a indústria brasileira. O problema atacado seria uma solução para rastrear dinamicamente esses recursos produtivos. Com essa solução pode-se armazenar dados como: tempo de transporte das peças e tempo gasto em cada máquina.

Os dados levantados por meio do sistema proposto podem também ser usados para simulações das operações do chão de fábrica. Como os dados são adquiridos de maneira impessoal e frequente, gerariam uma simulação mais precisa. Além disso, há alta velocidade de aquisição desses dados quando comparado a métodos manuais hoje utilizados na indústria de móveis estudada, onde o funcionário tem que informar a quantidade produzida em papéis ao final do dia, para então os dados serem processados. O projeto visa um registro instantâneo.

Do ponto de vista acadêmico a solução envolve quase todas as áreas importantes para formação de um engenheiro mecatrônico. O projeto necessitará principalmente dos conhecimentos adquiridos nas matérias: Sistemas de Informação (PMR2490) e Modelagem e Controle de Sistemas Discretos (PMR2460).

Envolverá também uma grande parte em programação, pois será necessário o projeto de interface gráfica, sintonização e comunicação de todos os dispositivos. Também será trabalhada a pesquisa acadêmica de tecnologias atualmente importantes, como o RFID e computação em nuvem.

Além disso precisará ser feita uma familiarização do chão de fábrica, dos seus processos, suas rotinas, onde as variáveis estudadas em PMR2460 serão aplicadas. Isso proporcionará um conhecimento sobre a dinâmica de uma fábrica real. Todos esses passos completam um projeto com enfoque certamente mecatrônico.

1.4 OBJETIVOS

Pretende-se projetar um sistema que obtenha dados de uma cadeia produtiva de uma indústria de móveis, com os quais seja possível ter uma rastreabilidade das entidades. Para um trabalho

de conclusão de curso, não é viável a implementação desse sistema em uma indústria real, portanto, ele será implementado em bancadas didáticas disponíveis no LSA – Laboratório de Sistemas de Automação – que servirão de metáfora para exemplificar alguns processos da indústria moveleira.

A coleta dessas informações é feita por sistema de identificação RFID, onde dispositivos de leitura e escrita se comunicarão com *tags*, posicionadas nos recursos produtivos. Essas *tags*, em conjunto com a comunicação OPC, fornecem a identificação necessária para se levantar informações sobre a localização de entidades, além da disponibilidade dos recursos. As *tags* são usadas analogamente a um cartão de visitas das peças. Quando uma peça chegar em um local, a *tag* se comunica com o dispositivo de leitura e esse armazena informações pertinentes das peças que chegaram como: quantidade de peças, tipo de peças, horário de chegada, etc. Assim, o sistema pode se valer dessas informações para várias utilidades, como associar as etapas de produção de cada tipo de produto; coletar informações do ambiente no momento da produção; calcular tempo de produção, e efetividade da utilização de recursos.

A identificação se dá por lote de peças, uma vez que o valor atrelado a cada peça não justifica uma rastreabilidade peça por peça. Como as peças passam por processos de usinagem e também de tratamento químico superficial, onde são imersas em várias substâncias, muitas delas ácidas, a colocação de *tags* RFID na própria peça não é possível. Portanto, as *tags* e dispositivos são atreladas aos lotes, mas estão fisicamente fixadas a esses, acompanhando-os por meio dos transportadores da fábrica.

O sistema é então composto por *tags* solidários aos lotes de peças, um leitor de RFID solidário aos locais da linha de montagem (manipuladores, locais de estocagem, máquinas, etc.), um sistema que se comunica com CLPs por OPC e um sistema de informação, composto por um banco de dados, que é utilizado para gerenciamento e coleta de dados do rastreamento dos lotes.

O objetivo geral desse trabalho é, portanto, aplicar o conceito de rastreabilidade da produção oriundo da Indústria 4.0 para o contexto particular de indústria moveleira e validar com uma “metáfora” com bancadas didáticas, por meio da coleta de dados sobre os lotes de peças ao longo de seu processo produtivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar a realização do projeto, uma revisão bibliográfica foi realizada, contendo o Estado da Arte e conceitos fundamentais para o desenvolvimento do projeto.

2.1 ESTADO DA ARTE

O problema de se rastrear objetos em uma cadeia produtiva tem sido estudado com diferentes soluções, com objetivos muitas vezes diferentes, porém que possuem nos dados de identificação e posição um ativo valioso para uma eventual melhora na eficiência de uma linha de montagem.

Verifica-se na literatura que muitos trabalhos utilizam uma abordagem de rastreamento baseada em câmeras de vigilância e tecnologias de processamento de imagem. (YOON, DESOUSA e KAK, 2003) propõem uma arquitetura baseada em um sistema guiado por visão robótica que pode operar em uma linha de montagem. A arquitetura desenvolvida tem como entradas visões com vários níveis de acurácia, em uma hierarquia onde é possível obter uma posição aproximada do objeto, assim como, em um nível mais acurado, a posição e orientação do objeto precisos nas coordenadas do robô. A abordagem utilizada por (MOLINEROS e SHARMA, 2001) considera uma interface de realidade aumentada para guiar a montagem manual na cadeia produtiva, baseando-se no planejamento de montagem robótico, que combina o reconhecimento de estados de montagem com um modelo de aparência dos processos.

Uma solução para o problema de diferentes distâncias necessárias para rastrear objetos em um sistema de manufatura foi apresentada por (ZETU, BANERJEE e THOMPSON, 2000), com um dispositivo híbrido de rastreamento, uma combinação de laser e rastreador magnético. O laser realiza uma triangulação dos sinais emitidos pelo dispositivo e dos sinais recebidos do objeto rastreado. Possui um alcance de até 100 metros, porém é limitado por sua linha de visão. O rastreador magnético é utilizado visando suprir essa deficiência do laser, em aplicações com obstáculos entre o transmissor e receptor. Possui a limitação de ser suscetível à interferência com campos magnéticos gerados por materiais ferromagnéticos. O resultado foi a necessidade de trabalhar com medidas com diferentes taxas de aquisição, e que obteve erros de medida menores que um por cento.

Os trabalhos mais recentes que procuram resolver esse problema do rastreamento de objetos em uma linha de produção em sua maioria utilizam a tecnologia de RFID. Motivados pelas tendências de Indústria 4.0 e Internet das Coisas, os trabalhos mais atuais procuram uma abordagem que permite a integração facilitada entre todos os componentes do sistema, com menos limitações físicas, que seja versátil, adaptando-se aos mais variados tipos de indústrias, e que possibilite viabilidade econômica. O RFID, ou identificação por radiofrequência, fornece um método eficiente e pouco custoso para identificação *wireless*, onde um sistema é composto geralmente apenas por *tags* e leitores.

Essa abordagem foi utilizada por (WANG, LUO, *et al.*, 2007), onde a posição de um objeto equipado com uma *tag* RFID pode ser determinada por meio de leitores espalhados por toda a linha de montagem, de maneira que a área útil de detecção desses leitores se sobrepõe. Portanto, ao se analisar quais leitores conseguiram detectar o objeto e em quais instantes de tempo, é possível calcular a trajetória do objeto, rastreando seu movimento ao longo do tempo. Esse sistema permite que o objeto seja colocado em posições e adquira trajetórias aleatórias dentro da linha de montagem, porém necessita de uma grande quantidade de leitores para que seja eficiente e possa fornecer dados acurados para uma manufatura precisa.

(CAO, LI, *et al.*, 2013) propõem uma arquitetura onde o RFID e sistema de código de barras se unem para realizar a identificação de objetos dentro de uma linha de produção de brinquedos. Esse sistema se aproveita do fato que a matéria-prima normalmente é fornecida com sistema de identificação por código de barras, mesmo que por lote. Esses materiais podem ficar estocados por muito tempo, o que não torna vantajoso a colocação de *tags* RFID nessa fase do processo, sendo mais eficientemente identificados pelo código de barras. Os produtos semiacabados e prontos para serem montados são equipados com *tags* RFID, onde passam a coletar informações sobre o processo produtivo. Após o término da montagem, os produtos acabados recebem *tags* RFID que possuem identificação para todos os dados coletados relativos ao processo produtivo no sistema da empresa. As embalagens também recebem código de barras para identificação, e todo o sistema de identificação (leitores RFID, impressoras de código de barras) é conectado via Wi-Fi ao sistema da empresa que reúne os dados e os disponibiliza para que sejam utilizados internamente buscando extrair informações que auxiliem nos processos de tomada de decisão de produção.

Os trabalhos de (YOON, DESOUZA e KAK, 2003), e (MOLINEROS e SHARMA, 2001) possuem limitações da própria eficiência na identificação dos objetos. A identificação por visão artificial requer algoritmos complicados e custosos e pode apresentar resultados

insatisfatórios, principalmente em ambientes industriais. Métodos como localização por GPS, como em (LUO, ZHANG, *et al.*, 2005), também não são aplicáveis com as tecnologias atuais em linhas de produção. O custo para se obter taxas melhores de acerto na identificação baseada em câmeras ou realidade aumentada e processamento de imagens pode tornar o processo inviável sob o ponto de vista econômico. Esses trabalhos possuem o mérito de apresentarem poucas limitações físicas, uma vez que o sistema de identificação não participa ativamente dos processos produtivos.

O uso da tecnologia RFID pode suprir algumas das limitações observadas anteriormente. Tanto em (WANG, LUO, *et al.*, 2007), quanto em (CAO, LI, *et al.*, 2013), o sistema de identificação por radiofrequência possibilita rastrear de maneira eficiente e via *wireless* os objetos na linha de produção. Uma limitação desse sistema é que a distância de leitura normalmente é pequena. No trabalho de (WANG, LUO, *et al.*, 2007) essa limitação se faz presente de maneira que um grande número de leitores é necessário para se obter uma estimativa mais acurada da posição dos objetos, elevando o custo do sistema. Em um sistema real de indústria, essa limitação é atenuada pelo fato que geralmente não é necessário cobrir todo o ambiente de produção pelo campo de leitura, mas apenas alguns pontos onde se queira realizar o rastreamento do processo produtivo.

Em (CAO, LI, *et al.*, 2013), o sistema proposto se revela adequado para implementação em um ambiente real de uma indústria de brinquedos, integrando o sistema de identificação por radiofrequência como por código de barras, visando explorar as vantagens específicas de cada um. A grande limitação do trabalho é justamente a integridade física das *tags* RFID, não permitindo que uma parte do processo produtivo seja coberta por seu sistema de identificação. As *tags* são adicionadas apenas na fase pré-montagem, portanto o sistema RFID não coleta os dados relativos a fases anteriores, sendo essas etapas de responsabilidade do sistema de identificação por código de barras.

Na indústria moveleira, frequentemente se tem um baixo valor agregado das peças que passam pela linha de produção, o que pode dificultar a identificação individual, em muitos casos beneficiando o rastreamento por lotes. Os ambientes podem não possuir uma grande linha de visão, contar com uma elevada quantidade de serragem e pó de madeira no ar e pelo chão, além de alguns processos produtivos, como usinagem, tratamento químico superficial e pintura, que têm potencial destrutivo para sistemas eletrônicos. O rastreamento por lotes deixa em desvantagem as soluções apresentadas por (YOON, DESOUZA e KAK, 2003) e (MOLINEROS e SHARMA, 2001), baseadas em sistemas de identificação por recursos visuais,

assim como a possibilidade de serragem e pó de madeira dificultarem também esse processo visual. O RFID e o código de barras se sobressaem nesse aspecto, porém, correm o risco de serem danificados pelos processos produtivos das indústrias de móveis caso sejam acoplados às peças, dificultando nesse caso as abordagens de (CAO, LI, *et al.*, 2013) e (WANG, LUO, *et al.*, 2007).

2.2 WEB SERVICES

Segundo o *World Wide Web Consortium* (W3C), um *Web service* é um sistema de *software* projetado para suportar interações *machine-to-machine* em uma rede. Os *Web services* podem ser vistos como uma maneira de expor a funcionalidade de um sistema de informação e torná-la disponível por meio de tecnologias padrões da *Web* (ALONSO, CASATI, *et al.*, 2004).

O *Web service* é uma resposta para um desafio que toda organização enfrenta atualmente: criar um ambiente homogêneo enquanto mantém as capacidades fundamentais das aplicações existentes. Os *Web services* prometem uma interoperabilidade entre plataformas que permite endereçar problemas práticos de negócios que requerem uma computação distribuída, e a TI precisa de uma maneira simples e independente de plataforma para comunicação entre aplicações (CHAPPELL e JEWELL, 2002).

Web services podem ser um componente de um sistema e diferentes *Web services* podem fornecer serviços diferentes. Para atingir diversos requisitos de diversos clientes, podem também ser combinados (CHAN e LYU, 2008).

A infraestrutura de *Web services* inclui alguns padrões, como *Simple Object Access Protocol* (SOAP), um protocolo baseado em XML para troca de informação em um ambiente distribuído e descentralizado; *Web Services Description Language* (WSDL), que explica como operações podem ser invocadas usando um protocolo de transporte particular; e *Universal Description, Discovery and Integration* (UDDI), que fornece um mecanismo para clientes encontrarem dinamicamente outros *Web services* (THOMAS, MATHEWS e GHINEA, 2003).

O mecanismo de um *Web service* segue um protocolo de dois estágios: o cliente envia uma requisição expressando a necessidade de uma informação e o servidor responde com os dados solicitados. O SOAP serve como uma especificação desse mecanismo, e é aceito pelo

W3C (TURC, 2014). A modularidade e interoperabilidade dos *Web services* são duas características fundamentais.

2.3 OPC

A utilização de sistemas de automação industrial baseados em software para computadores pessoais aumentou rapidamente nos anos 90, especialmente para controle e visualização, e motivou o desenvolvimento de maneiras de acessar dados segundo padrões e independentemente do fabricante do equipamento (MAHNKE, LEITNER e DAMM, 2009).

Segundo a OPC Foundation, o OPC – *OLE Process Control* - é o padrão interoperável para troca de dados seguro e confiável em automação industrial, e a especificação mais utilizada atualmente é a *OPC Unified Architecture*. Essa especificação define um conjunto de serviços para comunicação de dados baseado em arquitetura orientada a serviços (SOA) (LEHNHOFF, ROHJANS, *et al.*, 2012).

O padrão OPC não é somente capaz de realizar comunicação entre componentes de automação com *hardware* de controle e dispositivos de campo, mas também interoperabilidade com sistemas de informação, como ERP e MES. Em um sistema tradicional de automação industrial, a comunicação de cada dispositivo de campo deve ser realizada com cada aplicação através de um *driver* específico. Com a utilização de OPC, a comunicação dos dispositivos é centralizada em um servidor OPC, que se comunica de maneira padronizada com cada aplicação (SON e YI, 2010).

O OPC é o padrão universalmente aceito para a troca de dados entre diferentes sistemas de automação industrial na indústria manufatureira e de processos, em seus mais diferentes níveis. É um padrão capaz de lidar com a grande variedade de fornecedores e a complexidade dos sistemas atuais de automação (MAHNKE, LEITNER e DAMM, 2009).

2.4 RFID

RFID é uma tecnologia de identificação por radiofrequência que permite transferência de dados sem a necessidade de contato mecânico. Os sistemas RFID utilizam campos eletromagnéticos

nos mecanismos de transferência de dados e energia, e são compostos por leitores e *tags* (*transponders*).

A *tag* é constituída basicamente de um elemento de acoplamento (geralmente uma antena) e um microchip eletrônico. Ela contém dados que são transmitidos ao leitor no momento em que é interrogada. São encontradas em diversos formatos e tamanhos, como cartões, moedas, etiquetas, ou pequenos cilindros de vidro utilizados sob a pele de animais. As *tags* podem ser classificadas perante três critérios: fonte de energia, frequência e funcionalidade da memória.

Quanto à fonte de energia, há *tags* passivas e ativas. As passivas não possuem fonte de energia própria e recebem a alimentação necessária para funcionar do campo eletromagnético do leitor. Seu alcance é então limitado pela potência que pode receber das ondas provenientes do leitor. Por sua simplicidade de utilização e custo baixo, são as mais utilizadas. Já as *tags* ativas incorporam uma bateria que alimenta sua operação.

O critério da frequência distingue o sistema como um todo, uma vez que a frequência de operação das *tags* precisa ser igual à dos leitores. A classificação mais utilizada divide três faixas de frequências: baixa (LF – 30 a 300 kHz), alta (HF ou RF – 3 a 30 MHz) e muito alta (UHF – 300 MHz a 3 GHz, e micro-ondas – maior que 3GHz). Em geral, frequências LF e HF são utilizadas em aplicações onde é necessária a utilização com algum meio diferente do ar, uma vez que para essas faixas o amortecimento é menor do que a altíssimas frequências. Já as frequências UHF e micro-ondas possuem um alcance muito maior, sendo utilizadas em aplicações em que a distância de leitura pode chegar até a 15 metros (FINKENZELLER, 2003).

A funcionalidade da memória de uma *tag* pode ser dividida em somente leitura (RO), uma gravação/várias leituras (WORM) ou leitura/gravação (RW). Nas *tags* RO, um número serial é escrito na fase de produção e não pode ser alterado, apenas lido. São as mais utilizadas por serem mais baratas. Na *tag* WORM, o dado é gravado pelo usuário antes da primeira utilização. Entretanto, apenas uma gravação é permitida. Quando a aplicação exige que os dados não sejam imutáveis, utiliza-se uma *tag* RW, a mais flexível, porém mais cara e vulnerável à adulteração e sobreposição de dados. Há *tags* com diferentes capacidades de armazenamento, e sua escolha depende da necessidade da aplicação (HESSEL, VILLAR, *et al.*, 2009).

O outro componente de um sistema RFID é o leitor, constituído de um módulo de radiofrequência (transmissor e receptor), uma unidade de controle, um elemento de acoplamento com a *tag* e uma interface de comunicação para transmitir os dados para outro

sistema. Esse sistema pode ser um computador, um robô, um microprocessador, entre outros, e vai tratar os dados para a aplicação desejada (FINKENZELLER, 2003).

Os sistemas RFID, com sua capacidade de transferir dados de forma sem fio, permitem aplicações inovadoras em diversas áreas, como logística, gerenciamento da cadeia de suprimentos, manufatura, gestão de estoques, etc. Com essa possibilidade de rastreamento em tempo real, os sistemas RFID fornecem um meio popular de gerenciamento de linhas de montagem em uma manufatura (WANG, LUO, *et al.*, 2007).

2.5 SOA

Arquitetura orientada a serviço (SOA) é um paradigma para a realização e manutenção de processos de negócios que alcançam grandes sistemas distribuídos. O principal objetivo de uma arquitetura orientada a serviço é aumentar a flexibilidade, e mesmo que seja aplicável em diversas áreas, SOA se popularizou em ajudar negócios em suas soluções de Tecnologia da Informação. Esse paradigma é apropriado para sistemas distribuídos, de diferentes fornecedores e heterogêneos (JOSUTTIS, 2007).

Os princípios mais claros da modelação orientada a serviço focam em estratégias de implementação que envolvem reutilização de recursos de *softwares* organizacionais, arquitetura acoplada frouxamente, alinhamento de estratégias de negócio e de TI e redução do tempo entre a produção e a venda. É importante que a modelação envolva pessoal de negócios e de tecnologia, onde cada um desses grupos deve contribuir com sua perspectiva para o processo. A arquitetura, portanto, abstrai um ambiente tecnológico orientado ao serviço onde componentes de *software* fazem interface e colaboram para resolver um problema (BELL, 2008).

A implementação de SOA envolve quatro componentes principais, sendo eles: a infraestrutura, a arquitetura, os processos e a governança. A infraestrutura é a parte técnica de SOA que permite alta interoperabilidade. A arquitetura é uma maneira de restringir as possibilidades de uma maneira que leve a um sistema operável e sustentável. Os processos são os caminhos que uma ideia inicial de negócio ou um requisito percorre até uma solução implementada e funcionando. E a governança pode ser entendida como um meta-processo da

própria estratégia SOA como um todo, incluindo encontrar as pessoas certas para combinar os componentes em um resultado apropriado.

O serviço, como pilar fundamental da modelação SOA, é definido nesse contexto como uma realização de TI sobre uma funcionalidade de negócios, ou seja, a implementação tecnológica do componente de processos. Esses serviços possuem atributos, além de interfaces e contratos, modelados em conjunto pelas perspectivas tecnológicas e de negócios. Apesar de SOA ser independente de uma tecnologia específica, uma das maneiras mais populares de se implementar é através de *web services* (JOSUTTIS, 2007).

2.6 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover, como uma iniciativa de interconectar e integrar computação às indústrias tradicionais, como a manufatura, de maneira a melhorar a adaptabilidade e eficiência na utilização de recursos, bem como uma maior integração de processos de fornecimento e demanda entre fábricas (VARGHESE e TANDUR, 2014).

Seguindo a primeira Revolução Industrial, da mecanização pela máquina a vapor; a segunda, da produção em massa com o advento da energia elétrica; e a terceira, da digitalização por meio da eletrônica e Tecnologia da Informação; isso marca o despontar de uma quarta Revolução Industrial, por meio do uso de *Cyber Physical Systems* (CPS) e a Internet das Coisas e dos Serviços. A integração de *cyber* tecnologias que tornam os produtos conectados à internet facilita o desenvolvimento de serviços inovadores, diagnóstico pela internet, manutenção, operações, etc. Além disso, auxilia a realização de novos modelos de negócios, conceitos operacionais e controles “inteligentes”, focando nas necessidades individuais dos usuários (JAZDI, 2014).

Uma fábrica que adere aos conceitos da Indústria 4.0 adquire a possibilidade de facilmente descobrir e se conectar a um CPS, detectando interfaces de comunicação disponíveis para o sistema de produção apropriado. Um protocolo de comunicação que pode servir de exemplo para esse aspecto é o OPC UA. Essa se torna a base para uma das principais ideias da Indústria 4.0, a da conexão e transferência de dados e informações entre os componentes do sistema (SCHLECHTENDAHL, KEINERT, *et al.*, 2015).

Segundo (LASI, KEMPER, *et al.*, 2014), o termo Indústria 4.0 pode ser tratado como um conjunto de sete conceitos fundamentais, sendo eles: Fábrica “inteligente”, onde a manufatura será completamente equipada com sensores, atuadores e sistemas autônomos; *Cyber Physical Systems*, um conceito que propõe uma fusão entre os níveis físico e digital; Auto organização, onde a hierarquia de produção é descentralizada de uma maneira autônoma; Novos sistemas de distribuição e aquisição, de maneira a tornar esses processos mais individuais e conectados; Novos sistemas de desenvolvimento de produtos e serviços, incorporando mais inteligência a esses produtos e serviços e abordagens de inovação aberta; Adaptação às necessidades humanas, onde os sistemas de manufatura são projetados de acordo com necessidades humanas e não o contrário; e por fim, responsabilidade social corporativa, principalmente por meio de eficiência de utilização de recursos e sustentabilidade.

3 A INDÚSTRIA MOVELEIRA NO CONTEXTO DO PROJETO

O projeto apresentado possui uma aplicabilidade em diversos setores da indústria de transformação, porém, foi concebido com foco em indústrias moveleiras. Essa escolha é justificada pelo mérito econômico e ganhos eventuais em eficiência que a implementação desse sistema pode gerar em uma indústria desse setor, corroborando também o acesso dos autores a funcionários e instalações de uma fábrica de móveis no interior do estado de Minas Gerais, no polo moveleiro de Ubá. Com isso, há a possibilidade real de implementação do sistema desenvolvido na indústria citada, o que traria como benefícios diretos para empresa um maior controle da produção, com maior acurácia dos dados e um menor tempo de resposta. Como vantagens indiretas, é possível citar uma ferramenta mais eficiente para auxílio em tomadas de decisões, tanto em nível operacional como em nível estratégico.

Essa conexão com a fábrica inclui a disponibilidade de dados de produção, informações técnicas detalhadas dos produtos, visitas, entrevistas com operadores de chão de fábrica, gerentes de produção, dono, etc. A empresa produz mesas, cadeiras, poltronas e sofás, historicamente com um catálogo focado em móveis com predominância de tubos de aço, mas que utiliza também fortemente a madeira como matéria-prima para seus produtos.

Um conhecimento maior das características do setor é fundamental para entender algumas das decisões de projeto, portanto, uma contextualização será realizada, começando pela indústria moveleira como um todo até chegar ao caso específico da fábrica utilizada como modelo.

A fabricação de móveis é uma das atividades mais tradicionais da indústria de transformação, sendo marcada por uma complexa segmentação do mercado, seja essa determinada pelo tipo de uso, material predominante, classe de consumo do público-alvo, ou até a faixa etária dos usuários. O setor moveleiro apresenta uma elevada utilização de insumos de origem natural, emprego relativamente intensivo de mão de obra, reduzido dinamismo tecnológico e alto grau de informalidade. O investimento inicial não atinge vultuosas proporções e as condições de apropriabilidade do *design* são muito baixas, caracterizando um setor com pequenas barreiras à entrada. Além disso, há muitos processos cuja automação é difícil, como montagem e estofamento, o que não favorece o surgimento de empresas grandes o suficiente para ter alto poder de mercado (GALINARI, JUNIOR e MORGADO, 2013).

A cadeia de suprimentos da indústria moveleira é longa e diversificada. Dentre os principais insumos é possível citar a madeira em suas diferentes formas e subprodutos, os metais, plásticos, produtos químicos, tecidos e couros. Essa matéria-prima é processada nas indústrias e distribuídas ao consumidor final por meio de uma variada rede, que inclui distribuidores, representantes comerciais, lojas próprias, magazines e exportação, embora o setor de produção de móveis no Brasil não se configure como um grande mercado exportador. Uma representação da cadeia produtiva descrita pode ser visualizada na Figura 1. É difícil caracterizar um único padrão competitivo na indústria moveleira em razão dessa elevada complexidade de estruturação de mercado (FERREIRA, GORAYEB, *et al.*, 2008).

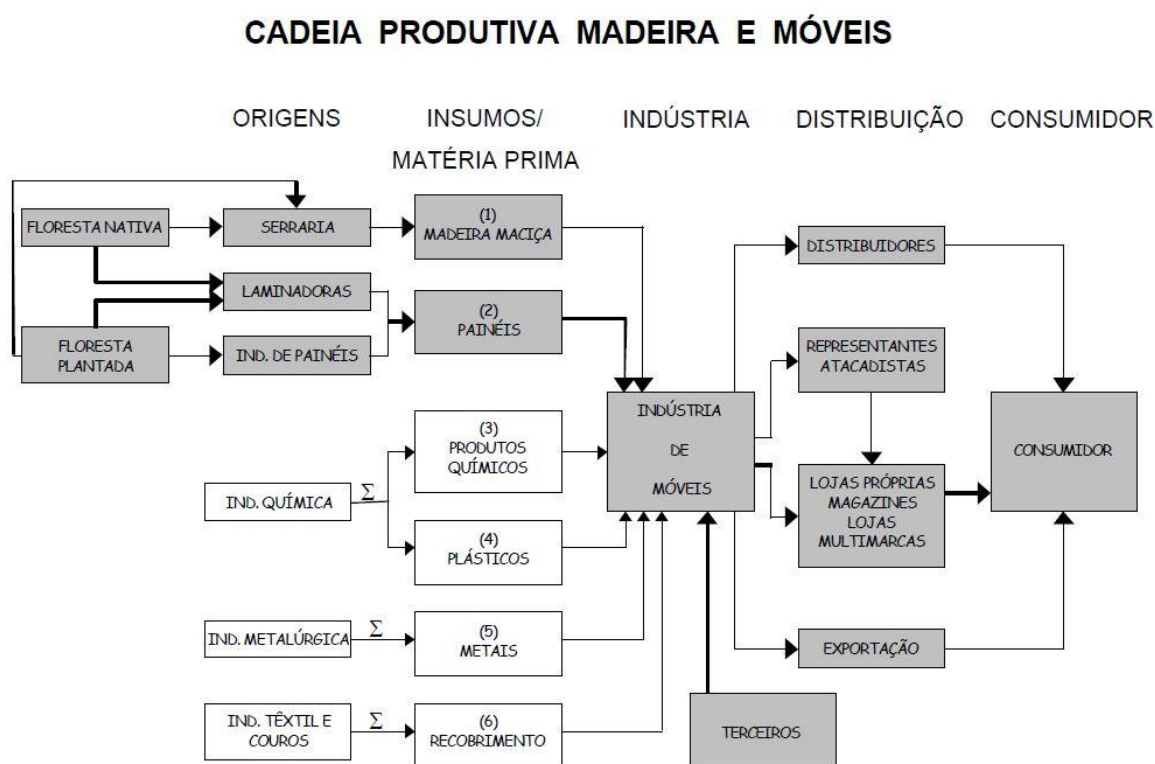


Figura 1 - Representação da cadeia produtiva da indústria moveleira. Fonte: (IPT, 2002)

A caracterização da produção em si é muito dependente do tipo de móvel que a empresa fabrica. Fatores como materiais utilizados, lugar a que se destina e público-alvo são determinantes para o processo de fabricação utilizado. A variedade é enorme e as empresas do setor são geralmente especializadas em um ou poucos tipos. Em móveis para cozinha, há grande utilização de aço, seja em tubos para cadeiras e mesas ou chapas para armários, enquanto que

na fabricação de móveis para dormitórios observa-se a predominância de madeira, desde madeira maciça até MDF. As atividades realizadas também variam conforme a necessidade dos móveis, com destaque para processos de usinagem em madeira, dobras, cortes e furos para tubos e chapas de aço, e revestimentos como pintura, verniz e tratamento químico de superfícies por cromagem e niquelagem.

Dada essa faixa muito grande de características do processo produtivo de um móvel, não é justificável entrar em detalhes sobre cada uma das peculiaridades para o âmbito desse trabalho. Uma abordagem específica dos processos utilizados na indústria acompanhada será realizada, assim como da influência dessas características na modelagem do sistema projetado.

3.1 ESPECIFICIDADES DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

A fábrica utilizada como referência na realização do trabalho possui aspectos específicos que norteiam sua produção. É uma indústria consolidada no mercado, com 25 anos de existência e um grau intermediário de automação das operações. Caracteriza-se pela utilização intensa de tubos de aço no *design* dos móveis, fabricando cadeiras, mesas, sofás e poltronas. É considerada uma empresa que produz para um público-alvo de classes baixa e média, com duas linhas de preços e acabamentos.

Há aproximadamente 10 anos a empresa implementou métodos de Planejamento e Controle de Produção em suas operações, utilizados atualmente desde o estoque de matéria-prima até a expedição de produtos acabados. Dado o volume alto e o baixo valor agregado das peças utilizadas na montagem dos produtos, todo o controle de produção é realizado por lotes de peças. As ordens de produção são importadas do ERP e transformadas em lotes a serem produzidos por cada setor da fábrica. Essa característica do controle por lotes é incorporada ao sistema projetado, onde cada *tag* RFID representa um lote de peças, na forma de um transportador como será explicado adiante, que é colocado em processo produtivo. Portanto, não ocorre rastreamento de cada peça, mas sim, de um conjunto determinado pelas ordens que entram no sistema.

O sistema tenta cobrir os aspectos da indústria moveleira de maneira que a metáfora da implementação em bancadas didáticas seja a mais próxima possível de uma implementação na

própria fábrica. Essa arquitetura visa mostrar a aplicabilidade do projeto em um ambiente industrial real, atingindo os mesmos objetivos propostos para a montagem no LSA.

Um exemplo de modelagem que confirma essas intenções é a representação das peças de trabalho das bancadas não como puramente materiais ou lotes de peças, mas sim como transportadores de lotes de peças. Isso permite que a rastreabilidade seja feita por lotes como já discutido, mas de uma maneira mais eficiente para a indústria. As *tags* não precisam ficar nas próprias peças, mas sim nos transportadores, que acompanham os lotes durante o processo produtivo e normalmente estão na forma de carros conhecidos como paleteiras. Isso é particularmente essencial para a fábrica estudada uma vez que as a grande maioria das peças passa por atividades que inutilizariam as *tags* RFID, como usinagem, banhos químicos para limpeza, pintura e tratamentos superficiais como a cromagem, que conta com etapas de imersão em banhos contendo ácido sulfúrico.

Nos transportadores, as *tags* preservam sua integridade e acompanham o lote garantindo a rastreabilidade desejada. Na indústria real, a única diferença seria que durante o processamento da atividade, as peças seriam movidas do transportador para a própria atividade, enquanto que na implementação do trabalho eles não se desacoplam. Entretanto, para o sistema, o transportador e o lote de peças são tratados como uma única entidade, não havendo diferenciação na modelagem. As paleteiras manuais hidráulicas são utilizadas em grande escala na fábrica, uma vez que são rápidas e que os lotes de peças normalmente geram volumes e massas que não são viáveis de se transportar manualmente.

A indústria modelada possui quatro grandes setores, sendo eles:

- Setor tubular
- Setor madeira
- Setor sofá
- Setor expedição

O setor de expedição é o último setor em que uma peça passa e é o único comum a todos os produtos da fábrica. Nele, os produtos são embalados e então destinados ao transporte até o cliente. Os outros setores possuem uma grande flexibilidade entre si, de maneira que nem todos os produtos possuem processos produtivos incluindo os três setores. Além disso, como um produto é composto por diversas peças (para esse trabalho as peças serão chamadas de subprodutos) e de diferentes naturezas, é natural que subprodutos de um mesmo produto possam ser processados simultaneamente em diferentes setores, e é o que realmente ocorre na fábrica.

Isso gera um problema de modelagem do sistema para a integração entre os subprodutos em um produto final, uma vez que os subprodutos serão representados por *tags* de identificação diferentes e não compartilham geralmente o momento de conclusão com subprodutos em outros setores. A solução vem da própria administração da produção da indústria modelada, onde se utiliza um sistema de produção puxada. Dessa maneira, não há estoque em processo por atividade, ou seja, assim que determinado lote completa uma atividade, ele é transportado para a próxima atividade de seu processo produtivo. Esse sistema na prática não é tão simples, pode ocorrer de o gerenciamento não sair conforme o ideal e lotes acumularem em alguma atividade, porém, foge ao escopo do projeto definir uma estratégia de produção que melhoraria o desempenho do sistema. Portanto, para simplificação, supõe-se para a modelagem do sistema que em uma atividade há apenas um lote de peças.

Como cada subproduto está associado a uma ordem, o sistema consegue integrar lotes de subprodutos em um produto final pela ordem e identificação de cada lote, uma vez que o sistema armazena o histórico de cada subproduto e conseqüentemente, sabe sua localização e a qual produto final ele está associado.

3.2 MODELAGEM DO PROCESSO PRODUTIVO

A aplicabilidade do sistema na indústria real depende de uma modelagem cuidadosa do processo produtivo da fábrica moveleira. O sistema implementado nas bancadas deve possuir características que possibilitem a plena funcionalidade no caso de uma indústria de móveis em operação. As especificidades citadas no item anterior constituem um guia para esses aspectos de arquitetura do sistema. Outro ponto que é muito importante para o comportamento em uma situação real de manufatura é a modelagem do próprio processo produtivo da indústria moveleira.

Cada produto final em catálogo pela empresa possui um extenso processo produtivo, geralmente com dezenas de atividades. Produtos da mesma categoria compartilham muitas atividades, onde dependendo do modelo, a mudança no processo está apenas nos *setups* utilizados. Infelizmente, não há tantas bancadas didáticas disponíveis LSA quanto atividades para a produção dos móveis na indústria real. Na modelagem proposta, as peças de trabalho apenas passam por cinco atividades, constituindo um processo produtivo mais curto que o real, uma metáfora do processo real.

De acordo com a natureza da atividade de cada bancada, é possível associá-las às atividades da própria fábrica. Dessa maneira, a bancada *Distributing* representa o estoque de matéria-prima e sua distribuição, com a entrada das peças na linha de produção. A última bancada, *Sorting*, representa o setor de expedição, onde o processo produtivo finaliza. As três bancadas intermediárias podem representar qualquer um dos setores de madeira, sofá e tubular da fábrica, onde as peças passam pelas atividades de seu processo. Cada produto final da indústria moveleira possui evidentemente mais de 5 atividades apenas em seu processo. Porém, como o número de bancadas é limitado, a metáfora é realizada com processos mais curtos, e cada bancada representado uma atividade que estaria englobando um setor inteiro, possibilitando uma prova de conceito da implementação mesmo com apenas 5 atividades. Na Figura 2 está representado um exemplo de utilização nas bancadas.

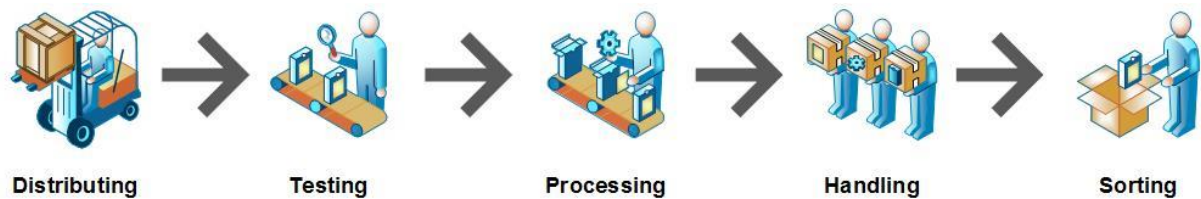


Figura 2 - Esquema de sequenciamento das bancadas didáticas

4 DEFINIÇÃO DO SISTEMA E METODOLOGIA

4.1 REQUISITOS

Como todo projeto de engenharia, esse trabalho se iniciou com um problema a ser resolvido. Partindo-se desse ponto, o próximo passo é definir os agentes que são afetados pelo problema e seriam beneficiados com o projeto. Como a própria natureza do projeto sugere, as indústrias são o principal cliente para o sistema. Apontando para o contexto específico desse trabalho, os requisitos de projeto estão na intersecção entre as características da Indústria 4.0 e os requisitos de uma produção moveleira.

O processo de definição foi guiado por conversas com o gerente de produção da fábrica de móveis utilizada como modelo, identificado como um dos principais *stakeholders* do projeto e seu possível usuário direto. As entrevistas possibilitaram definir os dados importantes de produção que o sistema deve coletar e disponibilizar, norteando os requisitos funcionais do projeto. Características da produção moveleira são delimitadores do projeto. Por exemplo, a fábrica em questão possui uma implementação de métodos de Planejamento e Controle da Produção, onde o controle da produção é feito por lote de peças.

Dessa maneira, um estudo das necessidades da empresa em conjunto com a introdução de algumas características da Indústria 4.0 possibilitou a definição dos requisitos do projeto, através da pesquisa acadêmica e do *feedback* recebido do gerente de produção.

Os requisitos são listados a seguir:

Requisitos funcionais:

- Mostrar nome do produto, quantidade, hora de entrada e hora de saída em cada atividade
- Armazenar dados em um histórico de ordens
- Conectar lotes, processos e atividades
- Rastreabilidade por lotes

4.2 CASOS DE USO DO SISTEMA

O sistema possui três atores: o gerente de produção, o operador de chão-de-fábrica e o cliente. Para facilitar a visualização e entendimento das relações, os casos de uso foram divididos em três grupos. No primeiro, há os casos de uso referentes a gerenciamento de usuários do sistema. No segundo, estão os casos de uso relacionados às ordens de produção no sistema. E no terceiro, os casos que envolvem o gerenciamento de processos e atividades. Cada caso de uso é explicado individualmente na seção de diagrama de atividades, descrevendo também o respectivo fluxo de realização. Os diagramas dos três grupos estão representados nas figuras 3, 4 e 5.

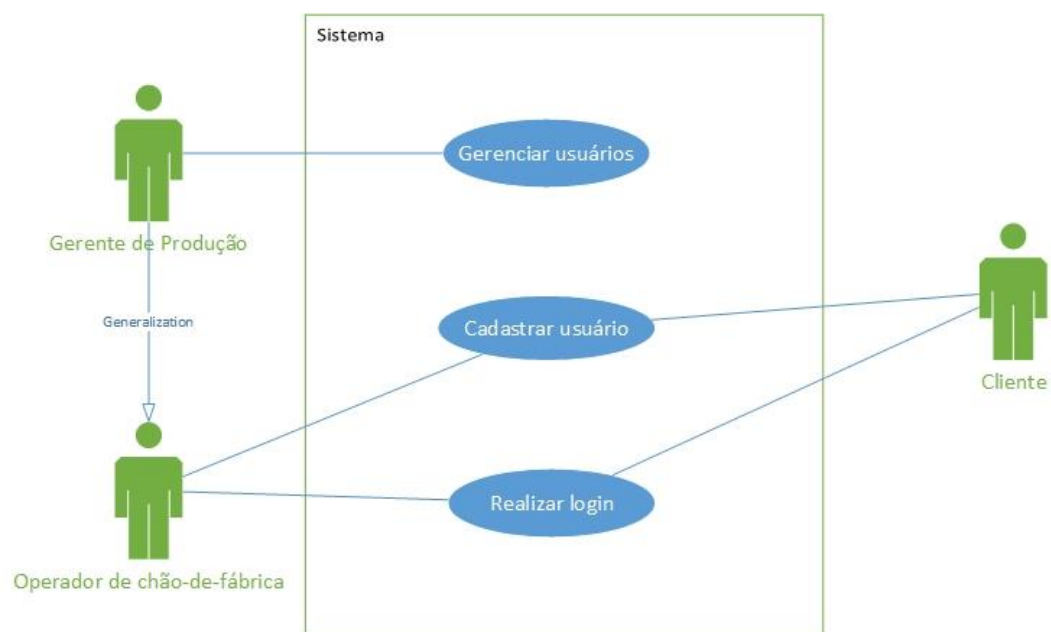


Figura 3 - Diagrama de Casos de Uso – Gerenciamento de usuários

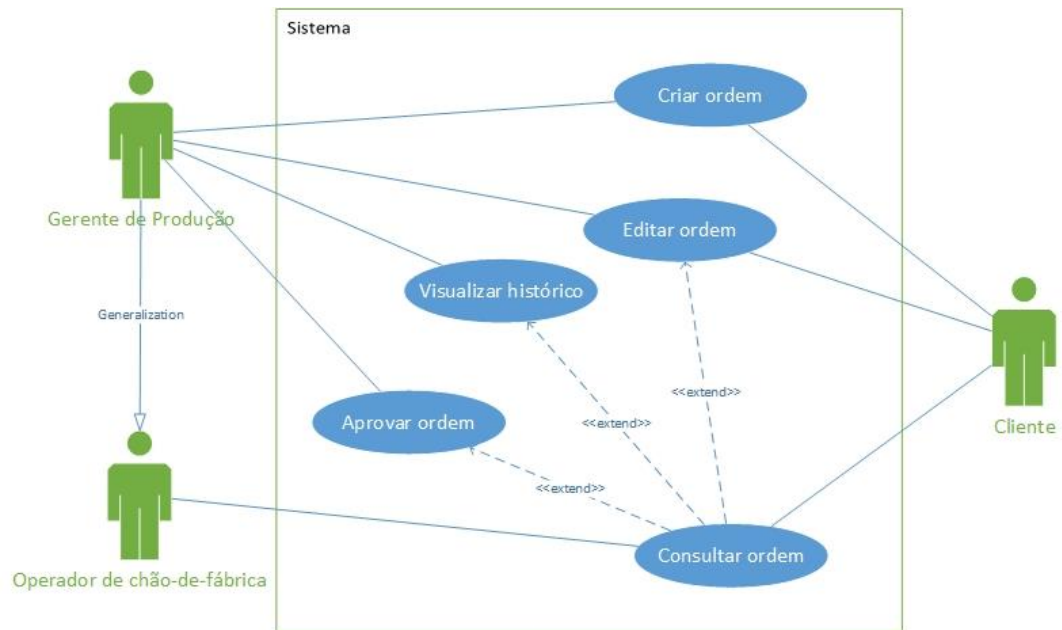


Figura 4 - Diagrama de Casos de Uso – Gerenciamento de ordens

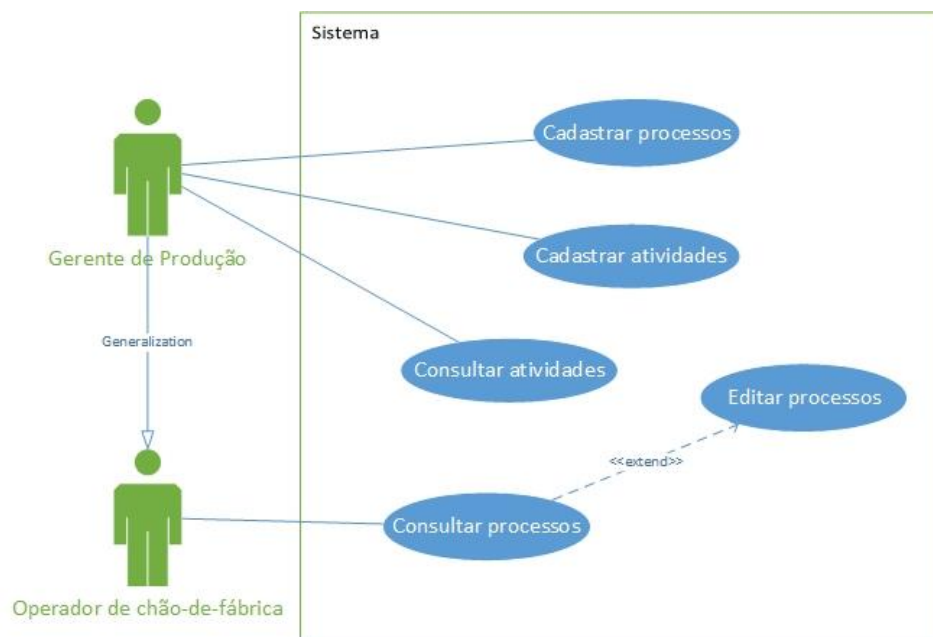


Figura 5 - Diagrama de Casos de Uso – Gerenciamento de processos

4.3 BANCO DE DADOS

Dadas os requisitos e Casos de Uso apresentados anteriormente para o sistema, foi desenvolvido um modelo para o banco de dados atender as necessidades da arquitetura. Na Figura 6, tem-se o modelo de entidade relacionamento desse banco de dados.

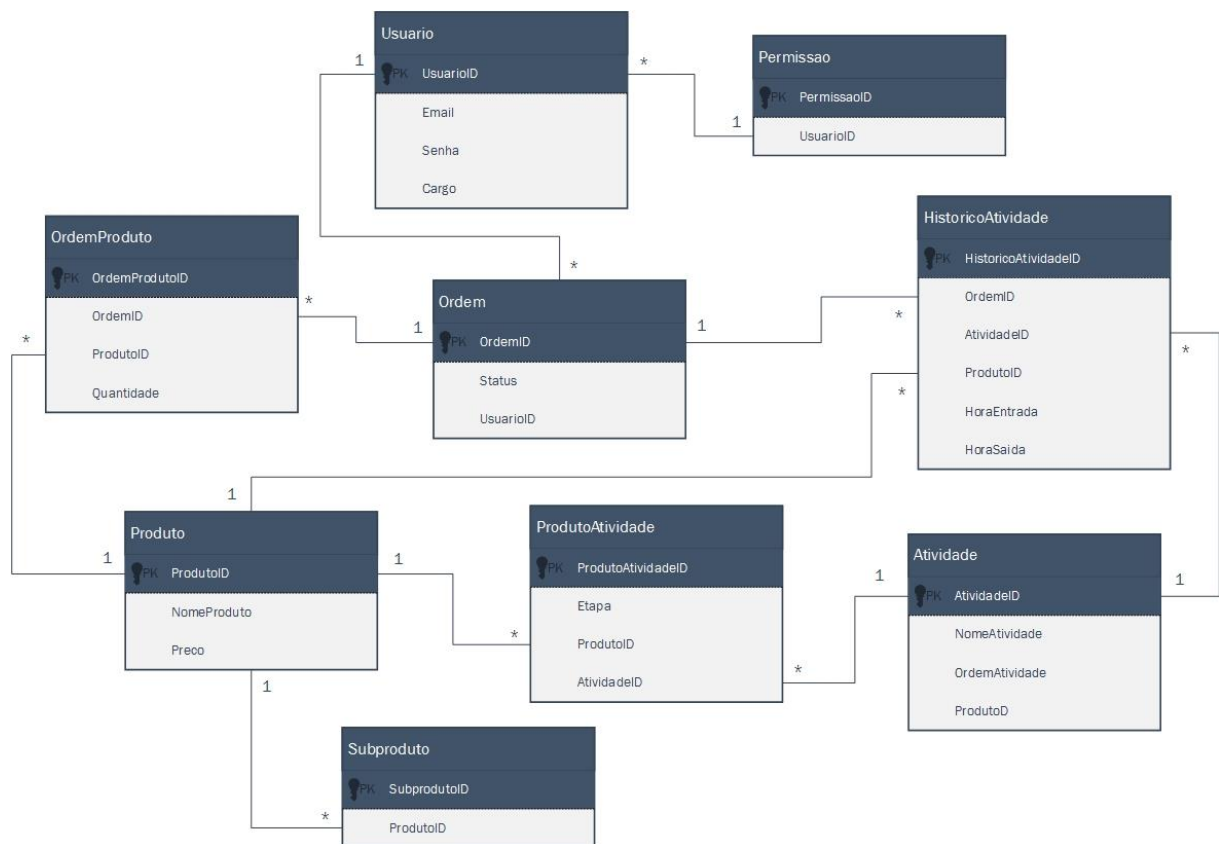


Figura 6 - Modelo entidade relacionamento do banco de dados do projeto

4.4 DIAGRAMAS DE ATIVIDADES

Para mostrar os processos dos casos de usos do sistema, foram construídos diagramas de atividades, descrevendo o fluxo de trabalho por uma série de ações. Cada caso de uso gerou um diagrama de atividades, que estão representados nas próximas figuras. Há também em todos uma mensagem para o ator que o informa em caso de falha em completar o caso de uso. Os

diagramas de atividades estão listados por grupo de casos de uso a que se referem, seja gerenciamento de usuários, gerenciamento de ordens ou gerenciamento de processos e atividades.

Casos de uso de gerenciamento de usuários:

Caso de uso – Realizar login

Esse caso de uso resume-se a iniciar a sessão de um usuário já cadastrado e aprovado no sistema. Para isso, realiza-se uma autenticação por meio de seu e-mail e senha, verificando a conferência dos dados fornecidos na tela de *login*. Em caso de sucesso, a tela inicial é exibida, e em caso de falha, uma mensagem de erro é exibida na própria tela de *login*, não conseguindo o usuário acessar as funcionalidades internas da aplicação. Na Figura 7, o diagrama de atividades desse caso de uso é apresentado.

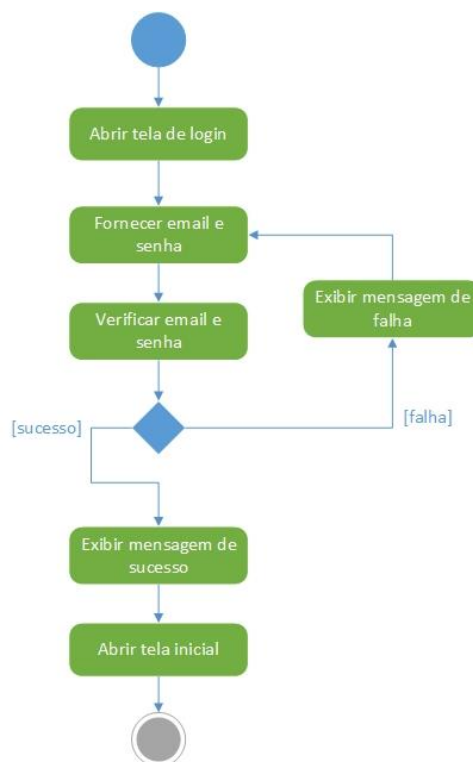


Figura 7 - Diagrama de atividades - Realizar *login*

Caso de uso – Cadastrar usuário

Para conseguir realizar *login* e ter acesso a todas as funcionalidades internas da aplicação, o usuário deve se cadastrar e esperar por sua aprovação. O cadastro é realizado por um formulário na tela de cadastro de usuários, onde deve-se inserir um nome, e-mail e uma senha. Há também um campo para confirmar a senha e o botão de cadastrar não é habilitado caso as senhas fornecidas não sejam equivalentes. Ao final da operação, uma mensagem indica se a operação foi um sucesso ou se falhou, realizando também uma verificação de e-mail já cadastrado no sistema. Em caso de sucesso, o usuário é registrado no banco de dados e precisa esperar para ser aprovado.

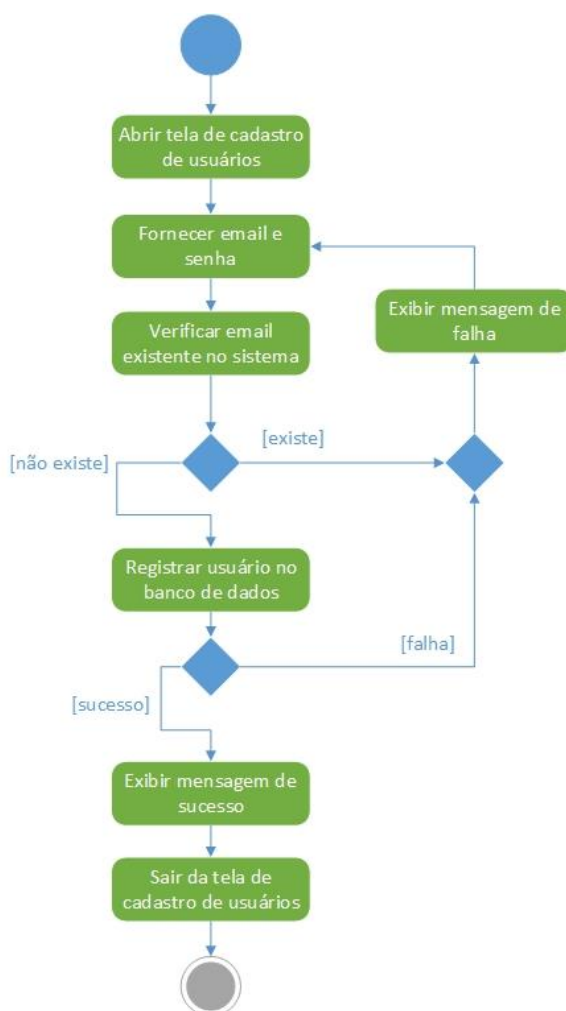


Figura 8 - Diagrama de atividades - Cadastrar usuário

Caso de uso – Gerenciar usuários

O sistema possui três permissões de usuários com acessos diferentes às funcionalidades internas da aplicação. Deixar o usuário escolher a própria permissão no ato do cadastro não é uma maneira segura de realizar esse controle. Portanto, após o cadastro, para conseguir realizar *login* no sistema, algum gerente já cadastrado precisa aprovar o registro do novo usuário selecionando a permissão adequada. O gerente é a permissão máxima do sistema, por isso é o único que pode exercer essa função de administrador e realizar esse caso de uso. O gerente pode escolher uma dentre as três permissões disponíveis para o novo usuário, sendo elas gerente, operador ou cliente. Após realizar essa seleção e salvar a alteração, o novo usuário pode então realizar *login* no sistema.

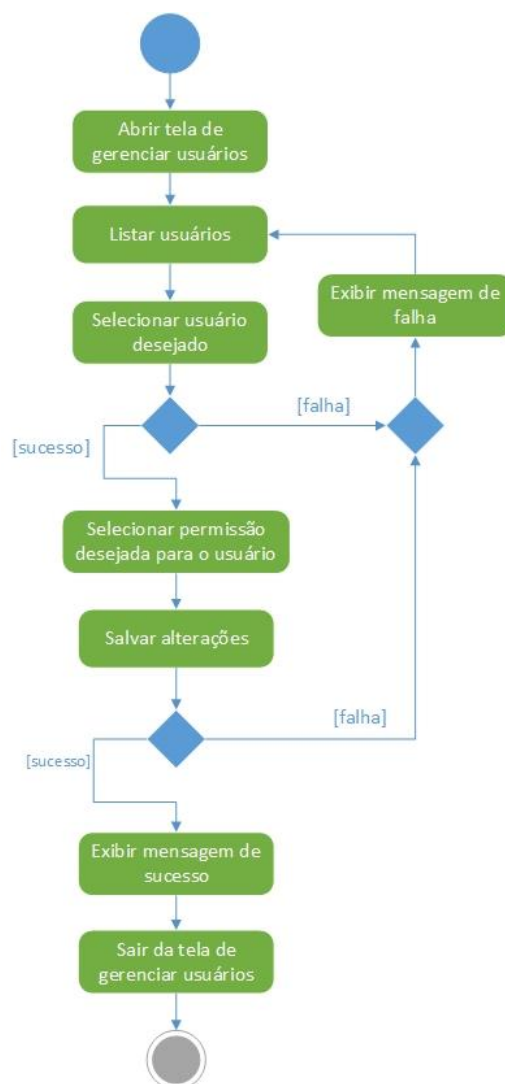


Figura 9 - Diagrama de atividades - Gerenciar usuários

Casos de uso de gerenciamento de ordens:

Caso de uso – Criar ordem

Esse caso de uso é exclusivo para clientes, uma vez que não faz sentido o gerente ou o operador poder criar uma ordem de produção. É dessa maneira que as ordens que serão executadas e rastreadas entram no sistema. Uma ordem é composta de produtos, e para criar, o cliente deve selecionar quais produtos deseja adicionar e em quais quantidades. Ao submeter a ordem, o sistema retorna uma mensagem indicando o status da operação. Nesse momento, a ordem ainda está pendente de aprovação por parte de um gerente, e o cliente pode acompanhar seu status na tela de consultar ordens.

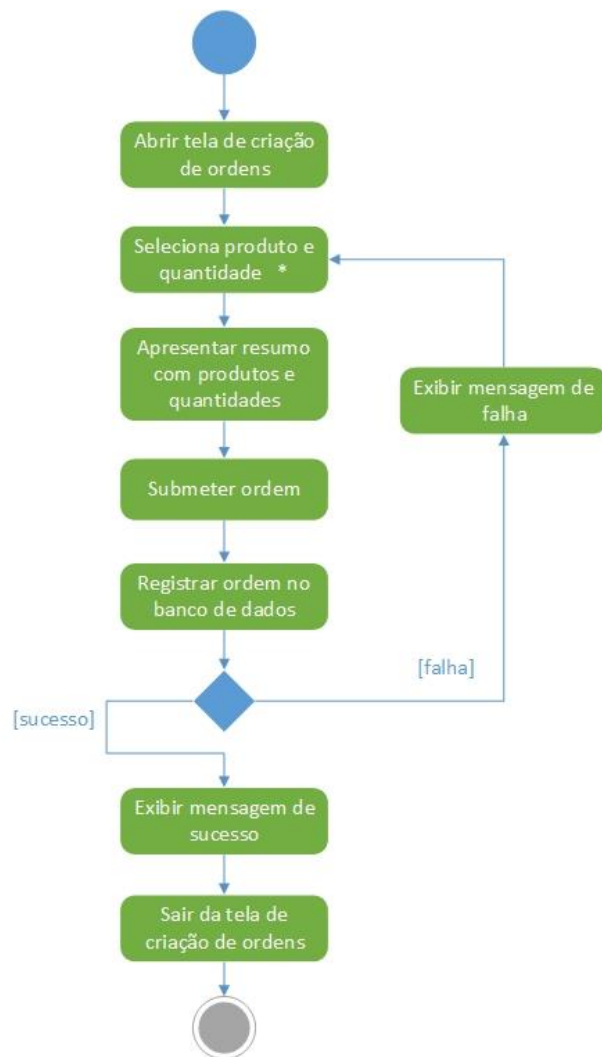


Figura 10 - Diagrama de atividades - Criar ordem

Caso de uso – Consultar ordem

Esse caso de uso consiste em visualizar informações detalhadas sobre uma ordem, selecionando-a e sendo um ponto de partida para outros casos de uso a seguir descritos. A lista de ordens que um usuário pode consultar depende de sua permissão. Um gerente e um operador podem consultar todas as ordens do sistema, uma vez que precisam gerencia-las e executá-las independente de cliente. Já um cliente só pode consultar ordens que foram adicionadas por ele mesmo, não conseguindo visualizar qualquer tipo de informação sobre ordens de outros clientes. A lista de ordens contém informações básicas, como cliente, status e data em que a ordem foi adicionada. Ao selecionar uma ordem, a lista de produtos e quantidades da respectiva ordem é então apresentada.

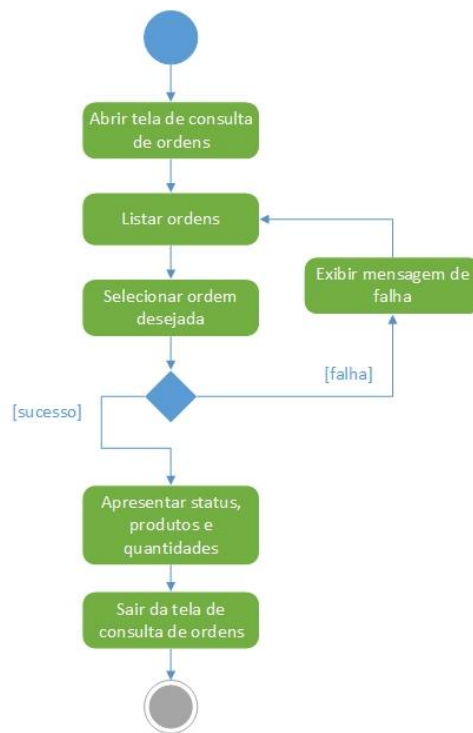


Figura 11 - Diagrama de atividades - Consultar ordem

Caso de uso – Editar ordem

Editar ordem é um caso de uso exclusivo dos clientes, uma vez que são os únicos que podem adicionar ordens. Como editar uma ordem depois que essa já foi aprovada pela gerência pode acarretar problemas no planejamento da produção, a edição só é permitida para ordens que ainda estão pendentes de aprovação. Nesse caso, o cliente que adicionou uma ordem pode remover e adicionar produtos à ordem selecionada. Esse caso de uso é uma extensão de consultar ordem, e é realizado sobre a ordem consultada.

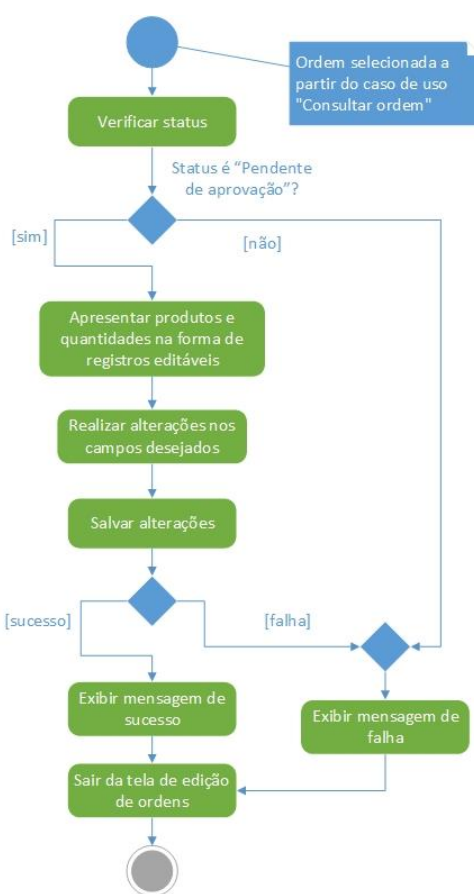


Figura 12 - Diagrama de atividades - Editar ordem

Caso de uso – Aprovar ordem

Para garantir que uma ordem só comece a ser produzida caso esteja alinhada com a gestão de recursos da fábrica, ela precisa ser aprovada por um gerente antes de ser iniciada. Portanto, esse é um caso de uso exclusivo de gerentes, que após selecionar uma ordem podem então analisar o conteúdo da ordem e então aprova-la se assim se desejar. Uma mensagem é mostrada ao final da operação indicando seu sucesso ou falha.

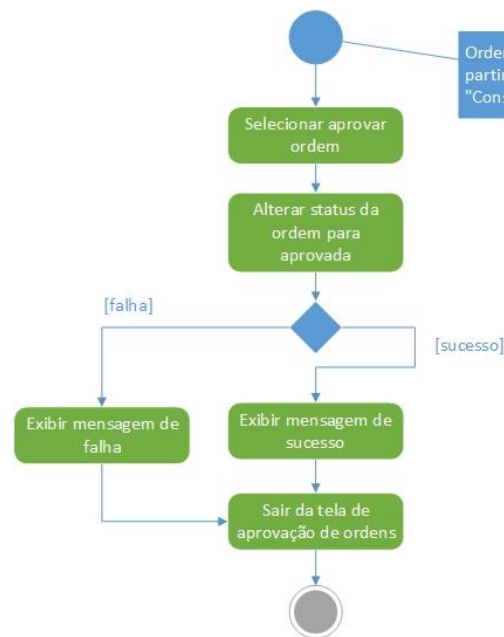


Figura 13 - Diagrama de atividades - Aprovar ordem

Caso de uso – Visualizar histórico

Esse é o caso de uso onde se concentra o objetivo maior do projeto, ou seja, a rastreabilidade de um lote de produção. Ao selecionar uma ordem de produção, caso sua execução já tenha se iniciado ou terminado, um histórico dos lotes é apresentado ao usuário. Esse histórico consiste em mostrar as horas de entrada e de saída de cada atividade por lote de produtos. Assim, pode-se rastrear o processo produtivo do lote, visualizando dados combinados de localização e tempo.

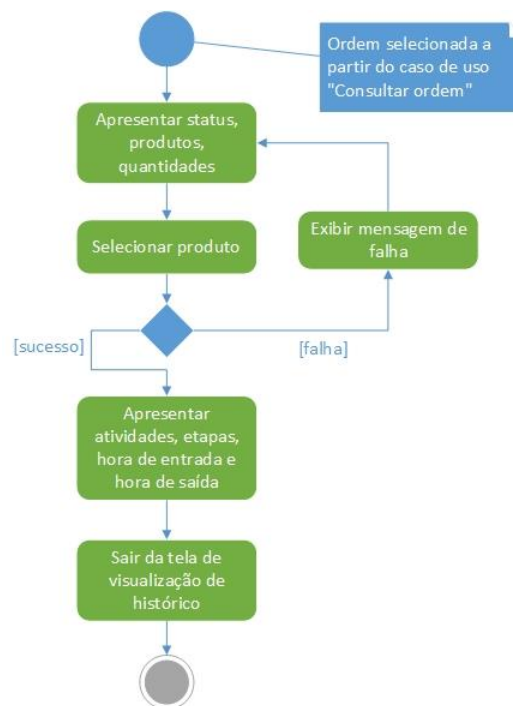


Figura 14 - Diagrama de atividades - Visualizar histórico

Casos de uso de gerenciamento de processos e atividades:

Caso de uso – Consultar processo

Consultar um processo é um caso de uso interno da fábrica (apenas para gerentes e operadores), e tem a função principal de auxiliar os operadores nas execuções das ordens. Um processo é um conjunto ordenado de atividades e subprocessos, e essas informações são exibidas para o respectivo processo ao ser consultado.

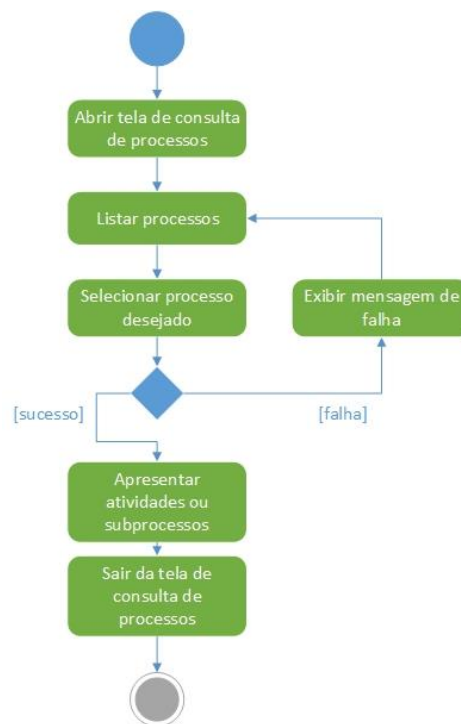


Figura 15 - Diagrama de atividades - Consultar processo

Caso de uso – Editar processo

É um caso de uso exclusivo de gerentes, que após selecionar um processo, possuem a opção de editá-lo. Isso significa remover ou adicionar atividades e subprocessos no processo, e ao concluir a operação, o processo é atualizado no banco de dados, retornando uma mensagem de sucesso ou falha.

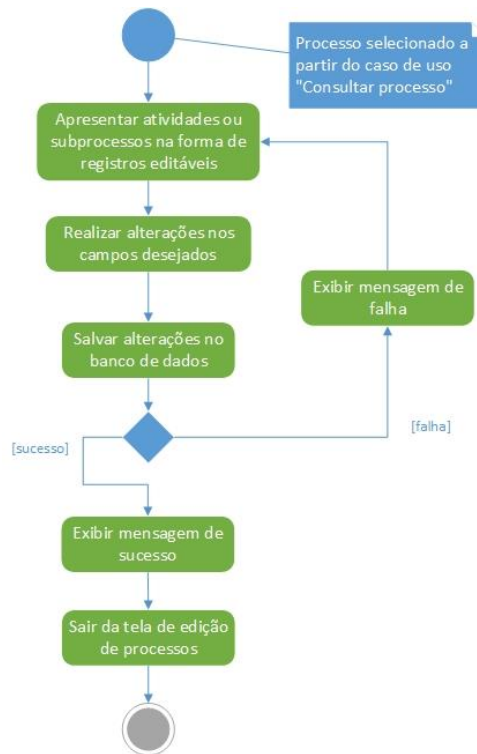


Figura 16 - Diagrama de atividades - Editar processo

Caso de uso – Cadastrar processo

Cadastrar processo também é um caso de uso exclusivo dos gerentes, e consiste em adicionar um novo processo ao sistema, tornando-o disponível tanto para ser utilizado em ordens de produção, quanto para ser referenciado como subprocesso de um outro processo. Há uma verificação para saber se o processo possui subprocessos. Em caso negativo, basta selecionar e adicionar as atividades que o compõem, observando que o processo é um conjunto ordenado, portanto, as atividades devem ser adicionadas de acordo com as etapas necessárias para a confecção do produto. Em caso afirmativo, para adicionar subprocessos, é necessário também indicar a quantidade desejada. Quando o usuário termina de listar os componentes do processo, pode salva-lo no banco de dados, concluindo a operação e recebendo uma mensagem indicativa de seu resultado.

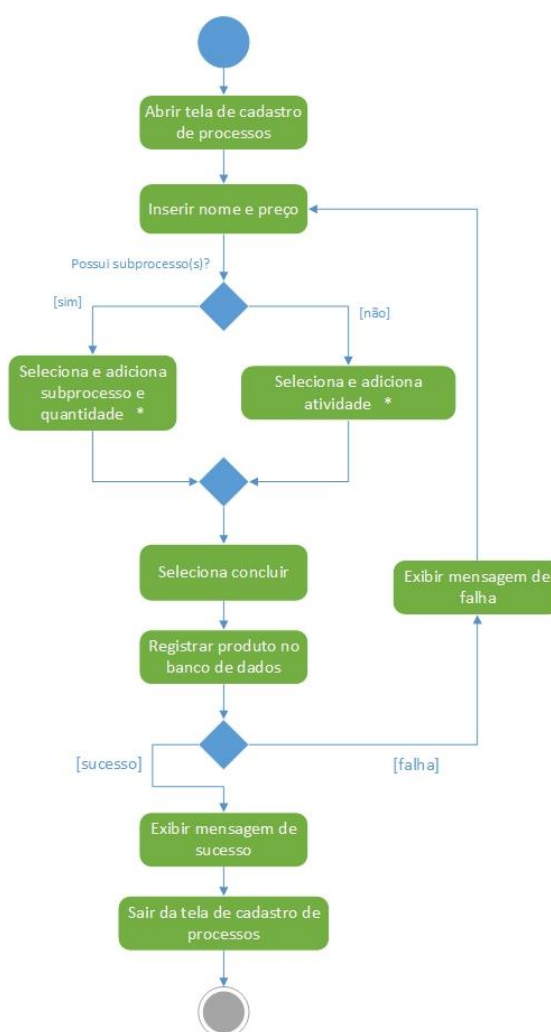


Figura 17 - Diagrama de atividades - Cadastrar processo

Caso de uso – Cadastrar atividade

Para cadastrar uma atividade, é necessário ter a permissão de gerente no sistema. Uma atividade pode ser qualquer tipo de operação que compõe o processo produtivo de um produto, seja uma máquina, uma operação manual ou o transporte de algum material. Dessa maneira, o primeiro passo para o *setup* do sistema é cadastrar as atividades disponíveis que serão utilizadas nos processos e como consequência nas ordens. Basta um gerente fornecer o nome da atividade que deseja cadastrar e então salva-la no banco de dados. Em caso de sucesso dessa operação, a atividade já fica disponível para ser utilizada em processos.

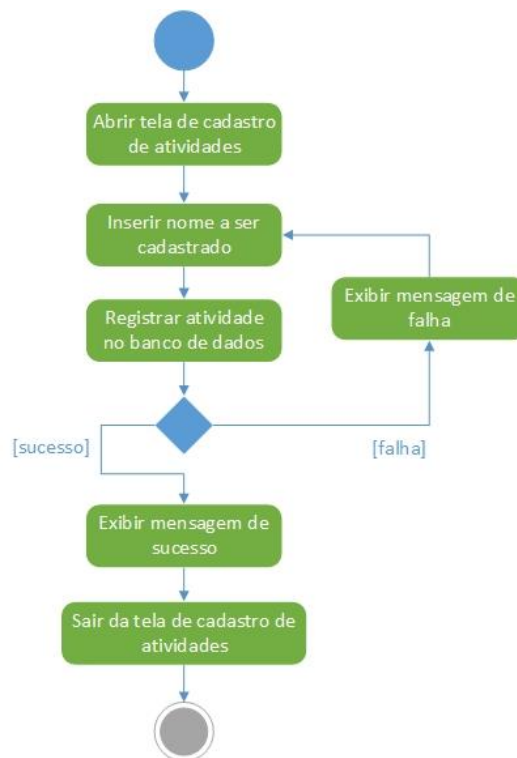


Figura 18 - Diagrama de atividades - Cadastrar atividade

Caso de uso – Consultar atividades

É importante poder consultar as atividades disponíveis, seja para se ter um controle da capacidade produtiva da fábrica ou para poder estruturar um processo com acurácia. Assim, os gerentes podem consultar as atividades cadastradas no sistema listando-as na tela de consultar atividades.



Figura 19 - Diagrama de atividades - Consultar atividades

4.5 DIAGRAMA DE CLASSES

O diagrama de classes descreve os tipos de objetos no sistema e seus relacionamentos. Cada classe é representada por seu nome, atributos e métodos, e em conjunto com as associações, mostra a estrutura utilizada pelo sistema para executar os casos de uso. Na Figura 20, é possível observar o diagrama de classes do sistema.

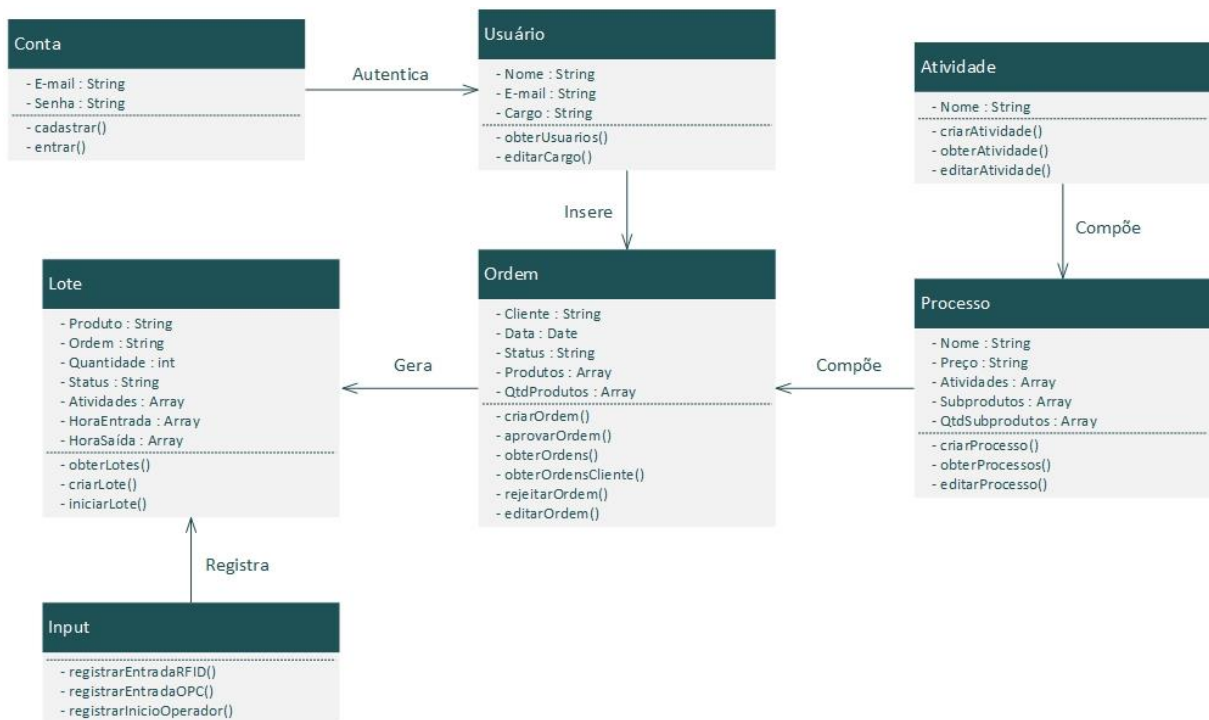


Figura 20 - Diagrama de classes do sistema

4.6 ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do sistema foi concebida visando uma integração efetiva entre diferentes tecnologias, de maneira distribuída e a ser implementada no LSA. O sistema é composto por duas partes, a física e a virtual.

Dentro da parte física, destacam-se o subsistema *Modular Production System* (MPS) e o subsistema RFID. O conjunto de bancadas didáticas montado no laboratório é composto por cinco estações Festo MPS® - *Modular Production System*. Essas estações são compostas por uma planta, um painel de controle, um CLP, um gabinete móvel e um computador *desktop*. Cada bancada possui uma planta que representa em menor escala um processo industrial diferente.

As estações disponíveis no LSA e que são utilizadas no projeto:

- *Distributing*
- *Testing*
- *Processing*
- *Handling*
- *Sorting*

Elas são modulares, sendo possível alterar a quantidade e a disposição das bancadas. Para representar os materiais ao longo de uma cadeia de suprimentos, há peças de trabalho de três tipos: as metálicas, as vermelhas e as pretas. No contexto do trabalho, cada peça representa um lote de produtos diferente a ser rastreado pelo sistema. A operação das plantas pode ser alterada pela programação dos CLPs e os computadores possuem *software* e conexões necessárias para a comunicação com esses controladores.

Para o projeto em questão, a disposição das bancadas *Distributing* e *Sorting* são fixadas como primeira e última, respectivamente, da cadeia de suprimentos da indústria moveleira representada. A primeira possui um *buffer* por onde ocorre a entrada de peças de trabalho, em uma metáfora do estoque da fábrica. A última realiza a separação entre os tipos de peças em três *buffers*, representando o fim da linha de produção e a expedição dos produtos finais. As bancadas intermediárias podem ser trocadas de ordem, assim como há uma flexibilidade entre a ordem das operações de acordo com o produto sendo fabricado nos diferentes setores da indústria moveleira. Cada módulo realiza uma ou mais operações nas peças, podendo ter

diferenciação dessas operações conforme a peça ou não dependendo da bancada. Para a modelagem do projeto, cada módulo será tratado como apenas uma atividade, com o conjunto de atividades em uma determinada ordem sendo considerado um processo.

O subsistema RFID consiste basicamente em leitores e *tags*. São componentes montados em conjunto com as bancadas para explorar a aplicação da identificação por radiofrequência na rastreabilidade das peças de trabalho. Os equipamentos utilizados possuem frequência de transmissão/recepção de 125 kHz e alcance de leitura que varia entre 5 e 8 cm. Os leitores RFID são do tipo *plug and play*, alimentando-se e comunicando via porta USB com os computadores. Há um leitor para cada bancada, posicionados no início da planta, de maneira a identificar a peça no momento de entrada na respectiva atividade, sendo possível a rastreabilidade do processo ao se coletar e integrar os dados de identificação de cada atividade.

As *tags*, também chamadas de *transponders*, são do tipo moeda, com 25 mm de diâmetro. São passivas, isto é, não possuem fonte de energia própria, e realizam a comunicação por meio da energia proveniente do leitor e que é absorvida pela antena e convertida em uma onda de radiofrequência. Essa escolha por *tags* passivas se justifica pelo custo baixo e disponibilidade maior, com a desvantagem do baixo alcance de leitura não sendo um obstáculo para a aplicação. Uma restrição importante do projeto é a do formato, pois as peças de trabalho das bancadas são cilindros com 40 mm de diâmetro e a seu movimento não pode ser atrapalhado por objetos acoplados, o que prejudicaria a dinâmica do processo. Esse seria o caso dos cartões ou chaves, formatos muito populares de *tags* RFID. Portanto, foi escolhido o formato de moeda, com um diâmetro não maior que o diâmetro das peças e com uma espessura que pode ser desconsiderada, de maneira que cada peça de trabalho possui um *tag* acoplado.

A arquitetura da parte virtual do sistema foi projetada baseada em características da Indústria 4.0, como a conectividade, mobilidade e flexibilidade. A conectividade se dá de maneira que diferentes níveis de tecnologias e assuntos possam se integrar, desde a automação de chão de fábrica até sistemas de informação de nível gerencial, passando por áreas de aplicação como a administração da produção. A mobilidade é explorada principalmente pela utilização de computação em nuvem para hospedar o cliente, e a flexibilidade é conseguida com protocolos padrões de comunicação como o OPC, o que possibilita uma arquitetura independente de fornecedor.

Vários subsistemas podem ser citados nessa parte, como o subsistema banco de dados, o subsistema que realiza a lógica de negócios, o subsistema gerenciador de visualização, o

subsistema de aquisição RFID e o subsistema do CLP. Uma visão geral da arquitetura pode ser observada na Figura 21. Um computador se conecta aos leitores RFID e ao servidor OPC, e por meio da internet, se comunica com o servidor remoto onde está hospedada a camada de regras de negócio do sistema. É uma maneira enxuta de realizar essa comunicação, porém a arquitetura é flexível e pode ser implementada com um computador por bancada e leitor RFID. Esse subsistema interage com o gerenciador de banco de dados de maneira a gerenciar registros e realizar consultas nas tabelas do próprio banco de dados. Por fim, o gerenciador de visualização trabalha de maneira a realizar a interface do sistema com os usuários, o que o cliente realmente visualiza da parte virtual projeto.

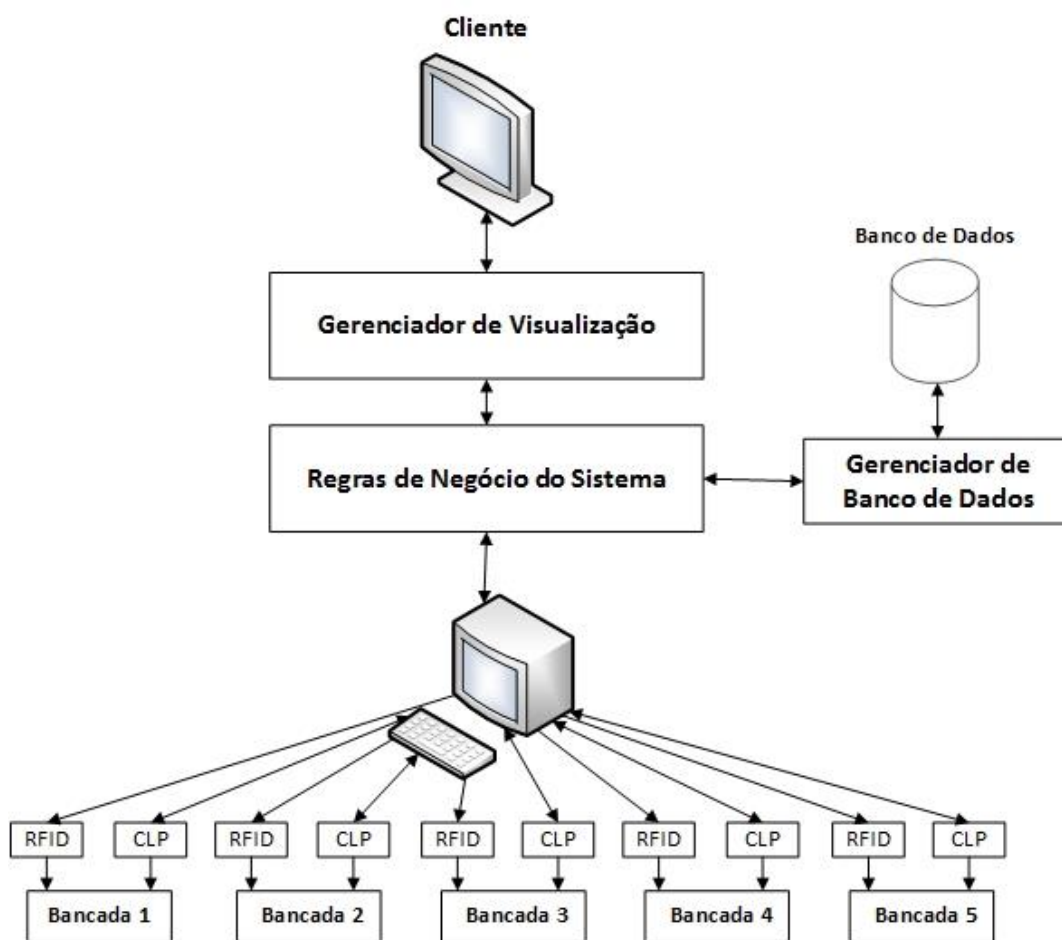


Figura 21 - Visão geral da arquitetura do sistema

O subsistema CLP contém duas vertentes, a programação da planta em si e a comunicação com o computador através do protocolo OPC. A programação da planta é

realizada em linguagem SFC, sendo utilizado o *software* fornecido pela própria fabricante do controlador, o *CodeSys*. O programa é específico de cada bancada e modela um sistema a eventos discretos relacionando entradas e saídas, como sensores e atuadores pneumáticos de maneira a realizar a lógica desejada das operações da planta.

Para o sistema de informações que compõe o projeto, foi escolhida uma arquitetura de *software* MVC. Nessa abordagem, o sistema pode ser dividido em três partes, o *Modelo*, a *Visão*, e o *Controlador*. É uma maneira estruturada de mapear um sistema com entradas e saída, em que algum agente, geralmente um usuário ou outra aplicação, interage com o sistema através de entradas, estas são processadas de acordo com a lógica de negócios e as saídas são apresentadas. Em um sistema de informação, a visão exibe a interface e o controlador gerencia requisições, acessando o modelo para controlar informações. Na Figura 22, é possível observar um esquema de um sistema de informações com arquitetura MVC.

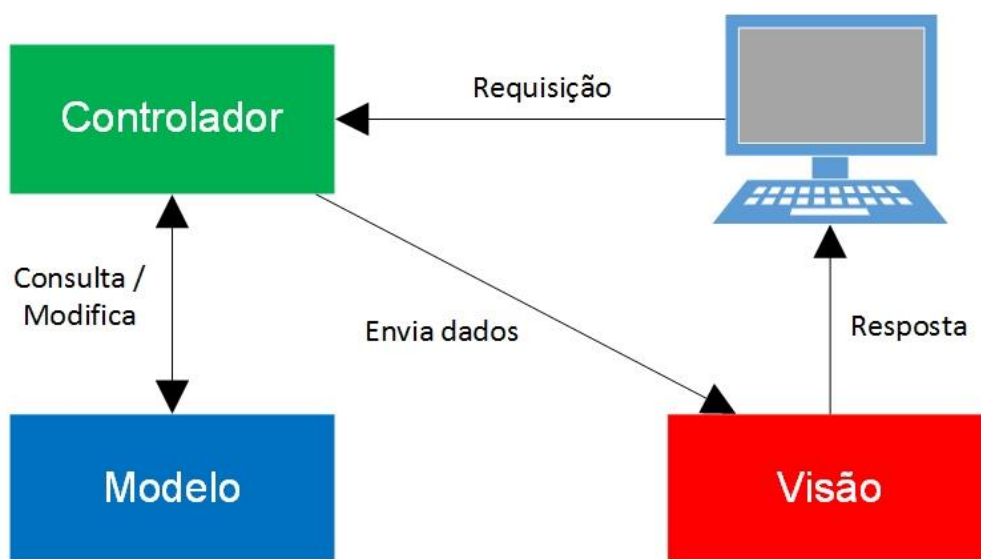


Figura 22- Representação esquemática de arquitetura MVC

O banco de dados constitui um modelo do sistema real, onde as entidades e relacionamentos são representações do próprio arranjo do sistema produtivo da indústria moveleira. Dessa forma o *Modelo* da arquitetura é constituído basicamente pelo gerenciador de banco de dados, e para esse trabalho o sistema de banco de dados orientado a documentos e de código aberto *MongoDB* foi utilizado.

Para o processamento do modelo e lógica de negócios do sistema há um controlador da aplicação no servidor. Esse controle é modularizado para cada classe do *software*, expondo suas funcionalidades e interfaces para os outros módulos, em uma abordagem de arquitetura orientada a serviços. Dessa maneira, os serviços (funções do sistema) são disponibilizados para as outras classes, com os devidos controles de escopo e permissões, o que torna seu gerenciamento muito mais flexível para alterações e até eventuais conexões com outros sistemas, como por exemplo um ERP já existente na fábrica.

A tecnologia utilizada para formar o *Controlador* da arquitetura MVC é o *Node.js*, um interpretador de *JavaScript* no servidor. Para se comunicar com o cliente, o controlador utiliza o protocolo HTTP, que forma a base de comunicação de dados na web. As requisições HTTP recebidas do cliente são tratadas por *Express*, um *framework* popular de *Node.js*. Além disso, o controlador estabelece as comunicações com os módulos RFID e OPC.

A arquitetura MVC se completa com a parte da *Visão*, onde ocorre a interação com o usuário. Nesse trabalho a visão se constitui basicamente de páginas web, implementadas em HTML. Os dados consultados no modelo e tratados no controlador são apresentados nessa camada ao usuário, que pode também interagir com a aplicação através de formulários e botões. Essas interações são expressadas na forma de requisições e respostas HTTP com o servidor. O cliente envia uma requisição ao controlador, por exemplo de consulta ou alteração, e o servidor responde através da camada de visão com os dados atualizados. Na visão, o tratamento dessas requisições e respostas HTTP é realizado por *AngularJS*, um *framework* de *JavaScript* que interage diretamente com o HTML.

Projetando o sistema em uma arquitetura MVC e o modularizando em classes, ou seja, em componentes do sistema que representação a realidade do projeto na indústria, o resultado esperado é flexível, escalável e robusto. Isso reflete a orientação a serviços que norteou o projeto, em que a abstração e o alinhamento com o negócio se traduziram em um sistema de maneira padronizada e de acordo com uma interoperabilidade de plataforma e tecnologia.

5 DESENVOLVIMENTO

Dado o contexto de Indústria 4.0 em que se sustenta o trabalho, alguns dos fatores que nortearam o desenvolvimento foram a mobilidade e a conectividade. Para isso, decidiu-se desenvolver o sistema em duas plataformas: um aplicativo móvel para sistema operacional *Android* e uma plataforma web. As duas plataformas são integradas e se complementam, onde o aplicativo desempenha funções de visualização e acompanhamento, enquanto que a plataforma web se encarrega do gerenciamento do sistema, como cadastros e edições. Alguns exemplos de vantagens dessa abordagem podem ser citados: cada operador que inicia a produção de um lote não precisa da disponibilidade de um computador, mas apenas um *smartphone*; o acesso móvel do gerente à função de aprovar ordens pode reduzir o *lead time* de uma ordem de produção; a consulta de informações pode ser realizada remotamente.

Uma questão que pode ser levantada como ponto fraco do projeto é a necessidade de conexão à internet para o funcionamento do sistema. Porém, essa decisão foi tomada com base na indústria moveleira utilizada como modelo no Capítulo 3, onde, mesmo se tratando de uma pequena fábrica em uma pequena cidade de interior, há redes *wireless* disponíveis na área da planta industrial e cobertura de redes 3G de dados móveis. Dessa maneira, a necessidade de internet não é considerada um problema para um funcionamento adequado do sistema na realidade estudada.

5.1 INTERFACES DOS USUÁRIOS

O aplicativo e a plataforma web foram desenvolvidos de maneira a atender os requisitos e casos de uso previamente especificados. Para tal, as interfaces buscam uma interação simples e fluida com os usuários, com os devidos controles de acesso sendo executados no servidor da aplicação.

Tela de abertura

Ao iniciar o aplicativo, uma tela inicial é carregada apresentando o logotipo desenvolvido para o projeto, conforme apresentado na Figura 23.

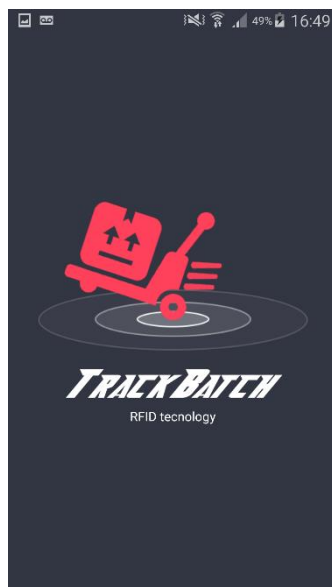


Figura 23 - Tela de abertura do aplicativo

Tela de login

Para entrar na plataforma, uma tela de *login* é apresentada ao usuário, onde há campos para se preencher o e-mail e a senha. O *login* só é possível caso o usuário já esteja cadastrado no sistema. Por isso, há também nessa tela um *link* para uma página de cadastro. Nas próximas figuras, são apresentadas respectivamente a tela de *login* do aplicativo e a da plataforma web.

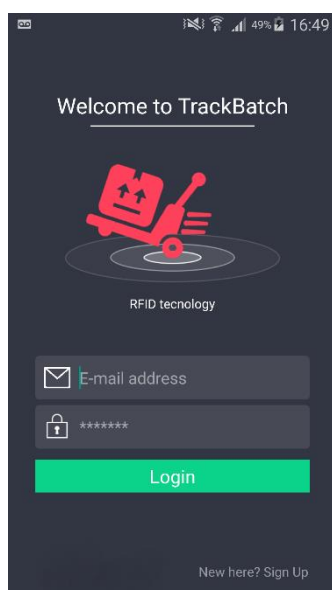
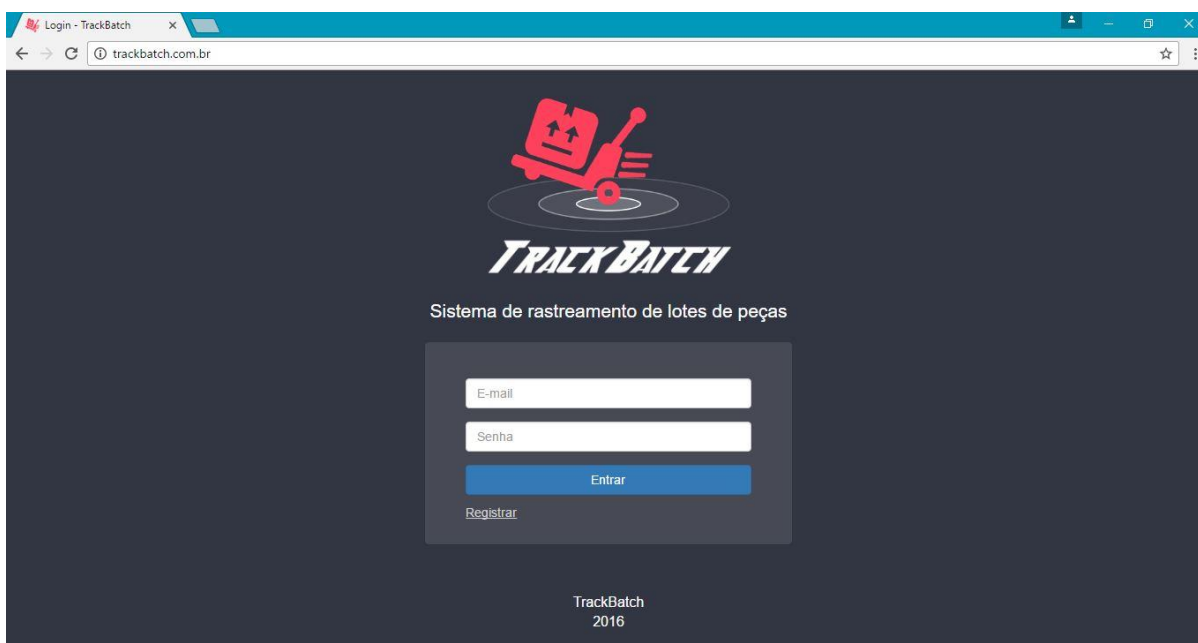
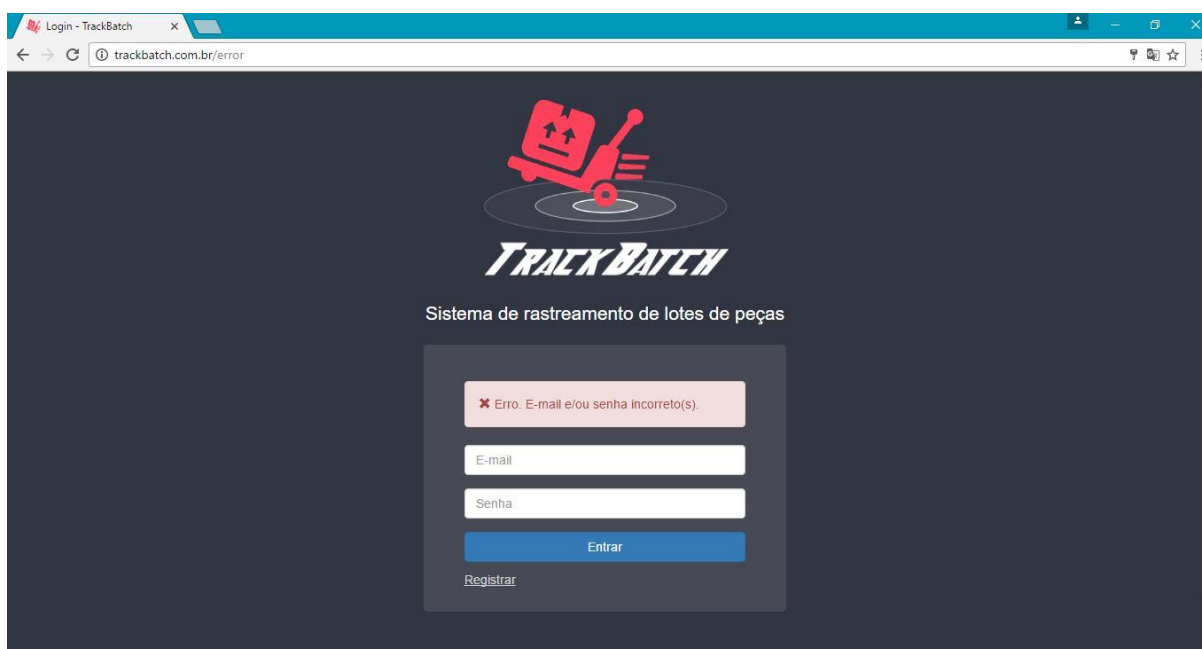


Figura 24 - Tela de *login* do aplicativo

Figura 25 - Tela de *login* webFigura 26 – Tela web para tentativa de *login* com e-mail e/ou senha incorretos

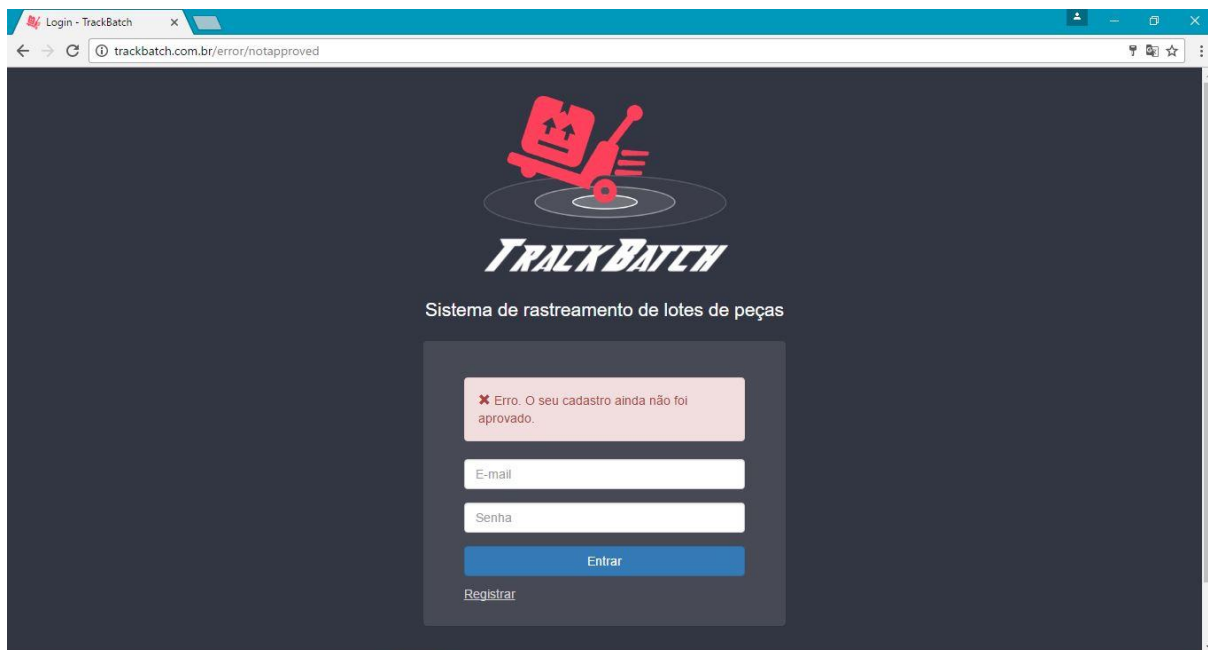
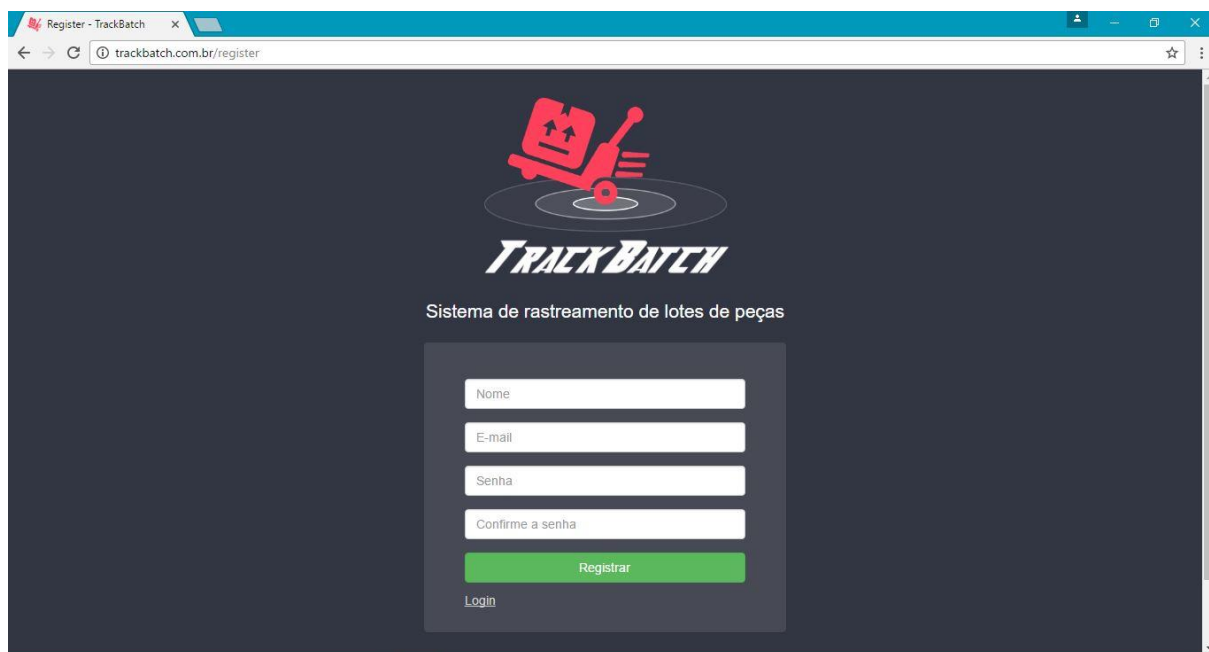


Figura 27 - Tela web mostrada para tentativa de *login* com usuário não aprovado

Tela de cadastrar usuário

Caso o usuário ainda não esteja cadastrado no sistema, ele pode efetuar o próprio registro pela tela de cadastrar usuário, acessada pela tela de *login*. Pelo formulário, ao submeter um e-mail, uma senha e sua confirmação, o sistema irá criar um novo usuário usando o e-mail como identificador. Para que o controle de permissões dentro do sistema seja realizado de maneira mais segura, esse novo usuário não poderá efetuar *login* até que algum gerente já cadastrado o aprove atribuindo sua permissão, que pode ser de gerente, operador ou cliente. Isso evita que usuários novos não obtenham privilégios indevidos dentro do sistema. Essa aprovação de um novo usuário é realizada pelo caso de uso “Gerenciar usuários”. Na Figura 28, a tela de registro é apresentada.



Register - TrackBatch

trackbatch.com.br/register

TRACKBATCH

Sistema de rastreamento de lotes de peças

Nome

E-mail

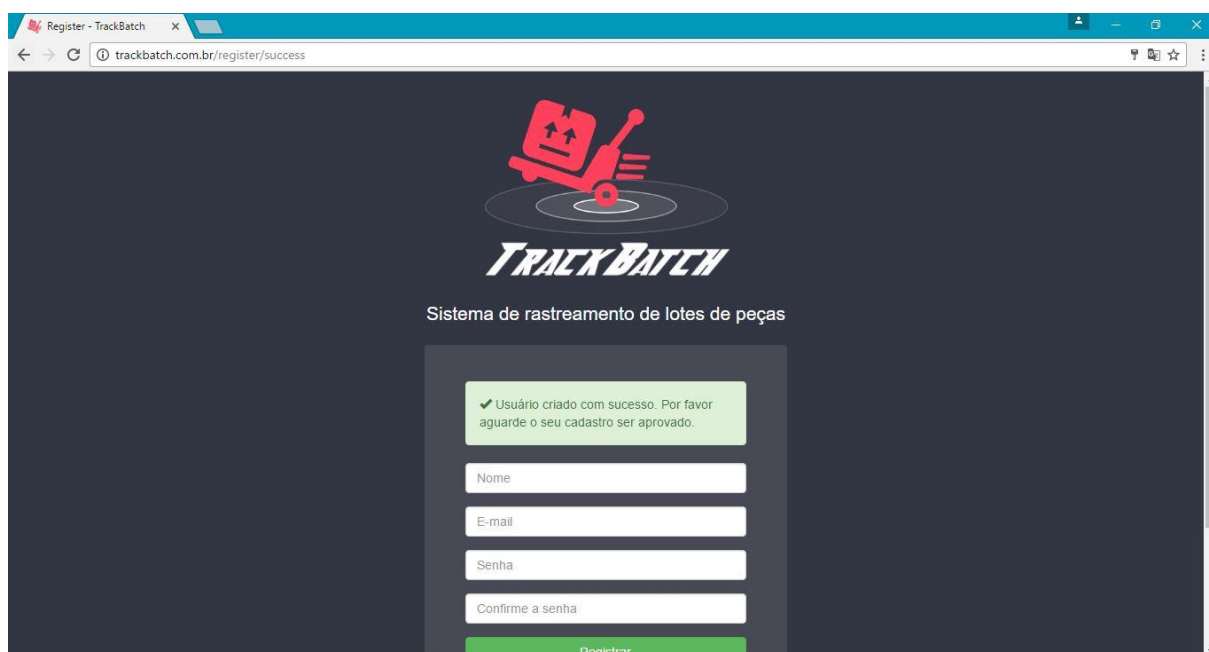
Senha

Confirme a senha

Registrar

[Login](#)

Figura 28 - Tela web de cadastrar usuário



Register - TrackBatch

trackbatch.com.br/register/success

TRACKBATCH

Sistema de rastreamento de lotes de peças

✓ Usuário criado com sucesso. Por favor aguarde o seu cadastro ser aprovado.

Nome

E-mail

Senha

Confirme a senha

Registrar

Figura 29 - Tela web indicando resultado da operação de cadastrar usuário

Tela de gerenciar usuários

Para aprovar um usuário que se cadastra no sistema, um gerente pode acessar a tela de gerenciar usuários por meio da opção “Usuários” no menu superior exibido nas telas internas

da plataforma web. Ao selecionar essa opção, uma lista com todos os usuários cadastrados no sistema irá aparecer, contendo nome, e-mail e a permissão do respectivo usuário. Caso o usuário ainda não tenha sido aprovado, sua permissão será exibida como “Aprovar”, como é possível observar na Figura 30. Clicando em seu nome, uma nova tela se abre, onde é mostrado ao gerente um campo de seleção. Nesse campo o gerente pode selecionar uma entre as três permissões disponíveis no sistema (gerente, operador e cliente). Terminada a escolha e selecionado o botão “Concluir”, o sistema retorna à tela em que os usuários são listados, apresentando na parte superior uma mensagem que indica se a operação obteve êxito ou se falhou. Essas telas são exclusivas da plataforma web.

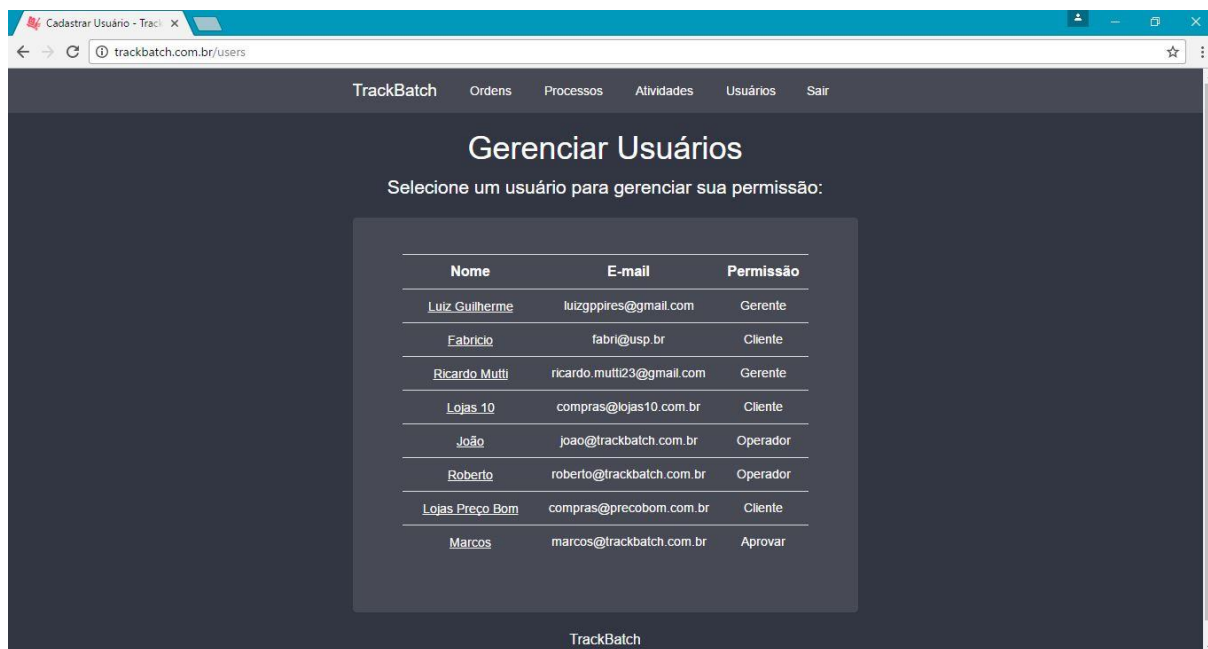


Figura 30 - Tela web listando usuários cadastrados

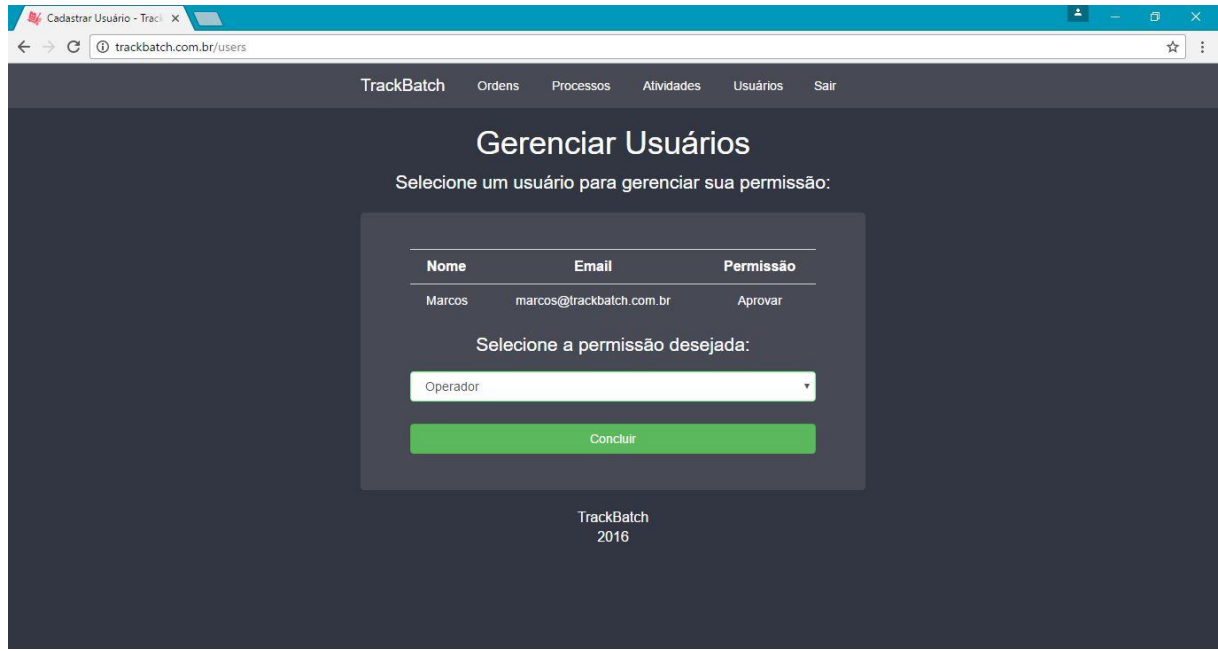


Figura 31 - Tela web de gerenciamento de usuário

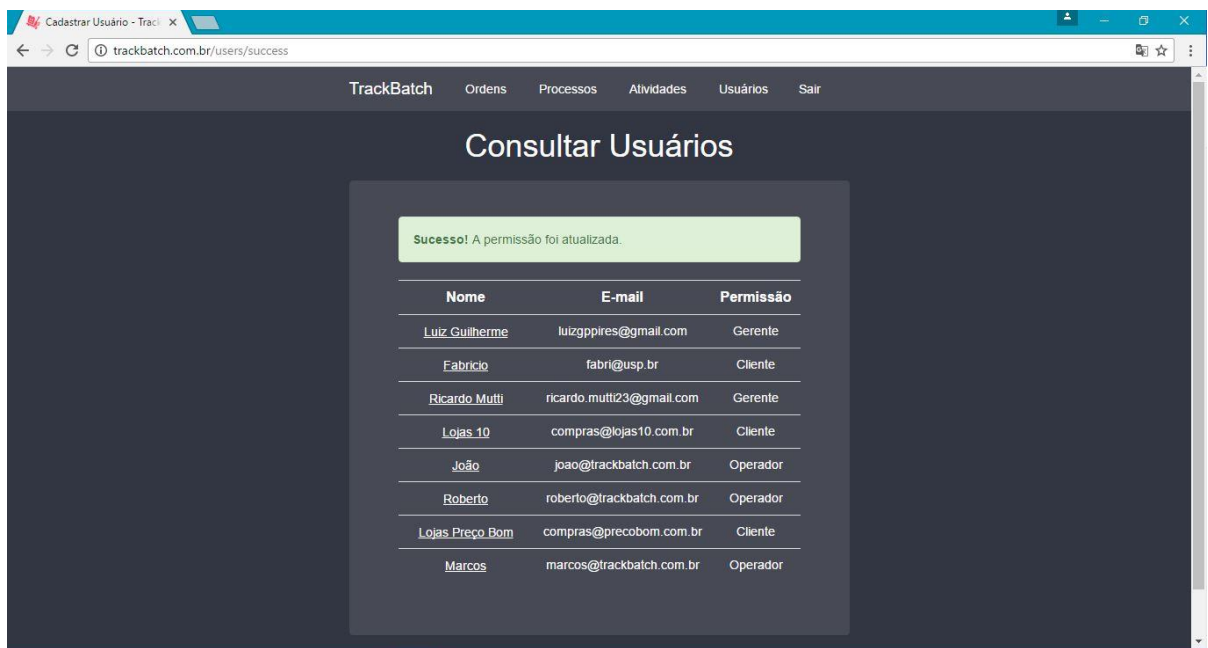


Figura 32 - Tela web indicativa do resultado do gerenciamento de usuário

Tela inicial

Após realizar *login* com sucesso, o usuário é redirecionado para a tela inicial da plataforma web, onde uma saudação é apresentada e as opções de ações são dispostas em um

menu do tipo barra de navegação na parte superior da tela. Para um gerente, todas as opções são mostradas (ordens, processos, atividades, usuários e sair), enquanto que para um operador, as opções de atividades e usuários não são mostradas nesse menu, uma vez que o operador não realiza casos de uso com essas entidades. Já para o cliente, a única interface de contato com o sistema são as ordens, portanto, apenas as opções de ordens e de sair são mostradas no menu superior.

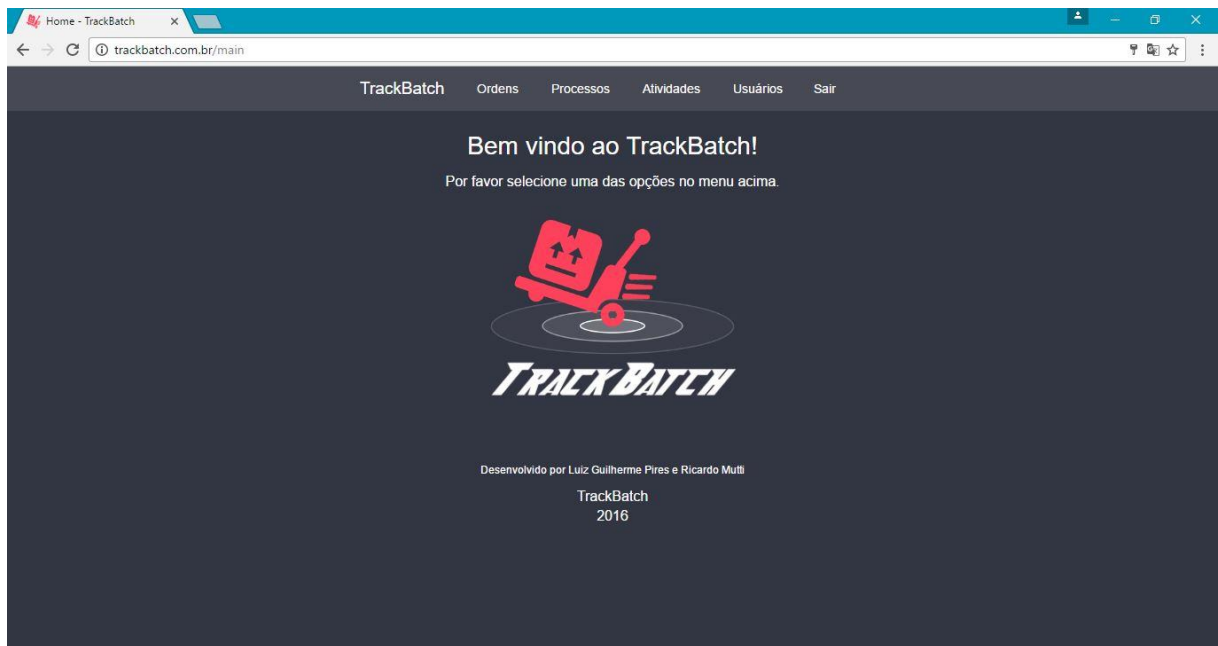


Figura 33 - Tela inicial web



Figura 34 - Tela com informações do aplicativo móvel

Tela de consultar ordens

Os usuários podem consultar ordens no sistema, visualizando os produtos e respectivas quantidades, além do status da ordem. Basicamente, a consulta de uma ordem se dá em duas telas diferentes, na primeira, as ordens disponíveis para serem consultadas são listadas e na segunda, as informações específicas da ordem selecionada são mostradas. Para selecionar uma ordem, basta clicar sobre o nome do cliente da ordem que se deseja consultar. Para gerentes e operadores, todas as ordens cadastradas no sistema são listadas e podem ser consultadas, enquanto que para os clientes, apenas as suas próprias ordens são listas. Os botões que aparecem ao consultar uma ordem também são diferentes para os três níveis de permissões do sistema. Para um gerente, além de botão para voltar para a lista de ordens, há também um botão para aprovar a ordem, caso essa ainda não tenha sido aprovada. Para um cliente, o botão exclusivo que aparece é o de editar ordem, caso essa também não tenha sido aprovada ainda. E para o operador, como não pode realizar nenhum outro caso de uso que estende consultar ordem, nenhum outro botão é mostrado além do botão para voltar.

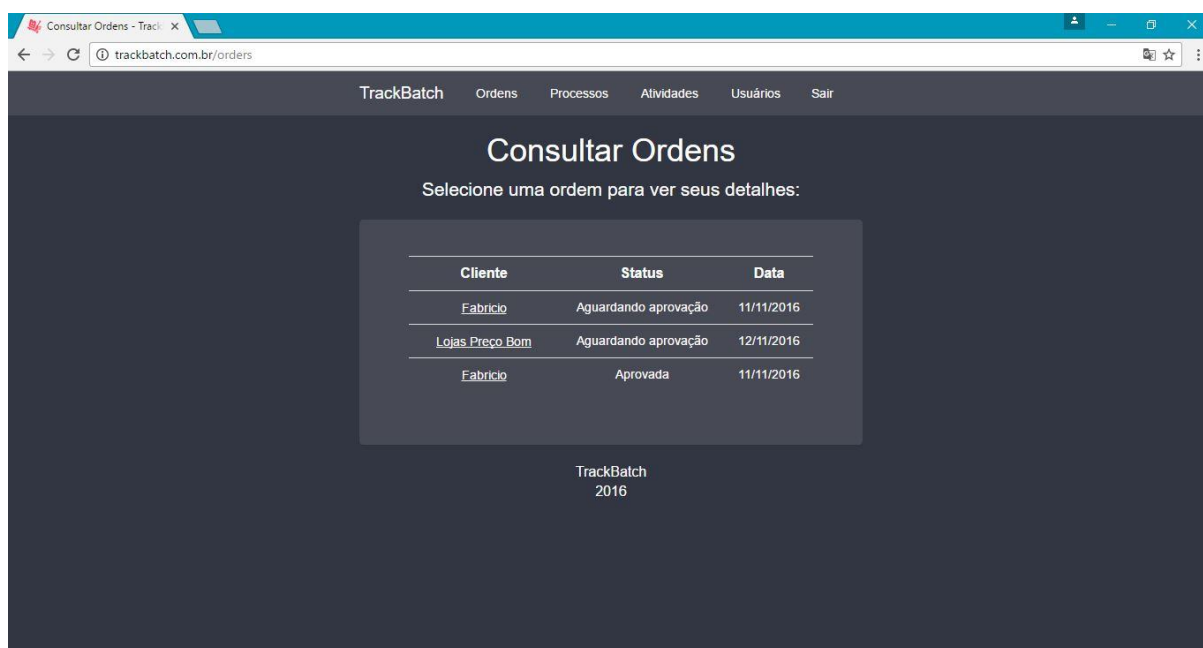


Figura 35 - Tela web listando ordens

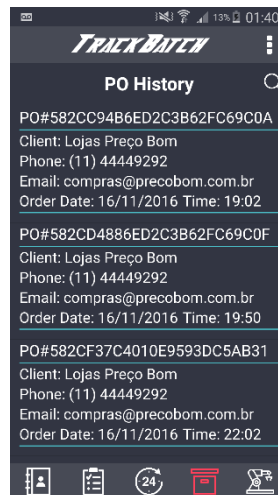


Figura 36 - Tela do aplicativo móvel listando as ordens

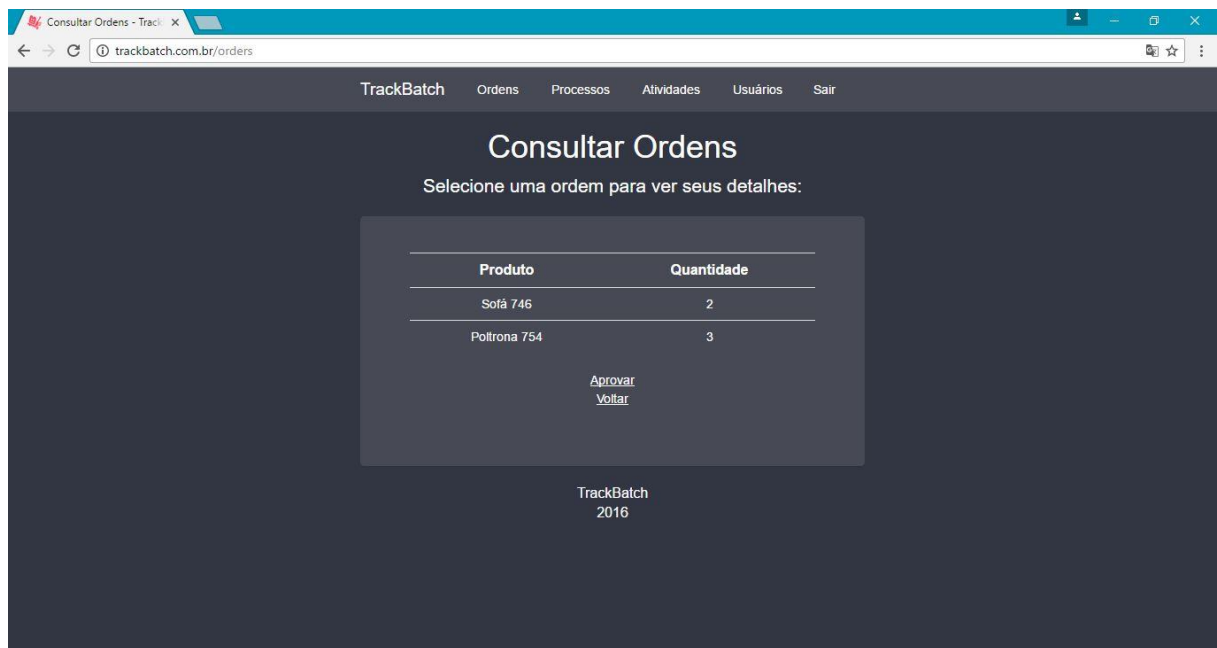


Figura 37 - Tela web de consultar/aprovar ordem

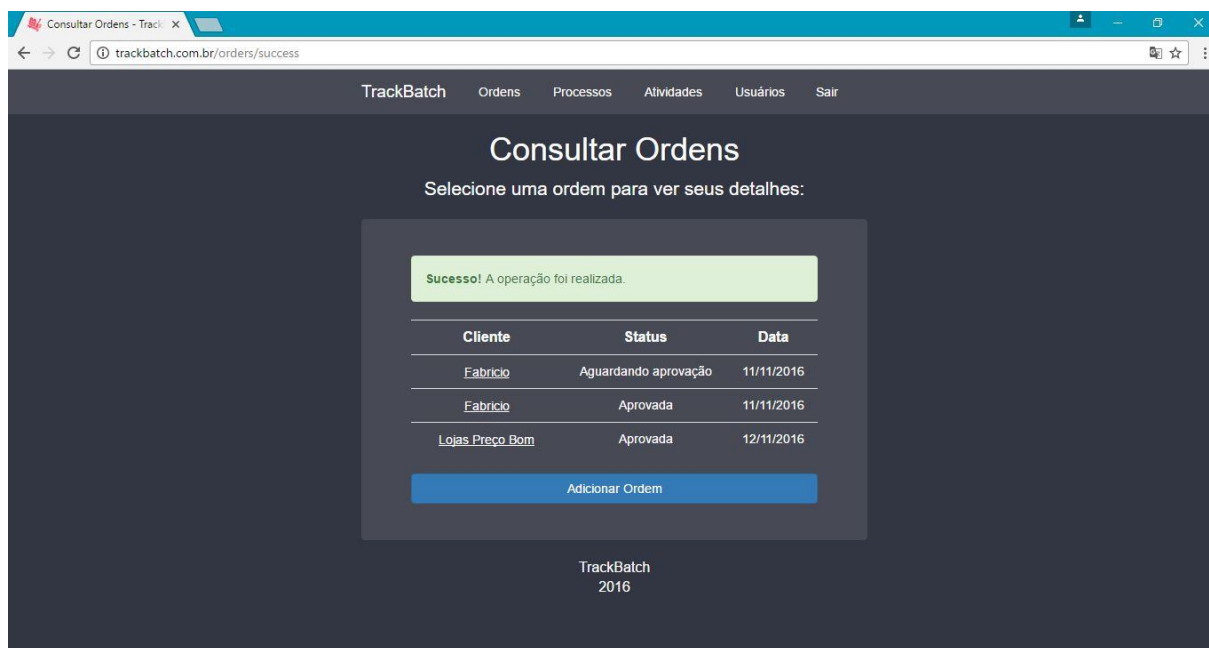


Figura 38 - Tela web indicando resultado de aprovação de ordem

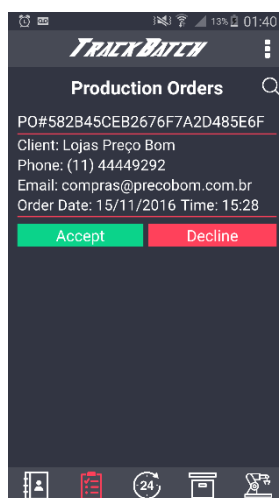


Figura 39 - Tela de aprovar ordens do aplicativo móvel

Tela de editar ordem

Essa é uma tela exclusiva para clientes, onde determinado cliente pode editar uma ordem adicionada por ele mesmo, caso essa ainda não tenha sido aprovada por um gerente. Portanto, se um cliente entrar na tela de editar uma ordem pendente de aprovação após consultá-la, poderá alterar os produtos e respectivas quantidades da ordem em questão. Uma tabela é mostrada com o estado atual da ordem, listando produtos e quantidades acompanhados por um botão de

remover, se assim desejar o cliente. Além de excluir produtos, o cliente pode ainda adicioná-los, por meio de uma entrada de dados semelhante ao encontrado na tela de adicionar ordem. Ao clicar em “Concluir”, as alterações são salvas no banco de dados do sistema e o cliente é redirecionado para a página de consultar ordem com uma mensagem indicando o sucesso ou falha da operação.

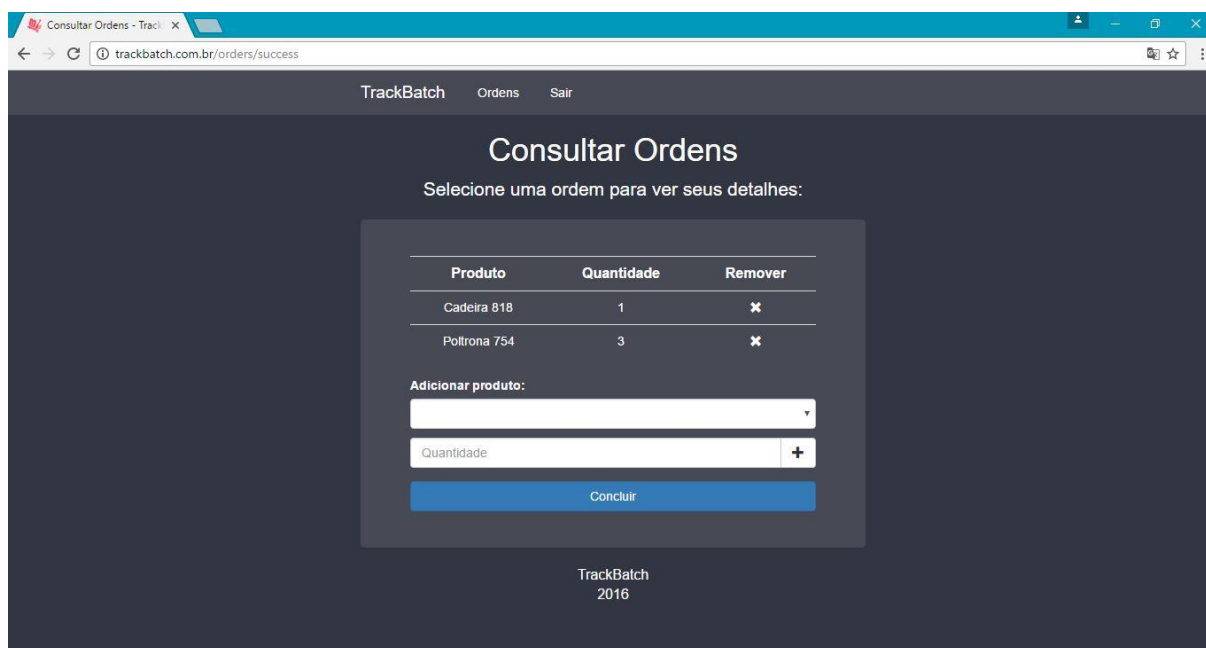


Figura 40 - Tela web de editar ordem

Tela de criar ordem

As ordens de produção podem ser criadas pelo aplicativo diretamente pelo cliente ou pelo gerente de produção, caso este receba o pedido por outros meios. O usuário seleciona o produto por uma lista que se abre no campo de produto e digita a quantidade desejada. Ao ser selecionado o botão de adicionar produto, esse item é adicionado à lista, onde um resumo é mostrado na mesma tela. Ao terminar de inserir todos os produtos desejados, o usuário pode enviar a ordem, que será submetida à aprovação do gerente. Na Figura 43, é possível observar o *design* da tela de criar ordem no aplicativo. Processo semelhante é encontrado na tela de criar ordem da plataforma web, mostrada na Figura 41.

Cadastrar Ordens - TrackBatch

trackbatch.com.br/orders/new

TrackBatch Ordens Sair

Adicionar Ordem

Selecionar o produto e sua quantidade:

Poltrona 754

3

Lista de produtos:

Quantidade	Produto
1	Cadeira 818
3	Poltrona 754

Submeter ordem

TrackBatch
2016

Figura 41 - Tela web de adicionar ordem

Consultar Ordens - TrackBatch

trackbatch.com.br/orders/success

TrackBatch Ordens Sair

Consultar Ordens

Selecionar uma ordem para ver seus detalhes:

Sucesso! A operação foi realizada.

Cliente	Status	Data
Lojas Preço Bom	Aprovada	12/11/2016
Lojas Preço Bom	Aguardando aprovação	15/11/2016

Adicionar Ordem

TrackBatch
2016

Figura 42 - Tela web indicando resultado da operação de adicionar ordem

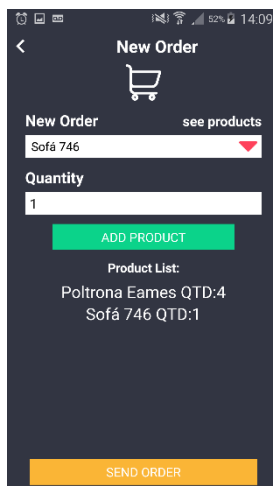


Figura 43 - Tela de criar ordem no aplicativo móvel

Tela de consultar atividades

A tela de consultar atividades é exclusiva para gerentes e basicamente lista todas as atividades cadastradas no sistema. É possível também selecionar uma atividade clicando em seu nome, o que leva a uma tela individual da atividade onde o gerente pode editá-la se assim desejar. Para alterar o nome da atividade, basta selecionar o botão “Editar”, inserir o novo nome no campo de entrada que é apresentado e clicar em “Concluir”, o que irá redirecionar o gerente para a tela onde a lista de atividade é mostrada, com uma mensagem indicativa do resultado da operação.



Figura 44 - Tela web listando atividades



Figura 45 - Tela web de consultar atividades

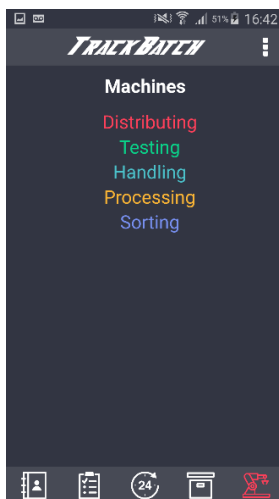


Figura 46 - Tela de consultar atividades no aplicativo

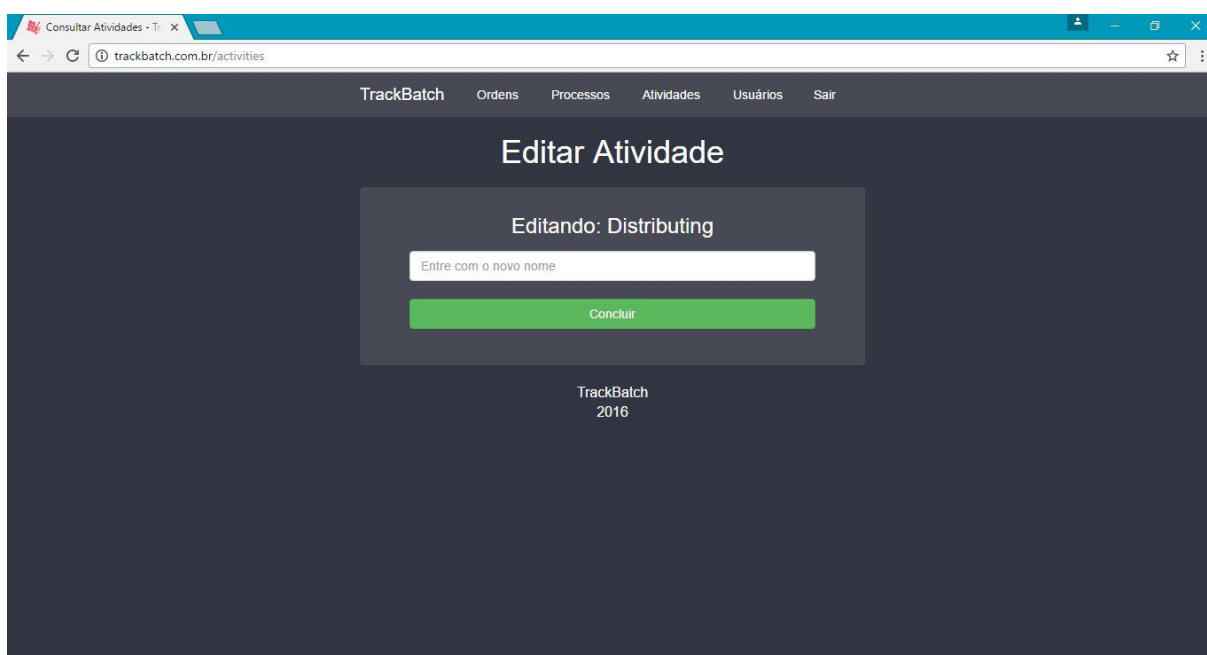


Figura 47 - Tela web de editar atividade

Tela de adicionar atividade

Para acessar a tela de adicionar atividade, basta a um gerente selecionar o botão “Adicionar Atividade”, dentro da tela de consultar atividades. Ele será então redirecionado a uma tela onde há um campo para inserir o nome da atividade a ser cadastrada. Preenchido esse campo e selecionado o botão “Cadastrar”, o gerente é redirecionado para a tela de consultar atividades, onde será exibida uma mensagem indicando se a operação falhou ou obteve êxito.

Seguindo a decisão de que a plataforma web é destinado ao gerenciamento do sistema e o aplicativo móvel para a visualização e acompanhamento, a tela de adicionar atividades é exclusiva da plataforma web e pode ser observada na Figura 48.

The screenshot shows a web browser window with the URL `trackbatch.com.br/activities/new`. The page has a dark blue header with the navigation menu: TrackBatch, Ordens, Processos, and Sair. The main content area is titled 'Cadastrar Atividade' with the instruction 'Por favor preencha os campos abaixo:'. Below this is a form with a label 'Nome da Atividade:' and a text input field containing the placeholder 'Insira o nome aqui'. A blue 'Cadastrar' button is positioned below the input field. At the bottom of the form, the text 'TrackBatch 2016' is displayed.

Figura 48 - Tela web de adicionar atividade

The screenshot shows a web browser window with the URL `trackbatch.com.br/activities/success`. The page has a dark blue header with the navigation menu: TrackBatch, Ordens, Processos, Atividades, Usuários, and Sair. The main content area is titled 'Consultar Atividades'. A green success message box at the top states 'Sucesso! A operação foi realizada.' Below this is a table with the following structure:

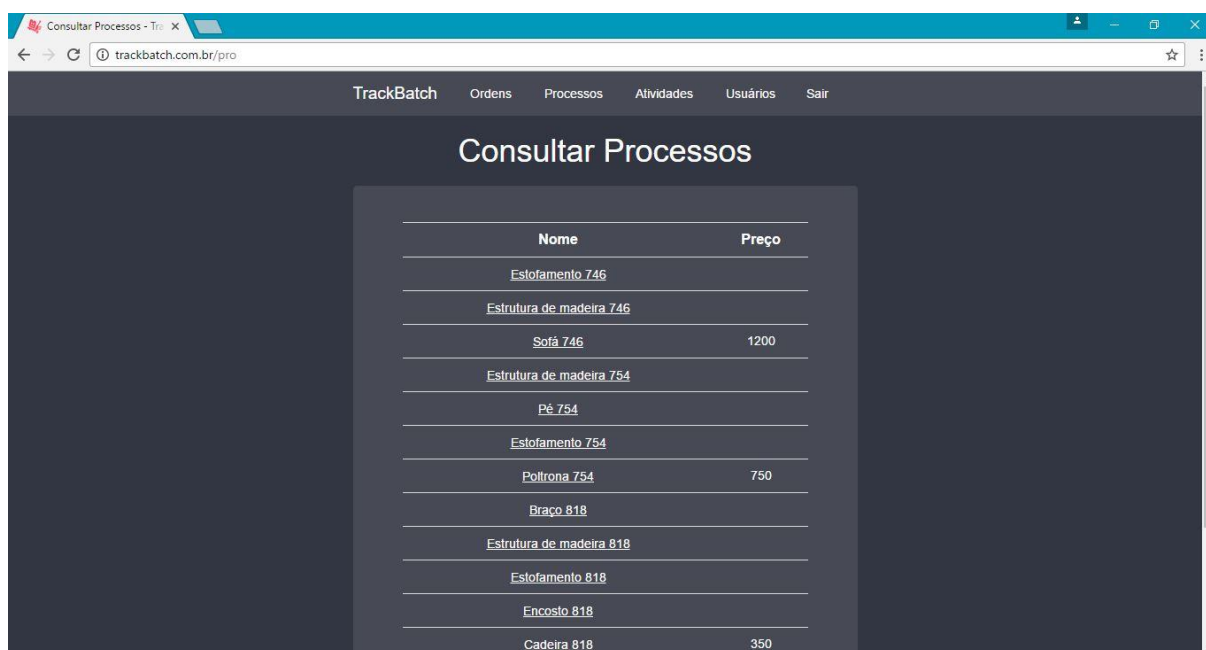
Nome
Distributing
Testing
Handling
Processing
Sorting

Below the table is a blue 'Adicionar Atividade' button. At the bottom of the form, the text 'TrackBatch 2016' is displayed.

Figura 49 - Tela web indicando resultado da operação de adicionar atividade

Tela de consultar processo

Para consultar processos cadastrados no sistema, o usuário com permissão de gerente ou operador pode acessar a tela de consultar processo por meio da opção “Processos” no menu superior das telas internas da plataforma web. É apresentada uma lista com todos os processos cadastrados no sistema, exibindo nome de cada um e preço caso este seja um produto final. Ao clicar no nome do processo que se deseja consultar, uma nova tela é mostrada ao usuário, apresentando os detalhes do processo. Caso o processo seja primário, as atividades são mostradas de acordo com as etapas de realização. Caso contrário, os subprocessos e respectivas quantidades que compõem o processo consultado são apresentados. Logo abaixo da tabela do processo é mostrado também, caso o usuário tenha permissão de gerente, um botão para editar o processo em questão. Nas imagens abaixo, exemplos dessas telas são mostradas.



Nome	Preço
Estofamento 746	
Estrutura de madeira 746	
Sofá 746	1200
Estrutura de madeira 754	
Pé 754	
Estofamento 754	
Poltrona 754	750
Braço 818	
Estrutura de madeira 818	
Estofamento 818	
Encosto 818	
Cadeira 818	350

Figura 50 - Tela web listando processos

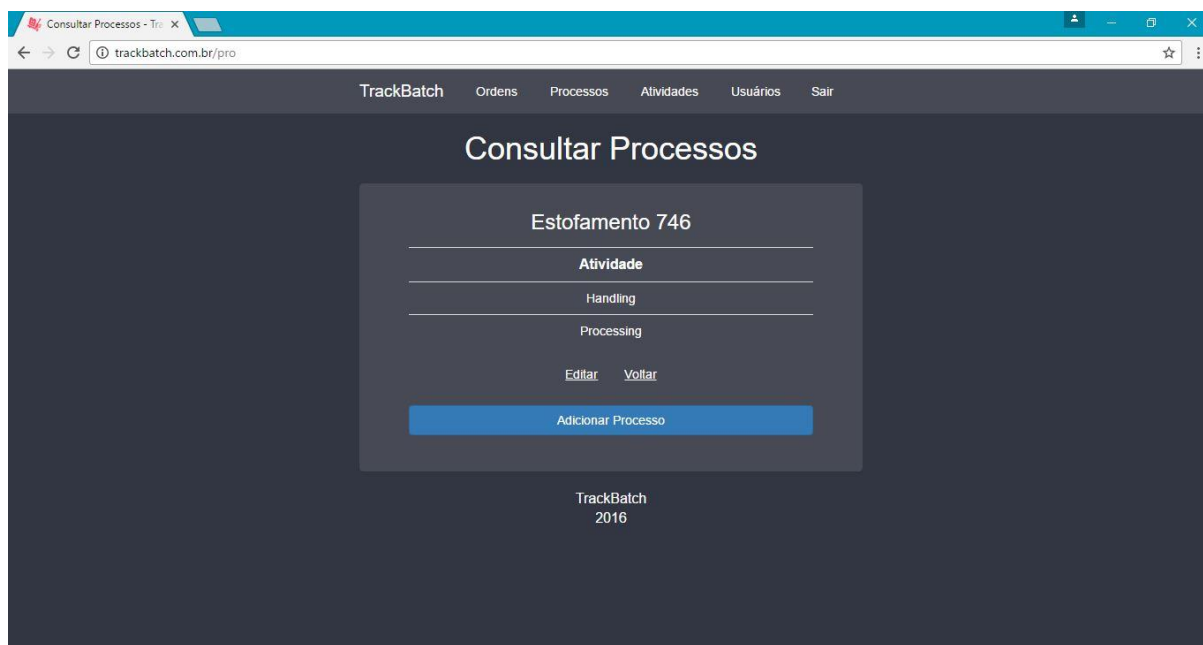


Figura 51 - Tela web de consultar processo primário

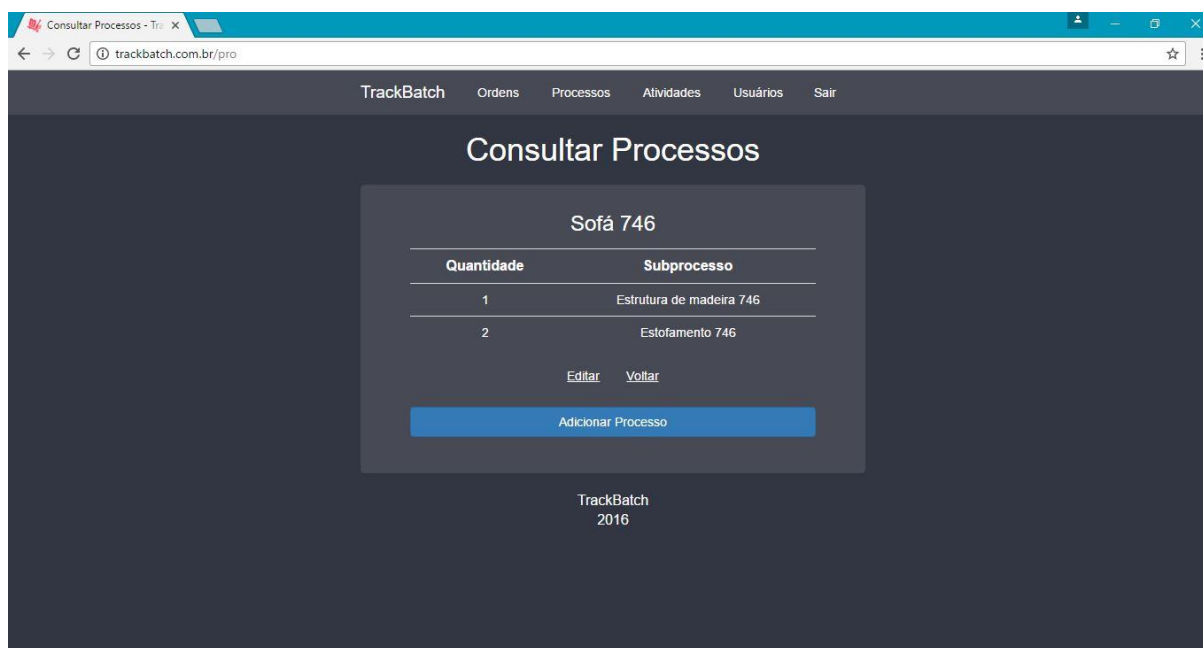


Figura 52 - Tela web de consultar processo com subprocessos



Figura 53 - Tela do aplicativo listando processos



Figura 54 - Tela do aplicativo de consultar processo com subprocessos

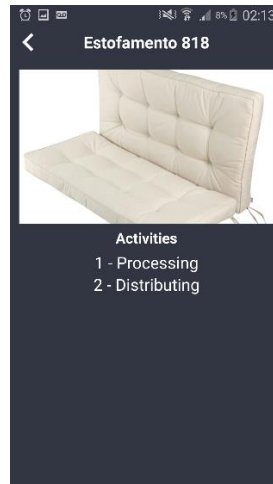


Figura 55 - Tela do aplicativo de consultar processo com atividades

Tela de editar processo

Ao clicar no botão “Editar” após consultar um processo, é exibida uma tela para que o gerente possa modificar a composição de um processo, seja ele final ou primário. A tabela com os detalhes do processo é mostrada com uma coluna a mais, onde há um botão para remover a atividade ou subprocesso respectivo. Além de remover, há um campo de seleção para adicionar componentes no processo. Alterar o preço também possível por meio de um campo de edição localizado na parte inferior da tela. Quando a edição estiver terminada e o processo estiver da maneira que o gerente deseje, a seleção do botão “Concluir” salva as alterações no banco de dados do sistema e o usuário é redirecionado para a página de consultar processos, onde uma mensagem de falha ou sucesso indicará o resultado da operação. É possível visualizar esses cenários nas figuras seguintes.

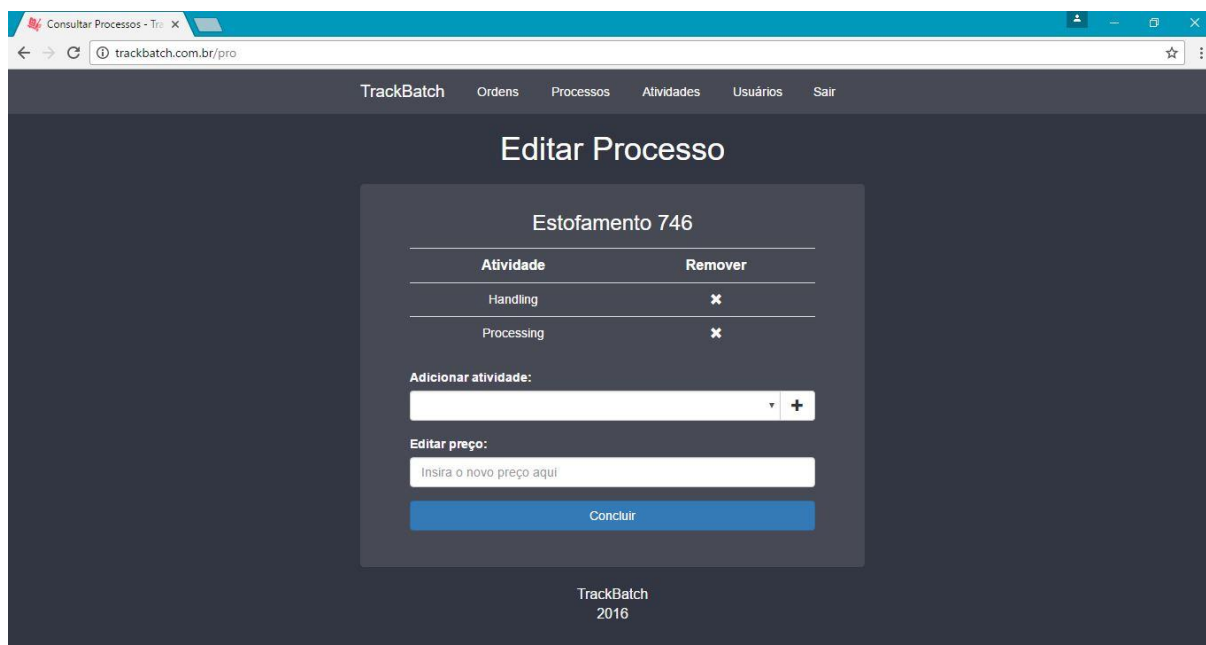


Figura 56 - Tela web de editar processo

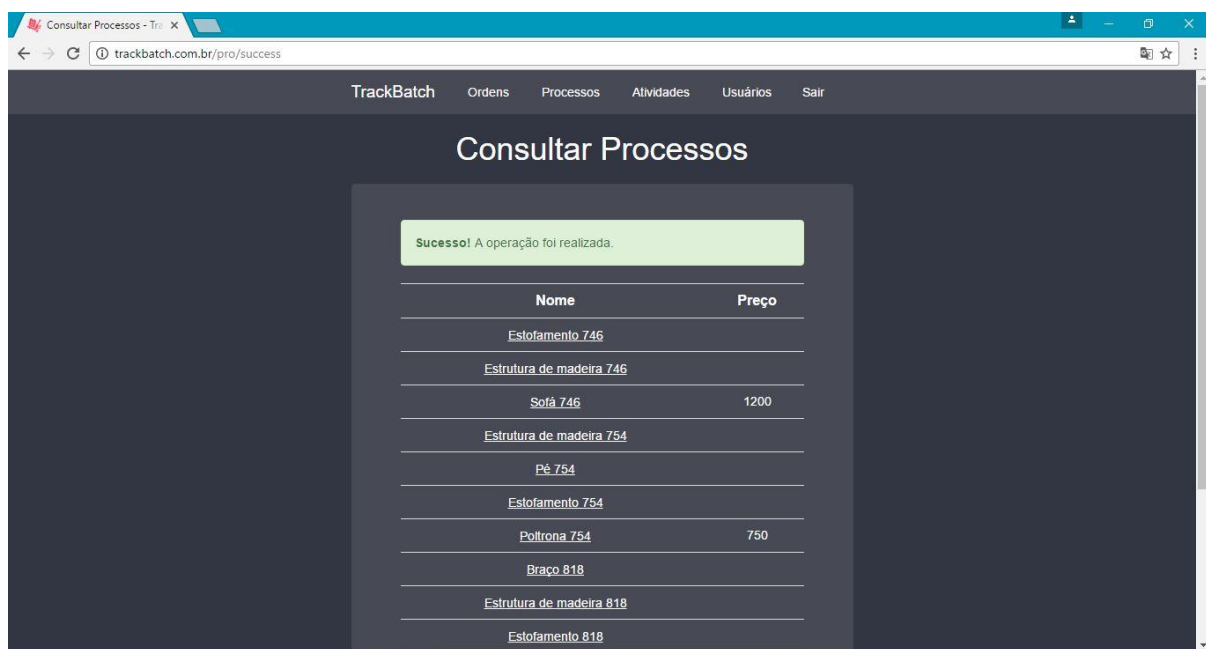


Figura 57 - Tela web em caso de sucesso ao editar processo

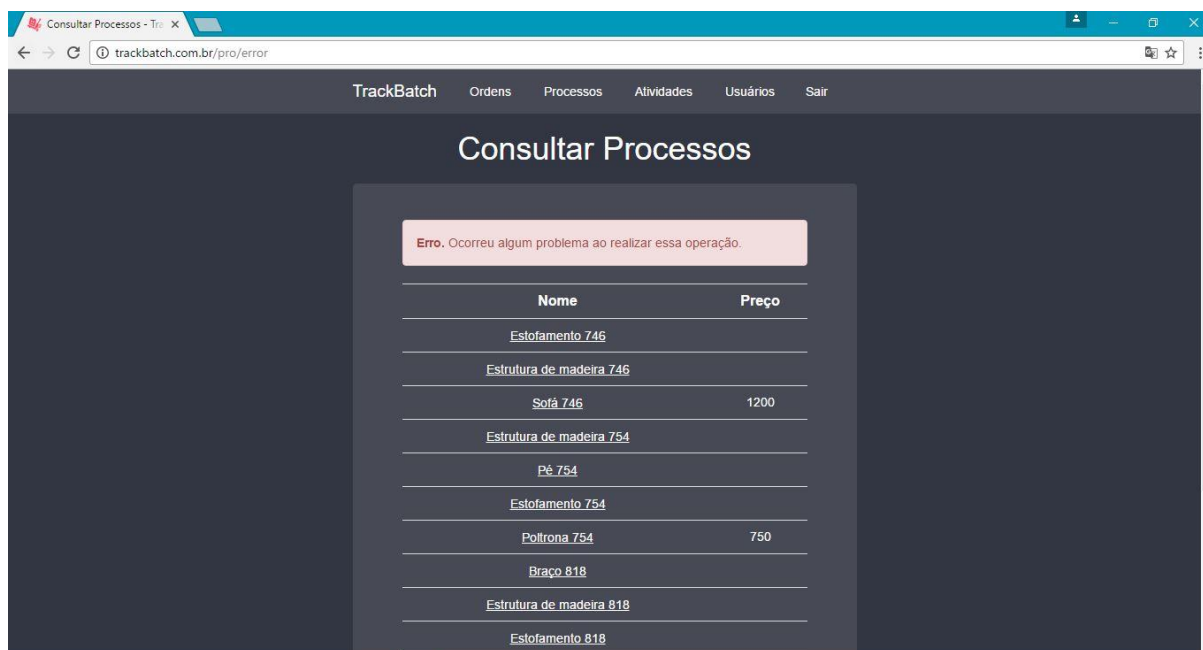


Figura 58 - Tela web em caso de erro ao editar processo

Tela de adicionar processo

A tela de adicionar processo é acessível pelo botão “Adicionar processo” presente na tela de consultar processos. Como esse é um caso de uso exclusivo para gerentes, esse botão não é apresentado para usuários com permissão de cliente ou operador. Nessa tela, é apresentado um formulário para ser preenchido pelo gerente. Há dois campos iniciais, um para o nome do processo e outro para o preço, caso esse seja um produto final. Após preencher esses campos, o gerente deve selecionar se o processo possui subprocesso(s) ou não. Caso possua, um campo de seleção é apresentado com todos os outros processos cadastrados no sistema, e o gerente então seleciona um e define sua quantidade, além de clicar no botão “+”, que adiciona o subprocesso como um componente do processo. É possível compor um processo com quantos subprocessos o gerente desejar. Caso o processo a ser cadastrado não possua subprocessos, um campo de seleção de atividades é apresentado, onde o gerente pode realizar o procedimento de adicionar atividades ao processo. Em ambos os casos, uma tabela é mostrada na parte inferior da tela com o detalhamento do processo sendo cadastrado. Ao término dessa composição, o botão “Concluir” deve ser selecionado para salvar o processo no banco de dados do sistema. O gerente é redirecionado para a tela de consultar processos, verificando a mensagem indicativa do resultado da operação. Nas imagens seguintes esses cenários são apresentados.

The screenshot shows a web browser window with the URL `trackbatch.com.br/pro/new`. The page has a dark blue header with the 'TrackBatch' logo and navigation links: 'Ordens', 'Processos', 'Atividades', 'Usuários', and 'Sair'. The main content area is titled 'Cadastrar Processo' and contains a form with the following fields:

- Nome do processo:** A text input field with the placeholder 'Insira o nome aqui'.
- Preço (caso seja produto final):** A text input field with the placeholder 'Insira o preço aqui'.
- O processo possui subprocesso(s)?** Two radio buttons labeled 'Sim' and 'Não'.
- Concluir** button.

At the bottom of the form, the text 'TrackBatch 2016' is displayed.

Figura 59 - Tela web de cadastrar processo

This screenshot shows the same 'Cadastrar Processo' form, but with data entered. The 'Nome do processo' field now contains 'Pé 754'. The 'Preço' field remains empty. The 'O processo possui subprocesso(s)?' section shows the 'Não' radio button selected. A new section, 'Selecione a atividade:', has been added, featuring a dropdown menu with 'Handling' selected and a '+' button to add more activities. Below this, a table lists the activities for the process:

Atividade
Testing
Handling

The 'Concluir' button is still present at the bottom of the form.

Figura 60 - Tela web para cadastrar processo sem subprocessos

TrackBatch | Ordens | Processos | Atividades | Usuários | Sair

Nome do processo:
Sofá 746

Preço (caso seja produto final):
1200

O processo possui subprocesso(s)?
☐ Sim
☒ Não

Selecione o subprocesso e sua quantidade:
 Estofamento 746
 2

Processo: Sofá 746

Quantidade	Subprocesso
1	Estrutura de madeira 746
2	Estofamento 746

Concluir

Figura 61 - Tela web para cadastrar processo com subprocessos

Tela de visualizar histórico

Para consultar os dados de rastreamento de um lote, a tela de visualizar histórico é acessível para gerentes como uma extensão do caso de uso consultar ordem. Ao selecionar uma ordem com status “Concluída”, a primeira tabela mostra o resumo da ordem e em seguida os lotes gerados por aquela ordem são apresentados, com uma tabela por lote. O nome do processo e sua quantidade referente ao lote são mostrados como título da tabela e os dados da tabela em si mostram a hora de entrada, hora de saída e a duração em cada atividade do processo produtivo daquele lote.

Produto	Quantidade
Poltrona Eames	4

Lote: Poltrona Eames
Quantidade: 4

Atividade	Hora Entrada	Hora Saída	Duração(s)
Distributing	Nov 16, 2016 10:14:11 PM	Nov 16, 2016 10:14:42 PM	31
Testing	Nov 16, 2016 10:14:36 PM	Nov 16, 2016 10:15:02 PM	26
Handling	Nov 16, 2016 10:14:55 PM	Nov 16, 2016 10:15:22 PM	27
Processing	Nov 16, 2016 10:15:15 PM	Nov 16, 2016 10:15:50 PM	35
Sorting	Nov 16, 2016 10:15:44 PM	Nov 16, 2016 10:16:03 PM	19

Voltar

Figura 62 - Tela web de visualizar histórico

Tela de iniciar lote

Para iniciar a produção de um lote e o sistema realizar a associação das operações ocorrendo no momento com o respectivo lote, algum operador deve selecionar o lote que irá iniciar e registrar esse início. Isso pode ser realizado por meio da tela de iniciar lote, pelo aplicativo móvel, como mostrado na Figura 63.



Figura 63 - Tela de iniciar lote do aplicativo móvel

Tela de utilização das atividades

Para possibilitar um entendimento mais visual da utilização das atividades, há no aplicativo móvel duas telas ilustrando esse conceito. Na primeira, mostra-se a utilização individual de uma atividade ao longo do tempo, para todas os lotes que passaram por ela. Essa tela é acessada como extensão da tela de consultar atividades, sendo apresentada na Figura 64. Já na segunda, é possível observar a distribuição do tempo total de uma ordem nas atividades que compõem seu processo produtivo completo. Essa tela pode ser acessada a partir da tela de consultar ordem e é mostrada na Figura 65.

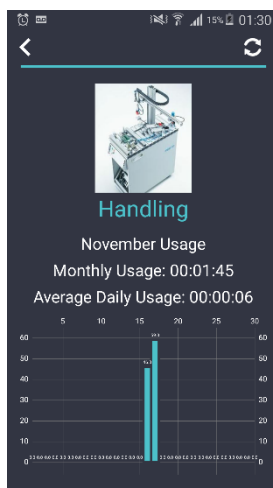


Figura 64 - Tela de utilização de atividade para todos os lotes

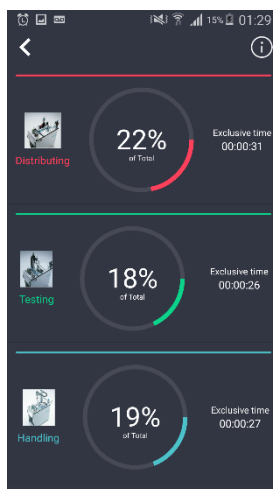


Figura 65 - Tela de utilização de atividades por ordem

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS PLATAFORMAS

Para implementar a plataforma web e o aplicativo móvel, foram utilizados métodos e ferramentas de projeto de *software* que auxiliaram em um desenvolvimento conciso e que buscou a robustez demandada por um sistema industrial. A implementação do servidor onde toda a lógica do sistema foi desenvolvida é comum às duas plataformas, não correndo risco de discrepância de dados ou serviços. Por exemplo, o método de aprovar uma ordem na plataforma web é exatamente o mesmo que o método de aprovar uma ordem no aplicativo móvel, só mudando o local onde a requisição é realizada.

Assim, para que dois autores conseguissem trabalhar colaborativa em um projeto com duas plataformas, mas apenas um repositório de serviços e dados, ferramentas de controle de versão de *software* foram utilizadas. As principais vantagens obtidas foram um rastreamento preciso das alterações realizadas por cada um dos autores, histórico de versões com possibilidade de voltar a versões muito anteriores, e ramificações de versões como no momento em que a camada mais próxima do usuário se dividiu em duas plataformas. Para a segurança da aplicação e seus usuários, o banco de dados não salva a senha em si cadastrada, mas apenas uma versão encriptada dessa chave. A encriptação ocorre diretamente no navegador do usuário, portanto, a senha não é passada pela requisição HTTP de *login* ou cadastro e caso essa requisição seja interceptada, o interceptador apenas terá uma versão encriptada e que não funciona se usada diretamente como chave no formulário de *login*.

A plataforma web foi hospedada em um servidor remoto e com um domínio próprio (<http://trackbatch.com.br>). O aplicativo móvel também foi hospedado nesse mesmo servidor e disponibilizado para dispositivos *Android* por meio da loja de aplicativos *Google Play Store*, como é mostrado na Figura 66.



Figura 66 - Tela da *Google Play Store* com o aplicativo desenvolvido

Em relação ao *software* que monitora os leitores RFID e a comunicação OPC, um servidor local foi escolhido para hospedar essa aplicação. Assim é possível trabalhar com respostas que podem ser consideradas em tempo real. Quando essa lógica local precisa então popular o banco de dados da aplicação com dados do rastreamento dos lotes, uma requisição pela internet é então enviada ao servidor remoto, transmitindo as informações necessárias e sem perda de capacidade local de monitoramento dos processos.

Os leitores RFID se comunicam com o computador por uma interface USB HID, e esse dado de entrada foi tratado por uma biblioteca disponível para *Node.js* chamada Node-HID, que permite a leitura e escrita em dispositivos HID. Já a comunicação OPC é estabelecida por meio de uma conexão TCP, que se conecta com o servidor OPC local (*CodeSys*), e disponibiliza as variáveis dos CLPs a um *socket* conectado à rede local.

5.3 MONTAGEM DAS BANCADAS

Para colocar o sistema em funcionamento, alguns aspectos físicos foram considerados. No LSA há 5 bancadas didáticas disponíveis, que podem trabalhar em conjunto ou individualmente. Apesar de ser interessante observar as bancadas operarem autonomamente em “linha”, ou seja, colocando uma peça na primeira bancada e, sem intervenção humana, essa mesma peça só parar na última bancada, optou-se por não as utilizar dessa maneira para a condução dos experimentos. Alguns fatores influenciaram essa decisão, como o fato de, em um ambiente real

de indústria moveleira, o processo não ser automático, mas há um operador que transporta os lotes de peças de uma máquina para outra. Como esse aspecto já havia sido citado e considerado na modelagem do sistema, a aplicação é capaz de computar o tempo de transporte entre duas atividades, um dado que pode ser valioso para a indústria. Assim, após o término de uma atividade, a peça com a *tag* RFID é transportada até a próxima atividade manualmente.

Outro fator envolvido é o ganho em flexibilidade que essa arquitetura proporciona, uma vez que é muito mais simples alterar as atividades bem como as ordens dessas atividades dentro de um processo, podem-se testar mais variações de maneira mais rápida. Portanto, as bancadas não são utilizadas em “linha”, mas separadas umas das outras. Elas poderiam então estar geograficamente espalhadas, desde que conectadas à rede do servidor OPC. Porém, para facilidade na condução dos experimentos, apenas um computador foi utilizado para conectar todos os leitores RFID, e por limitação dos comprimentos dos cabos desses leitores, as bancadas foram dispostas em volta desse computador, como é possível observar nas Figuras 67 e 68.

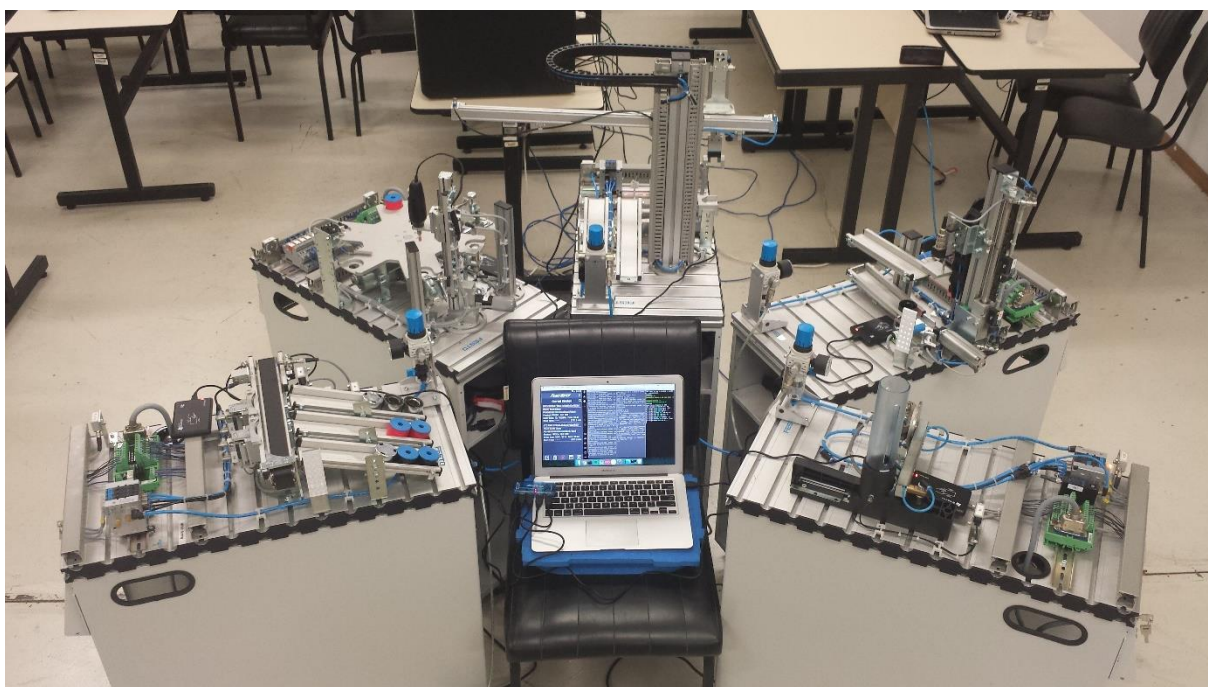


Figura 67 - Disposição das bancadas e computador na realização dos experimentos

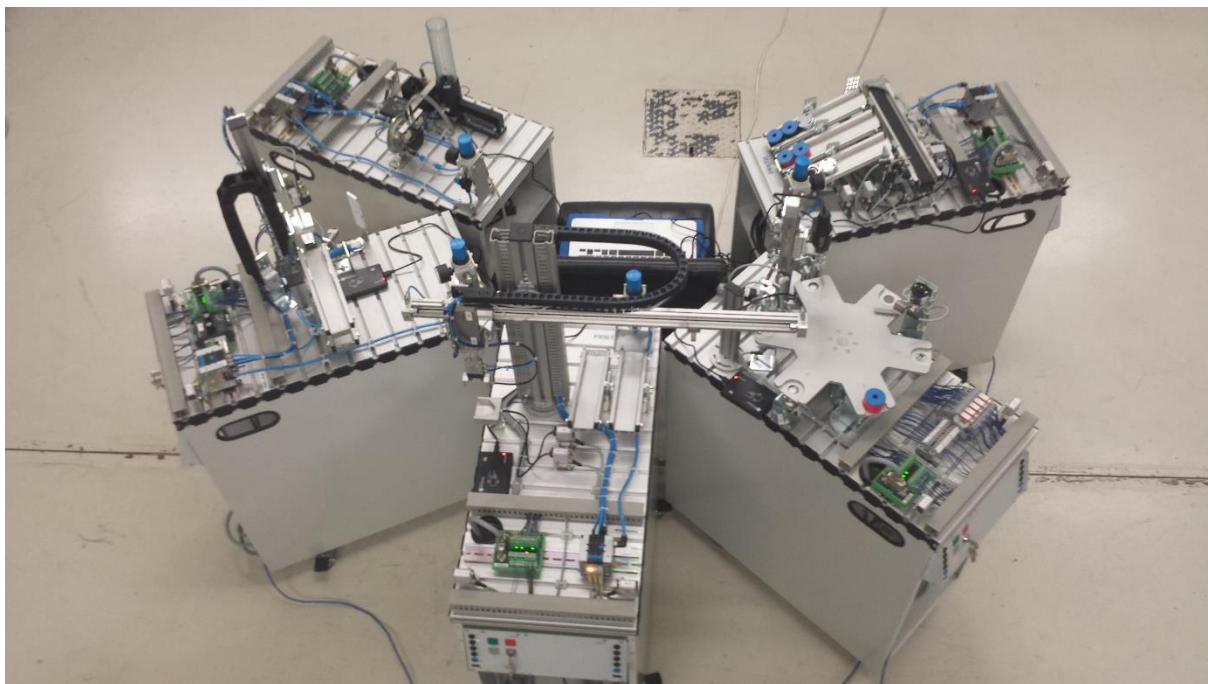


Figura 68 - Outra vista da disposição das bancadas

Para conectar 5 leitores USB em um mesmo computador foi utilizado um *Hub* USB de 4 portas mais uma outra porta nativa do equipamento, mostrado na imagem abaixo. O modelo de leitor utilizado é mostrado na Figura 70.



Figura 69 - *Hub* USB utilizado para conectar todos os leitores em um computador



Figura 70 - Leitor RFID utilizado na montagem

Por não ser um processo automático, a posição dos leitores RFID nas bancadas não ficou restringida, de maneira que o operador realiza o apontamento da peça com a *tag* no leitor da bancada e então a posiciona para o início da operação da respectiva atividade. Os leitores, portanto, foram posicionados nas proximidades do ponto de início da operação de cada bancada, com exemplos mostrados nas imagens seguintes.



Figura 71 - Leitor RFID na bancada *Distributing*

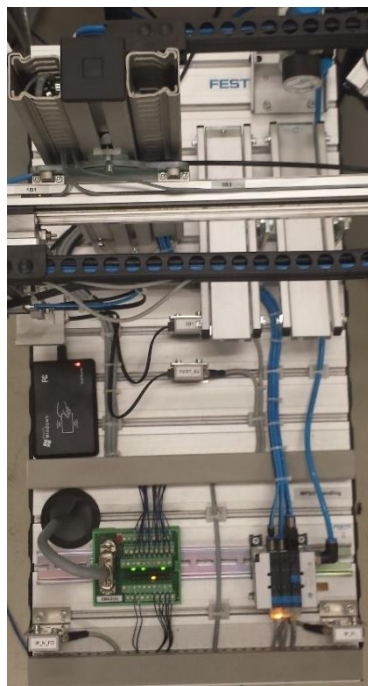


Figura 72 - Leitor RFID na bancada *Handling*

As *tags* escolhidas possuem formato de moeda e superfície adesiva para fixação nas peças. Para minimizar a interferência no processo, fixou-se as *tags* na parte de baixo das peças, uma vez que em algumas bancadas são realizadas algumas operações na parte de cima das peças, como na bancada *Distributing*, onde a ponta do manipulador fixa-se no furo encontrado nessa superfície superior. Na Figura 73, é possível observar uma peça com uma *tag* RFID fixada em sua superfície inferior.

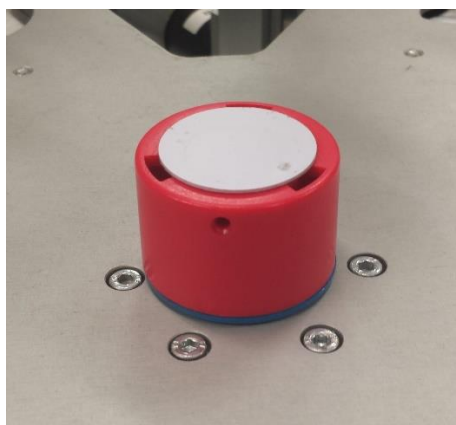


Figura 73 - Parte de baixo de uma peça com *tag* RFID fixada

Nos CLPs das bancadas, o programa utilizado para controle das entradas e saídas é o programa padrão de cada estação, fornecidos pela fabricante Festo. Portanto, as operações realizadas nas bancadas não foram alteradas, representando a mesma lógica proposta pela Festo para simulação do ambiente produtivo.

6 TESTES

Segundo (PRESSMAN, 2010), teste é um conjunto de atividades que podem ser planejadas previamente e conduzidas sistematicamente. Dessa maneira, é conveniente adotar uma metodologia para realização dos testes do projeto, e a adotada nesse trabalho é descrita na seção seguinte.

6.1 METODOLOGIA DE TESTES

Para a validação do projeto, três tipos básicos de testes são utilizados, os testes de unidade, os testes de integração e os testes funcionais. Essa etapa tem como objetivo a verificação das propostas iniciais de trabalho, avaliando o sistema de maneira a fundamentar uma conclusão sobre o sucesso do projeto. Nos testes de unidade, as classes do sistema serão testadas individualmente, de maneira isolada e dentro dos limites das dependências de cada classe. Nos testes de integração, o objetivo é garantir que uma ou mais classes combinadas funcionam, ou seja, são testes de unidade em conjunto, verificando a interação entre eles. Nos testes de unidade e de integração, a detecção de erros é a base do processo, para então realizar as correções necessárias com acurácia. E nos testes funcionais, o projeto é avaliado como um todo, por seus requisitos, funcionalidades e regras de negócios. Essa etapa possui um escopo maior do que apenas detectar e corrigir falhas e é importante para a validação dos objetivos do projeto, e seu resultado será discutido em uma seção posterior.

A metodologia utilizada para a execução dos testes de unidade é o teste de uma única classe. Assim, cada método da classe em questão passa por um teste rápido de execução, simulando ações e parâmetros. Esses testes são os mais simples e tiveram início em conjunto com o desenvolvimento do código, de maneira que o projeto avança conforme o sucesso dos testes de unidade. Apesar de não atingirem um nível de abstração alto e nem tratarem o sistema de maneira integrada, os testes de unidade são muito eficientes em encontrar a causa das falhas, geralmente por possuir um escopo muito fechado. É importante ressaltar também que esses testes não apontam falhas de projeto e modelagem, mas apenas da implementação do código.

Os testes de integração são realizados de acordo com as interações previstas entre as classes do sistema. Esse tipo de teste geralmente envolve todas as partes da arquitetura MVC,

desde a interação com o banco de dados até a camada de visualização. Enquanto o teste unitário se concentra em avaliar o código, o teste de integração irá verificar a arquitetura do sistema. Serão testados os relacionamentos entre classes e tabelas, combinando componentes para avaliar como estes se comportam em conjunto. A metodologia utilizada para testes de integração nesse trabalho é a incremental ascendente, onde primeiramente se testa os módulos de baixo nível, ou seja, componentes que executam funções em um nível mais interno de *software* e com menor manipulação de dados de alto nível, que são dados com os quais os usuários do sistema interagem diretamente. Assim, os erros de implementação aparecem primeiro, e em seguida, os erros de lógica e de modelagem são detectados com uma maior separação de escopo ao se ter um controle dos incrementos de componentes nos testes. De maneira incremental, os módulos de nível mais alto são integrados aos testes até se obter um conjunto de todos eles.

Para realizar testes funcionais, a metodologia utilizada consiste basicamente em subdividi-los em três partes: verificar as funcionalidades, os requisitos e as regras de negócio. Para testar as funcionalidades do sistema, uma simples abordagem de testar os casos de uso é uma maneira eficiente de avaliar se o funcionamento do projeto está coerente com o especificado. Portanto, cada caso de uso é testado por meio de um acompanhamento do fluxo de ações descrito no respectivo diagrama de atividades. Previamente aos testes, é realizada a criação de uma base de dados de certificação, persistindo as tabelas do banco de dados para garantir um melhor comportamento do sistema. Como os diagramas de atividades geralmente não possuem apenas um fluxo principal, é importante para cada caso de uso criar um cenário de testes que irá abranger todos os ramos do diagrama de atividades. Outro fator a ser observado nos testes de casos de uso é o escopo dos atores, ou seja, garantir que um ator consiga realizar apenas os casos de uso a ele atribuídos, assim como em extensões de outros casos de uso. Uma vez que o projeto possui três atores, o plano de testes inclui a verificação das delimitações de cada ator.

Após examinar as funcionalidades do sistema por meio dos testes de casos de usos, os requisitos se tornam o foco das validações. Na seção de requisitos, cinco tópicos foram definidos como requisitos funcionais do projeto e com base nessas definições, ocorre a validação do sistema obtido. Esses requisitos nortearam todas as definições de arquitetura do projeto e possuem um nível alto de abstração, portanto, nesse ponto não se valida *software*, mas sim a capacidade do trabalho em seguir o plano previamente traçado. Como os requisitos são desenvolvidos com base em restrições reais avaliadas com base nos *stakeholders*, os testes de

requisitos fazem uma analogia com testes de aceitação do projeto. Nesses testes é importante que o sistema seja testado com todos os componentes em conjunto, desde as bancadas didáticas em sequência até o sistema de informações, passando pelos leitores e *tags* RFID. Assim, é verdadeiramente um teste de funcionamento do projeto, sem isolar algumas partes ou simular outras, buscando uma sintonia dos componentes para atingir os objetivos do trabalho.

Fechando o ciclo de testes, a metodologia adotada abrange o teste funcional de regras de negócios. Não é simples isolá-lo dos outros dois testes funcionais, podendo ter alguns quesitos comuns que fazem com que seja melhor executá-los de maneira integrada. As regras de negócio do sistema são o conjunto de restrições e lógica que o projeto deve seguir para que desempenhe corretamente suas funções dentro do ambiente real de utilização. No caso desse trabalho, as regras de negócio estão relacionadas ao ambiente fabril de uma linha de produção em lotes, no contexto específico da indústria moveleira. Como já discutido na seção sobre indústria moveleira, esse cenário gera uma série de restrições que são incorporadas ao sistema por meio de decisões de arquitetura, modelagem e requisitos. Portanto, para que o projeto cumpra o objetivo de ser aplicável a uma indústria de móveis real, essas definições de regras de negócios precisam ser atendidas, e a maneira de verificar se realmente são atendidas é por meio dos testes.

Os testes funcionais constituem uma base fundamental para conclusões sobre o projeto. Ao integrar todos os componentes do projeto, é possível testar todos os princípios que o nortearam, seja do planejamento, arquitetura ou da própria implementação. Ao final da etapa de testes, perguntas que formam a base da proposta de projeto como “o sistema é capaz de rastrear um lote de peças em um ambiente de indústria moveleira?”, poderão ser respondidas, qualificando as conclusões sobre o trabalho. Um projeto pode falhar em muitos pontos, e todos os seus pilares são igualmente importantes para o sucesso, desde a ideia, a especificação e a execução. Dessa maneira, a metodologia de testes aqui apresentada busca cobrir todos esses pontos, e mesmo que em grande parte ela seja baseada em uma metodologia de testes de *software*, o escopo não é restringido a esse componente do projeto apenas, mas a todo o contexto do trabalho.

Em cada um dos tipos de testes há basicamente quatro etapas: o planejamento, o projeto, a execução e a coleta e avaliação de dados resultantes. O planejamento foi discutido até aqui, enquanto que o projeto é propriamente o roteiro de cada teste, que será discutido na próxima seção. Esse projeto define os passos específicos do teste de acordo com o cenário do objeto testado. A etapa de execução segue o roteiro determinado no projeto e gera dados que são

coletados e avaliados. A coleta e avaliação desses dados deve ser realizada com o mesmo zelo das etapas anteriores, uma vez que estabelece a base para a correção das falhas e pode ser um critério de avaliação da qualidade dos testes projetados. Todas as etapas são documentadas, principalmente a execução e resultados de cada teste, até mesmo dos que falham em pequenos detalhes. Essa documentação constitui um material que pode ser utilizado para diversas aplicações de avaliação, estudo e aprendizagem sobre o projeto, podendo gerar informações importantes para trabalhos futuros. Esforços, tempo e recursos gastos em testes também são dados que podem ser documentados para posterior avaliação.

A base dessa metodologia é o modelo “V”, onde o desenvolvimento segue do nível de abstração mais alto para o mais baixo, enquanto que os testes percorrem o caminho contrário, indo do nível de abstração mais baixo para o mais alto. Os testes começam pelos testes de unidade, que validam o código, seguidos pelos testes de integração, onde a arquitetura do sistema é verificada e por fim, nos testes funcionais, há uma integração total do sistema para que se possa avaliar os requisitos, funcionalidade e regras de negócios. Essa abordagem de testes de “baixo para cima” permite que as falhas sejam detectadas com maior eficiência e ao mesmo tempo apresenta um caminho bem definido para que não se desvie dos objetivos iniciais de funcionamento do projeto. Na Figura 74 é possível observar uma representação do modelo “V” utilizado para desenvolvimento e testes desse trabalho.

Um ponto importante de discussão sobre testes é o número de vezes que determinado teste deve ser executado. O processo de teste teoricamente nunca termina, uma vez que uma utilização do sistema após o término do projeto pode ser considerada um teste e que é muito complicado dizer quando um projeto está 100% testado. Dessa forma o número de testes a serem executados pode depender de uma infinidade de fatores que forem julgados importantes pela gerência do projeto. Para esse trabalho, define-se que cada cenário dos testes de unidade e dos testes de integração serão executados até que o desenvolvimento seja finalizado e o funcionamento adequado das classes indique que se pode avançar de fase. Como não é possível precisar um número suficiente de testes, esses parâmetros foram definidos com base nas poucas variações de entradas que se pode ter geralmente e no prazo limitado para cumprimento dessa etapa. Os testes funcionais são um pouco menos exatos em sua concepção, sendo difícil estabelecer um número fixo e optando-se por um critério de tempo limite. Portanto, define-se que serão realizados até o começo do mês de novembro de 2016, para que se possa ter tempo hábil para conclusões e entrega final do trabalho. Os testes funcionais podem apresentar falhas que levem à realização de novos testes de integração e de unidade, o que acarretaria em

mudanças nos números e critérios utilizados. Como já mencionado, a dificuldade de se estabelecer um número de execuções de teste suficiente faz com que uma flexibilidade nesses quesitos não seja um fator problemático.

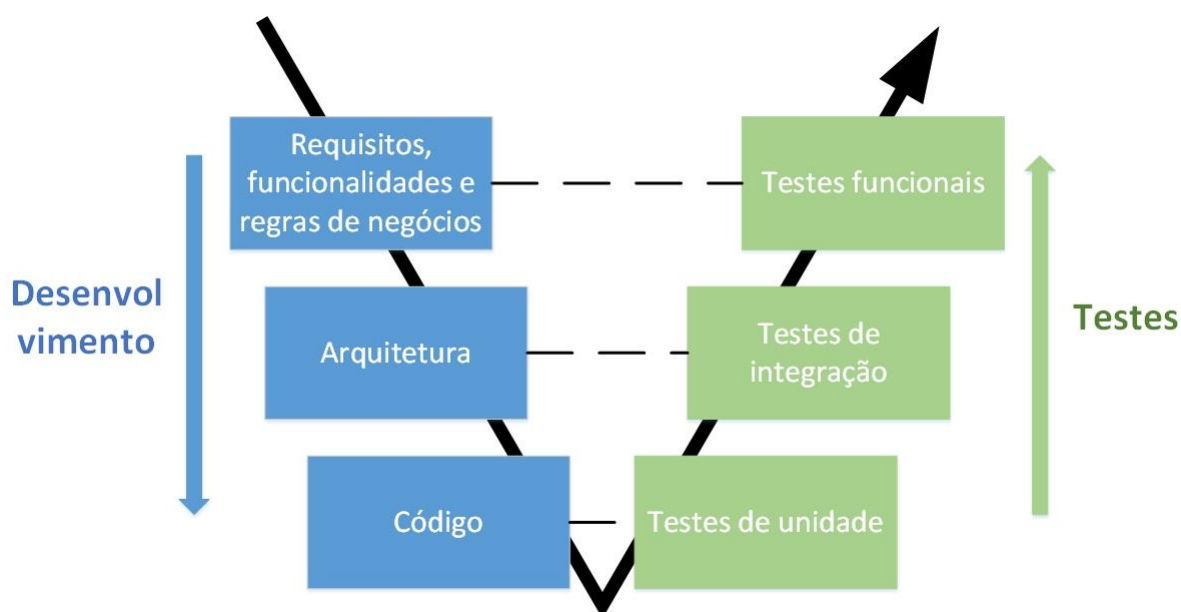


Figura 74 - Modelo "V" de desenvolvimento e testes do projeto

6.2 REALIZAÇÃO DOS TESTES

Os testes propostos na seção anterior, de unidade, integração e funcionais, foram realizados de maneira a orientar o desenvolvimento e também validar os objetivos do trabalho. Para os testes de unidade e de integração, o ambiente utilizado foi um servidor local, antes de hospedar as aplicações no servidor remoto, o que acelerou esse processo de achar erros de código e consertá-los. Além disso, como a estrutura do programa foi montada de modo que os métodos das classes eram acessados por requisições HTTP entre o cliente e o servidor, esses testes puderam ser implementados muito cedo, antes mesmo de se ter uma integração total entre a camada Visão e o Controlador do modelo MVC.

Os testes de integração demandaram uma atenção maior às interfaces entre classes e camadas, e a partir da metodologia incremental utilizada, os primeiros testes foram realizados em componentes mais internos do sistema, como manipulação do banco de dados, para depois

caminhar até níveis de maior interação com os usuários, como controles de acesso a páginas e visualização de conteúdo.

Os maiores desafios encontrados na realização dos testes se concentraram nos testes funcionais. Para implementá-los, todos os componentes do sistema foram reunidos de maneira a trabalhar em conjunto, aumentando-se consideravelmente o número de variáveis envolvidas. É possível separar o projeto em três principais componentes, sendo eles: o sistema de informações, que se divide em plataforma web e aplicativo móvel, realizando toda a lógica do sistema; o sistema RFID, composto por leitores, *tags* e o programa de aquisição; e o sistema OPC/bancadas, em que há a comunicação com os CLPs e a parte física das bancadas. Testar esses componentes em conjunto requer um funcionamento sem emendas, facilitado pela arquitetura orientada a serviços e resultados dos testes anteriores de unidade e integração.

Outro fator limitante dessa etapa foi a necessidade de se implementá-la no LSA, onde outras atividades acadêmicas também se fazem presentes, como aulas e projetos de pesquisa. Portanto, os testes foram planejados para não conflitar com essas atividades e otimizar o tempo de utilização.

Em relação ao sistema de informações, a realização dos testes foi rápida e eficiente, uma vez que a depuração é instantânea e pôde ser realizada em qualquer local. O componente do sistema RFID também não apresentou muitas dificuldades, uma vez que as interfaces e funções são simples, onde basicamente o sistema deve realizar a leitura do número identificador da *tag* e enviar ao sistema de informação. Já o sistema OPC/bancadas foi o que apresentou os maiores problemas nos testes realizados. O tempo para testes desse componente durou três vezes mais que o esperado, cerca de três semanas, e obrigou o encurtamento do tempo de outras atividades. Estabelecer uma conexão com o servidor OPC foi o mais custoso, e houve uma mudança das ferramentas utilizadas no meio do processo, uma vez que a biblioteca que estava sendo usada não respondeu às expectativas de funcionamento.

Apesar das dificuldades, os testes funcionais correram de maneira que foi possível explorar os diversos aspectos previstos do projeto, como as especificidades que a indústria moveleira possui em uma implementação de sistema de informações, a sintonização de diversas tecnologias para que elas trabalhem em conjunto, e a validação dos requisitos e regras de negócio modelados.

7 RESULTADOS

Para se obter resultados que traduzam as expectativas do trabalho e possibilitem uma análise sobre os objetivos e requisitos previamente definidos, alguns casos de teste foram selecionados. De acordo com a metodologia de testes utilizada, os testes funcionais envolveram o real experimento do projeto por meio da integração de todos os seus componentes e possibilitaram coletar dados suficientes para essa documentação de resultados.

Assim, foi montada uma ordem com três produtos diferentes, com diferentes níveis de hierarquia de processos. Considerando todas as operações realizadas para a execução completa dessa ordem e posterior visualização de seu histórico, todos os casos de uso do sistema foram executados pelo menos uma vez, se considerada alguma operação de editar atividade, produto e ordem. Essa ordem montada foi executada nas bancadas didáticas sob as condições descritas na seção 5.3, e os resultados obtidos são a base para as discussões desse capítulo. Os produtos escolhidos foram o Sofá 746, a Poltrona 754 e a Cadeira 818, nas quantidades de 5, 3 e 7, respectivamente. As árvores de seus processos são mostradas nas figuras 75 a 77.

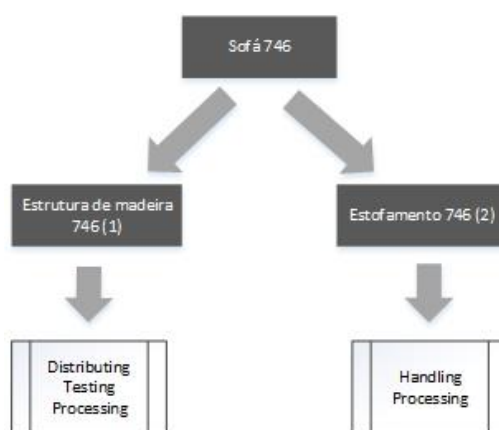


Figura 75 - Árvore do processo Sofá 746

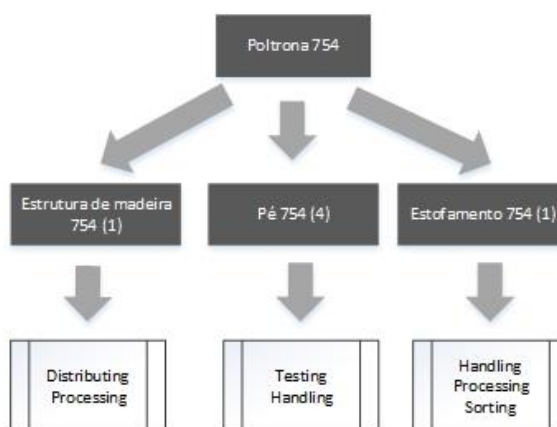


Figura 76 - Árvore do processo Poltrona 754

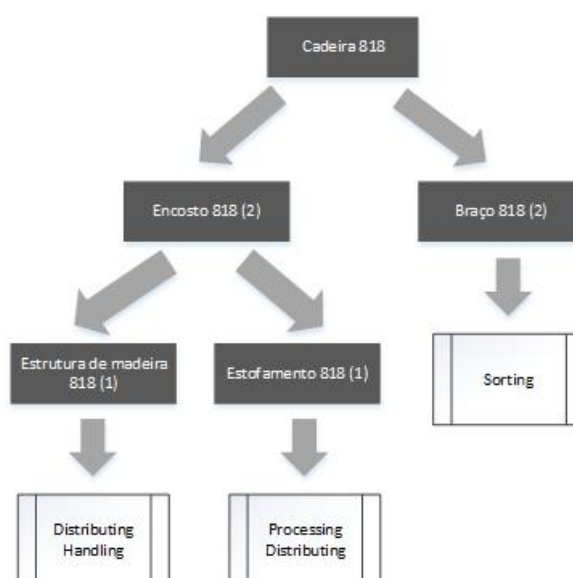


Figura 77 - Árvore do processo Cadeira 818

Primeiramente, um gerente deve cadastrar as atividades, nesse caso representadas pelas cinco bancadas didáticas do LSA. Então, o gerente cadastra os processos utilizando as atividades e os próprios processos como subprocessos. A partir desse ponto, um cliente pode colocar uma ordem. Para isso, ele deve se cadastrar no sistema e aguardar um gerente aprová-lo. Quando aprovado, pode realizar *login* e cadastrar uma ordem composta pelos produtos escolhidos. O gerente aprova essa ordem e ela se torna disponível para um operador realizar. O sistema gera os lotes para o operador, que ao realizar o processo produtivo de cada um dos lotes, gera os dados de rastreabilidade, que são armazenados em um histórico para ser visualizado por um gerente. Um esquema desse processo é mostrado nas figuras 78 a 81.



Figura 78 – Representação esquemática de cadastrar processos

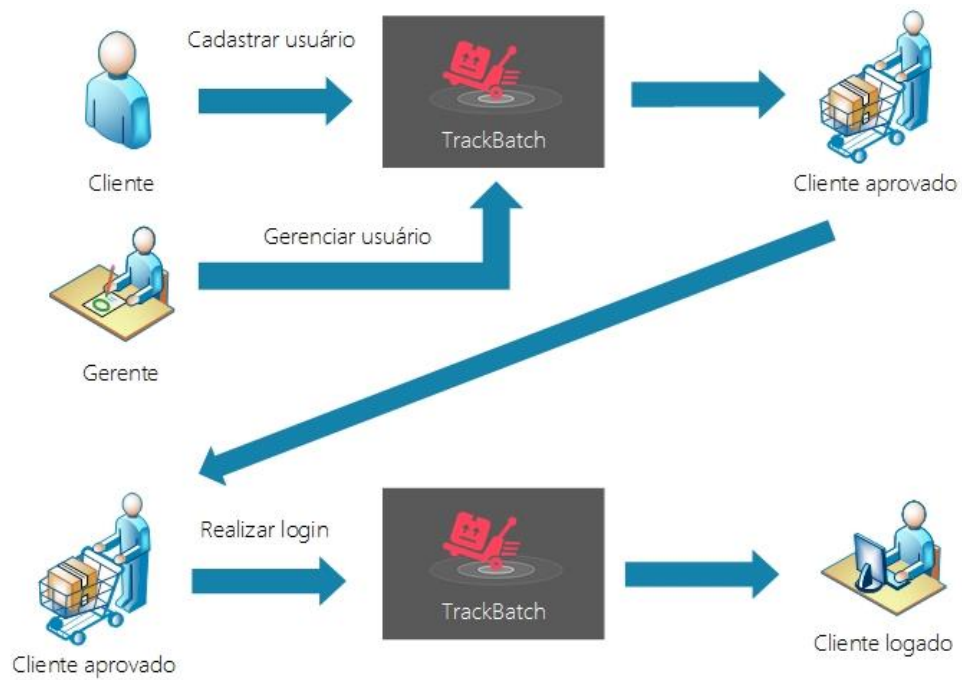


Figura 79 - Representação esquemática de cadastro e *login* de cliente

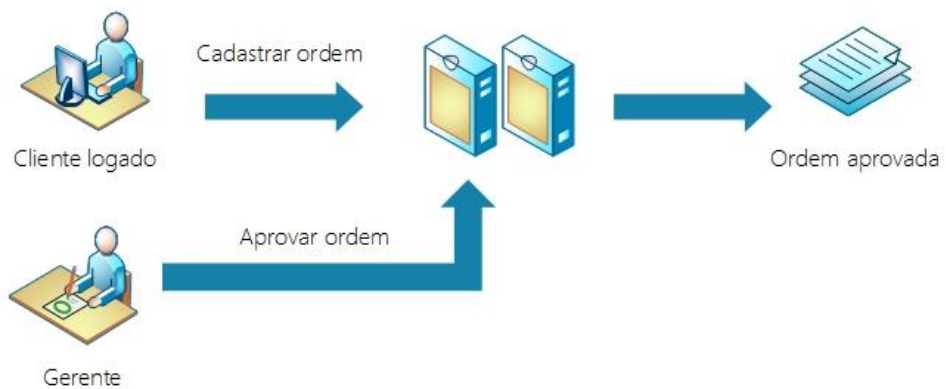


Figura 80 - Representação esquemática de cadastro e aprovação de ordem

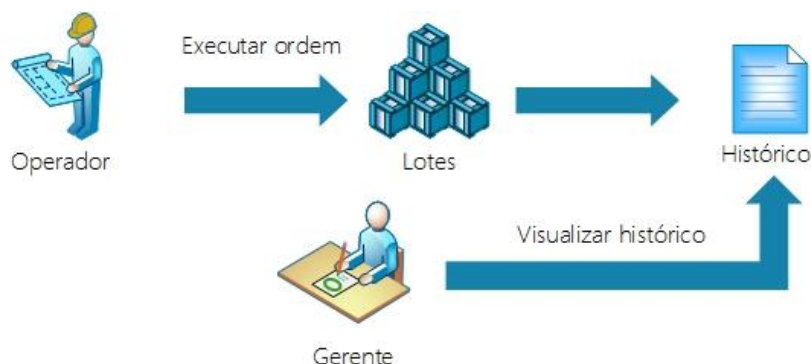


Figura 81 - Representação esquemática de visualizar histórico

Um resumo da ordem é mostrado na Tabela 1, e os resultados da execução dessa ordem e rastreamento de seus lotes são apresentados na Tabela 2. Como no total dos três produtos há oito subprocessos primários, oito lotes foram gerados e rastreados.

Tabela 1 - Detalhes da ordem executada

Produto	Qtd
Sofá 746	5
Poltrona 754	3
Cadeira 818	7

Tabela 2 - Resultados obtidos por meio da execução da ordem

Lote	Processo	Qtd	Atividade	Hora de Entrada	Hora de saída	Duração(s)
1	Estrutura de madeira 754	3	Distributing	Nov 16, 2016 9:33:02 PM	Nov 16, 2016 9:33:21 PM	19
1	Estrutura de madeira 754	3	Processing	Nov 16, 2016 9:33:31 PM	Nov 16, 2016 9:33:56 PM	25
2	Estofamento 746	10	Handling	Nov 16, 2016 9:36:15 PM	Nov 16, 2016 9:36:31 PM	16
2	Estofamento 746	10	Processing	Nov 16, 2016 9:36:37 PM	Nov 16, 2016 9:37:00 PM	23
3	Estrutura de madeira 746	5	Distributing	Nov 16, 2016 9:37:57 PM	Nov 16, 2016 9:38:13 PM	16
3	Estrutura de madeira 746	5	Testing	Nov 16, 2016 9:38:26 PM	Nov 16, 2016 9:38:39 PM	13
3	Estrutura de madeira 746	5	Processing	Nov 16, 2016 9:39:00 PM	Nov 16, 2016 9:39:23 PM	23
4	Pé 754	12	Testing	Nov 16, 2016 9:40:09 PM	Nov 16, 2016 9:40:21 PM	12
4	Pé 754	12	Handling	Nov 16, 2016 9:40:28 PM	Nov 16, 2016 9:40:43 PM	15
5	Estofamento 754	3	Handling	Nov 16, 2016 10:00:30 PM	Nov 16, 2016 10:00:46 PM	16
5	Estofamento 754	3	Processing	Nov 16, 2016 10:01:00 PM	Nov 16, 2016 10:01:25 PM	25
5	Estofamento 754	3	Sorting	Nov 16, 2016 10:01:36 PM	Nov 16, 2016 10:01:44 PM	8
6	Braço 818	14	Sorting	Nov 16, 2016 10:03:03 PM	Nov 16, 2016 10:03:11 PM	8
7	Estrutura de madeira 818	14	Distributing	Nov 16, 2016 10:03:43 PM	Nov 16, 2016 10:03:59 PM	16
7	Estrutura de madeira 818	14	Handling	Nov 16, 2016 10:04:01 PM	Nov 16, 2016 10:04:17 PM	16
8	Estofamento 818	14	Processing	Nov 16, 2016 10:04:41 PM	Nov 16, 2016 10:05:05 PM	24
8	Estofamento 818	14	Distributing	Nov 16, 2016 10:05:19 PM	Nov 16, 2016 10:05:36 PM	17
Total da ordem						292
Média por atividade						17,2

Um exemplo da visualização do histórico dessa ordem executada é mostrado na Figura 82, por meio da tela de visualizar histórico da plataforma web.



Lote: Estrutura de madeira 754			
Quantidade: 3			
Atividade	Hora Entrada	Hora Saida	Duração(s)
Distributing	Nov 16, 2016 9:33:02 PM	Nov 16, 2016 9:33:21 PM	19
Processing	Nov 16, 2016 9:33:31 PM	Nov 16, 2016 9:33:56 PM	25

Lote: Estofamento 746			
Quantidade: 10			
Atividade	Hora Entrada	Hora Saida	Duração(s)
Handling	Nov 16, 2016 9:36:15 PM	Nov 16, 2016 9:36:31 PM	16
Processing	Nov 16, 2016 9:36:37 PM	Nov 16, 2016 9:37:00 PM	23

Lote: Estrutura de madeira 746			
Quantidade: 5			

Figura 82 - Resultado da visualização do histórico da ordem executada

De acordo com a metodologia de testes proposta, os experimentos que conduziram aos resultados aqui documentados fornecem as provas de conceitos para os testes de casos de uso, testes de requisitos e testes de regras de negócios. Além dos casos de uso mostrados nos esquemas das figuras 78 a 81, os casos de uso de editar atividades, processos e ordens também foram testados na execução dessa ordem colocada por um cliente. Esses testes foram realizados seguindo os fluxos descritos nos diagramas de atividades, e também utilizando entradas propositalmente erradas para verificar o comportamento do sistema para os fluxos previstos de tratamento de erros. Por exemplo, antes da aprovação de um usuário, tentou-se realizar *login* com esse, e acertadamente o sistema falhou e mostrou uma mensagem de erro, sem permitir o acesso do usuário às telas internas da aplicação. Essas entradas “hostis” testadas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Entradas "hostis" utilizadas para testar sistema

Entrada
Senha errada
Tentativa de acessar caso de uso que não era permitido
Tentativa de login sem estar aprovado
Cadastrar processo com dois níveis de subprocessos
Registros OPC/Rfid duplicados
Tentativa de registro de tag em atividade errada

No momento da execução dos experimentos finais, todos os casos de uso já haviam sido testados previamente de maneira isolada, e assim, não houve erros durante o processo. Porém, nessa etapa de testes prévios, os principais erros detectados no sistema de informações foram no controle de permissões. Verificou-se que os casos de uso que possuíam níveis diferentes de acesso falharam algumas vezes nos primeiros testes, sendo corrigidos individualmente para os testes finais. Erros de lógica de negócios também foram encontrados, porém menos frequentes, como em um teste em que se constatou que era possível editar uma ordem mesmo após ter sido aprovada. O caso de uso de visualizar histórico só constatou um erro na fase de testes funcionais, documentado na tabela abaixo, diferentemente da fase de testes unitários, onde o componente OPC apresentou diversos problemas, relatados na seção 6.2. Na Tabela 4, os erros encontrados nos testes funcionais são mostrados.

Tabela 4 - Erros encontrados durante os testes

Caso de uso	Permissão	Data	Falha encontrada
Cadastrar processo	Gerente	19/out	Não carregou corretamente atividades
Cadastrar ordem	Cliente	21/out	Botão de cadastrar ordem disponível para gerentes
Editar ordem	Cliente	21/out	Permitiu editar ordem após ter sido aprovada
Gerenciar usuário	Gerente	27/out	Permitiu outras permissões realizarem o caso de uso
Realizar login	Qualquer	28/out	Não exibiu mensagem de erro para senha errada
Realizar login	Qualquer	28/out	Permitiu login de usuário não aprovado
Visualizar histórico	Gerente	07/nov	Sistema não registrou entradas OPC/Rfid seguidas

Para verificar os requisitos, os testes realizados podem ser levados para um contexto individual de cada requisito. Com os resultados aqui documentados, foi possível realizar todos os casos de uso da maneira prevista nos diagramas de atividades, mas para uma real apuração

do sucesso do trabalho, é necessário verificar também se o projeto implementado está em alinhamento com os requisitos e objetivos definidos previamente e listados na seção 4.1.

Em relação ao requisito “Mostrar nome do produto, quantidade, hora de entrada e hora de saída em cada atividade”, os resultados mostram que para uma ordem, composta por produtos e quantidades, os lotes são formados e ao serem executados, coletam e armazenam os dados de hora de entrada e hora de saída em cada atividade, e que são disponibilizados para visualização para os usuários com permissão de gerente. Dessa maneira, pode-se afirmar que o projeto cumpre esse requisito. Além disso, como esses dados são armazenados no banco de dados e são acessíveis por meio de uma consulta de ordens, o requisito “Armazenar dados em um histórico de ordens” também é cumprido.

Ao gerar a entidade rastreável partindo-se de uma ordem, o sistema considera que essa entidade será definida por um produto e sua quantidade dentro daquela ordem, ou seja, um lote de produtos. Para cada processo diferente dentro de uma ordem, um lote será gerado para ser rastreado, sendo o tamanho do lote definido pela quantidade do produto em questão na respectiva ordem. Assim, o requisito “Rastreabilidade por lotes” é cumprido.

Por fim, um requisito um pouco mais abstrato é enunciado como: “Conectar lotes, ordens, processos e atividades”. Pode-se interpretar esse requisito funcional como a demanda por um sistema que possa estabelecer as relações entre essas quatro entidades, reais dentro da indústria moveleira. Ou seja, um sistema que seja capaz de funcionar baseado no rastreamento de uma entidade final, o lote, mas que realize todo o gerenciamento por trás desse lote até atingir a entidade do outro lado da linha, a atividade. Isso ocorre de maneira que um conjunto de atividades compõe um processo, um conjunto de processos e quantidades compõe uma ordem, e um processo e sua quantidade representa um lote. Esse é o modo como essa relação é tratada na indústria, e o sistema mostra pelos seus resultados que é capaz de lidar com essa relação e gerenciá-la de maneira que partindo de atividades, é possível obter um lote rastreado. A representação esquemática da realização dos experimentos encontrada nesse capítulo fornece uma boa visão sobre essas relações, bem como o diagrama de classes mostrado na seção 4.5. Portanto, esse requisito é cumprido pelo projeto.

Entrando no último nível de testes funcionais, o de testes de regras de negócios, o foco se torna a lógica necessária para o funcionamento dentro dos conformes de uma indústria moveleira. Como explicado no capítulo 3, esse setor da indústria possui uma série de especificidades que orientou a definição e arquitetura do sistema. Cabe analisar agora se a

implementação ocorreu de maneira alinhada à essa arquitetura. Para isso, serão analisados pontos específicos do ambiente industrial moveleiro julgados fundamentais para um funcionamento correto sob o ponto de vista do sistema implementado, sendo eles:

- Na indústria moveleira há atividades destrutivas que prejudicariam a integridade de uma *tag* fixada em uma peça.
- As peças possuem baixo valor agregado.
- Processos possuem subprocessos que são produzidos por atividades diferentes, podendo ser em horários e locais diferentes.

O projeto consegue uma solução para o primeiro ponto por meio da não necessidade da *tag* estar fisicamente acoplada à uma peça. No experimento com as bancadas didáticas, elas são acopladas por facilidade de uso, mas do ponto de vista do sistema, não há diferença entre a *tag* estar ali ou não. Como explicado no capítulo 3, a solução na implementação da indústria de móveis utilizada como modelo seria acoplar as *tags* nos transportadores ou *pallets*. Caso seja uma indústria onde o transportador não acompanha o lote em seu processo produtivo, a *tag* pode simplesmente “avançar” junto com o lote sem estar na peça em si, como se fosse um cartão *Kanban*, passado de atividade em atividade, mas sem ele próprio ser processado.

O fato das peças possuírem baixo valor agregado também foi endereçado pelo sistema nos experimentos realizados, por meio do controle por lotes, onde a rastreabilidade é do lote inteiro de peças e não de uma única peça.

Já o problema de processos poderem ter em sua composição vários subprocessos é solucionado pela rotina que percorre o processo identificando todos os subprocessos e gerando lotes para cada um deles, “explodindo” o processo em vários lotes que serão rastreados individualmente sem a necessidade de execução linear do processo completo. O resultado documentado confirma essa solução, onde os lotes foram gerados a partir de um processo com dois níveis de subprocessos e rastreados de maneira isolada.

Assim, cobre-se a validação dos pontos considerados relevantes pela metodologia de testes adotada, sejam os testes de casos de uso, requisitos ou regras de negócios. Segundo a seção 1.4:

O objetivo geral desse trabalho é, portanto, aplicar o conceito de rastreabilidade da produção oriundo da Indústria 4.0 para o contexto particular de indústria moveleira e validar com uma “metáfora” com bancadas didáticas, por meio da coleta de dados sobre os lotes de peças ao longo de seu processo produtivo.

A partir dos resultados obtidos e das discussões realizadas, julga-se possível afirmar que o trabalho cumpriu o objetivo geral, por meio da coleta e armazenamento de dados de hora de entrada e hora de saída e de entrada em cada atividade do processo produtivo de um lote de peças, aplicando assim o conceito de rastreabilidade da produção derivado da Indústria 4.0 e com uma modelagem específica para o contexto de uma indústria de móveis. O projeto, portanto, é capaz de rastrear um lote de peças de acordo com a metodologia proposta em um ambiente de indústria moveleira, a partir do modelo validado em bancadas didáticas.

8 CONCLUSÕES

A Indústria 4.0 oferece muitas oportunidades e também muitos desafios. Ao escolher um deles, o da rastreabilidade da produção, para propor e implementar uma solução, esse trabalho se tornou uma base para algumas reflexões sobre o tema, alternativas de arquitetura e sugestões de próximos trabalhos.

Uma conclusão importante desse projeto é que na Indústria 4.0, mesmo que em suas diferentes vertentes e conceitos, a palavra de ordem é a integração. As tecnologias individuais necessárias para a implementação dos projetos nesse tema já existem, entretanto, o grande desafio é combiná-las de maneira fluida e que gere algum valor para o consumidor do sistema. Realizar a leitura de uma *tag* RFID ou comunicar-se por OPC com um CLP não é o maior problema de um sistema de rastreamento, mas sim se atentar a todos os detalhes específicos do ambiente industrial e conseguir trazer o ativo final para o usuário, nesse caso os dados de rastreabilidade, de uma maneira distribuída, robusta e principalmente, flexível. Em um mundo que nunca para de mudar e com um volume de dados crescendo vertiginosamente, os projetos sustentáveis a longo prazo são aqueles que conseguem se adaptar e se comunicar, seja com outros sistemas ou seres humanos. Todas essas características apontam novamente para o pilar de sustentação da Indústria 4.0, a integração.

Outro ponto importante e que pode render discussões é o meio para se obter a rastreabilidade dos lotes de produção. O que foi observado na revisão de trabalhos relacionados ao tema, é que em geral o rastreamento se baseia em apenas um método, ao contrário desse projeto onde o RFID e o OPC foram utilizados. O que se conclui é que a arquitetura escolhida depende muito do ambiente em que o projeto será implementado. Em um ambiente com um baixo nível de automação e poucos ou nenhum CLP, não faz sentido a utilização de OPC, sendo que a colocação de um leitor RFID pode acontecer em praticamente qualquer atividade imaginável dentro da fábrica, obtendo-se tanto a hora de entrada quanto a hora de saída por meio do apontamento da *tag* no leitor da atividade. Já em uma planta bastante automatizada, a utilização de OPC é sugerível, mesmo que combinada com o RFID como foi feito nesse trabalho, pois abre-se um leque grande de possibilidades de aplicação. Por exemplo, como o OPC é capaz de ler e escrever em todas as variáveis do CLP, é possível utilizar indicadores de OEE – *Overall Equipment Effectiveness* – precisos e em tempo real. Com a capacidade de escrita também pode-se realizar o controle e *setup* de um equipamento remotamente e de maneira programada.

Assim, as sugestões para próximos trabalhos são justamente explorando essas duas vertentes. Na linha do OEE, esse projeto mostrou alguns indicadores simples de utilização das atividades, ou seja, da permanência de um lote na atividade. Porém, lendo todas as variáveis do CLP é possível explorar outros aspectos, medindo-se tempo morto, tempo de *setup* e tempo efetivamente operando. Esses dados, combinados com os de rastreabilidade, fornecem um ótimo material para um gerente de produção com conhecimento de técnicas de otimização.

A outra linha, do controle remoto do CLP, se combinada com o sistema de rastreamento, pode tornar a linha de produção “inteligente”. Com a informação oriunda do sistema de rastreamento sobre o processo produtivo do lote em determinada atividade, é possível realizar o *setup* e controle do equipamento em tempo real de acordo com o necessário para a fabricação do produto em questão. Isso abre portas para uma flexibilização da produção, tornando-se menos custoso reduzir o tamanho de lotes e até mesmo uma produção individual e personalizada.

As principais dificuldades encontradas no trabalho foram justamente na modelagem e arquitetura do sistema como um todo. Reconhecer as interações da indústria moveleira não é trivial e algumas regras de negócios restringiam opções que em outros ambientes poderiam ser a melhor escolha. Essa metodologia não buscava apenas um sistema de identificação de lotes ao longo de suas atividades, mas um resultado que fosse capaz de integrar os vários subsistemas e dados, por meio de plataformas alinhadas com demandas por simplicidade, usabilidade e eficiência, respeitando a indústria de móveis e suas relações. Assim, mesmo que o componente central do trabalho seja apenas os dados de rastreabilidade obtidos, sua execução por meio das duas plataformas desenvolvidas é uma real tentativa de fornecer uma experiência de qualidade ao usuário, sem se esquecer do objetivo do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, G. et al. **Web Services - Concepts, Architectures and Applications**. Berlim: Springer, 2004.

BELL, M. Modelação Orientada ao Serviço - SOA: análise, design e arquitetura de serviços. 1ª. ed. [S.l.]: Alta Books, 2008. p. 157-178.

CAO, Y. et al. **Collaborative Material and Production Tracking in Toy Manufacturing**. 17th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. Whistler: IEEE. 2013. p. 645-650.

CHAN, P. P. W.; LYU, M. R. **Dynamic Web Service Composition: A New Approach in Building Reliable Web Service**. 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Okinawa: IEEE. 2008. p. 20-25.

CHAPPELL, D. A.; JEWELL, T. **Java Web Services**. Beijing: O'Reilly, 2002.

CHEN, X.; XIE, Z. X.; ZHENG, L. **RFID-based Manufacturing Execution System for Intelligent Operations**. 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Beijing: IEEE. 2009. p. 843-847.

FERREIRA, M. J. B. et al. **Relatório de Acompanhamento Setorial - Indústria Moveleira**. Unicamp/ABDI. [S.l.]. 2008.

FINKENZELLER, K. RFID Handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification. 2. ed. [S.l.]: Wiley, 2003. p. 6-28.

GALINARI, R.; JUNIOR, J. R. T.; MORGADO, R. R. A competitividade da indústria de móveis do Brasil: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial** 37, Março 2013. 227-272.

HESSEL, F. et al. Implementando RFID na cadeia de negócios: tecnologia a serviço da excelência. 1. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009. p. 107-120.

IBGE. Contas Nacionais Trimestrais - Tabelas completas. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>>. Acesso em: 10 Novembro 2016.

JAZDI, N. **Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0**. IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. Cluj-Napoca: IEEE. 2014. p. 1-4.

JOSUTTIS, N. M. SOA in Practice. 1^a. ed. [S.l.]: O'Reilly, 2007. p. 11-34.

KYLE, J. . R. G.; LUDKA, C. R. **Simulating the Furniture Industry**. 200 Winter Simulation Conference. Orlando, FL: Winter Simulation Conference Board. 2000. p. 1347-1350.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, 2014. 239-242.

LEHNHOFF, S. et al. **OPC Unified Architecture: A Service-Oriented Architecture for Smart Grids**. SE-SmartGrids 2012. Zurich: IEEE. 2012.

LUO, Z. et al. **An integrated services framework for location discovery to support location based services**. Asia Pacific Conference on Mobile Technology, Applications and Systems. Guangzhou: IEEE. 2005. p. 7-7.

MAHNKE, W.; LEITNER, S.-H.; DAMM, M. **OPC Unified Architecture**. Berlin: Springer, 2009.

MOLINEROS, J.; SHARMA, R. **Computer vision for guiding manual assembly**. International Symposium on Assembly and Task Planning. Fukuoka: IEEE. 2001. p. 362 - 368.

PRESSMAN, R. S. Software Engineering - A Practitioner's Approach. 7^a. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2010. p. 449-452.

SCHLECHTENDAHL, J. et al. Making existing production systems Industry 4.0-ready. **Production Engineering Research and Development**, 2015. 134-148.

SON, M.; YI, M.-J. **A Study on OPC Specifications: Perspective and Challenges**. 2010 International Forum on Strategic Technology (IFOST). Ulsan: IEEE. 2010.

THOMAS, J. P.; MATHEWS, T.; GHINEA, G. **Modeling of Web Services Flow**. IEEE International Conference on E-Commerce (CEC'03). Newport Beach: IEEE. 2003. p. 391-398.

TURC, T. **Using WEB Services in SCADA Applications**. 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Tirgu-mures: Elsevier. 2014.

VARGHESE, A.; TANDUR, D. **Wireless requirements and challenges in Industry 4.0**. International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). Mysore: IEEE. 2014. p. 634-638.

WANG, J. et al. **RFID Assisted Object Tracking for Automating Manufacturing Assembly Lines**. International Conference on e-Business Engineering. Hong Kong: IEEE. 2007. p. 48-53.

YOON, Y.; DESOUZA, G. N.; KAK, A. C. **Real-time Tracking and Pose Estimation for Industrial Objects using Geometric Features**. International Conference on Robotics and Automation. Taipei: IEEE. 2003. p. 3473 - 3478.

ZETU, D.; BANERJEE, P.; THOMPSON, D. Extended-range hybrid tracker and applications to motion and camera tracking in manufacturing systems. **IEEE Transactions on Robotics and Automation** , v. 16, n. 3, p. 281 - 293, Jun 2000.