



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
ESCOLA DE INFORMÁTICA APLICADA

Indústria 4.0: Análise e simulação de uma nova era industrial.

Yuri Logatto Pamplona

Orientador

Geiza Maria Hamazaki da Silva

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JANEIRO DE 2018

Catálogo informatizada pelo autor

P185 Pamplona, Yuri Logatto
Indústria 4.0: Análise e simulação de uma nova
era industrial. / Yuri Logatto Pamplona. -- Rio de
Janeiro, 2018.
50

Orientadora: Geiza Maria Hamazaki da Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro,
Graduação em Sistemas de Informação, 2018.

1. Indústria 4.0. 2. Quarta Revolução Industrial.
3. Arduino. 4. Lego Mindstorm EV3. I. Silva, Geiza
Maria Hamazaki da, orient. II. Título.

Indústria 4.0

Yuri Logatto Pamplona

Projeto de Graduação apresentado à Escola de
Informática Aplicada da Universidade Federal do
Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) para obtenção do
título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado por:

Dr^a. GEIZA MARIA HAMAZAKI DA SILVA (UNIRIO)

Dr^a. MORGANNA CARMEM DINIZ (UNIRIO)

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.

JANEIRO DE 2018

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha orientadora Geiza Maria Hamazaki da Silva, por todo o apoio dado e pela imensa paciência e dedicação.

Aos meus pais, por todo apoio e suporte.

A minha companheira e amiga Priscilla Camilo, pelo enorme incentivo, encorajamento e carinho.

Aos amigos do estágio, por todos os ensinamentos e total apoio.

E finalmente, mas não menos importante, a todos meus amigos da UNIRIO, que fizeram da faculdade uma das melhores experiências da minha vida.

RESUMO

A Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial é um novo conceito de indústria que engloba as principais inovações tecnológicas nos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A partir de Sistemas Ciber-físicos, Internet das Coisas e Internet dos Serviços, os processos de produção tendem a se tornar cada vez mais eficientes, autônomos e customizáveis.

Nesse contexto, essa monografia tem como objetivo realizar um estudo sobre os princípios que envolvem essa revolução, além de desenvolver uma aplicação que emprega os conceitos tecnológicos relacionados com Sistemas de Informação, utilizando linguagem de programação Java, Arduino e Lego Mindstorm, de forma a apresentar alguns dos conceitos básicos e desafios, relacionados a computação.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial, Arduino, Lego Mindstorm EV3.

ABSTRACT

Industry 4.0 or Fourth Industrial Revolution is a new industry concept that encompasses leading technological innovations in the fields of automation, control and information technology applied to manufacturing processes. From Cyber-physical Systems, Internet of Things and Internet Services, production processes tend to become increasingly efficient, autonomous and customizable.

In this context, this monograph aims to study the principles involved in this revolution, in addition to developing an application that uses the technological concepts related to Information Systems, using Java programming language, Arduino and Lego Mindstorm, in order to present some of the basic concepts and challenges related to computing

Keywords: Industry 4.0, Fourth Industrial Revolution, Arduino, Lego Mindstorm EV3.

Índice

1	Introdução	11
1.1	Motivação.....	11
1.2	Objetivo.....	12
1.3	Organização do texto	12
2	Conceitos Básicos.....	13
2.1	Ferramentas utilizadas.....	17
2.2.1	Arduino UNO e Lego Mindstorm EV3	17
3	Trabalhos relacionados	21
3.1	Futuro das indústrias	21
3.2	Fabricação sustentável na Indústria 4.0	24
3.3	Mecanismos de colaboração para aumentar a produtividade.....	26
3.4	Aplicação real nas indústrias.....	28
3.4.1	Robert Bosch GmbH.....	29
3.4.2	Festo AG & Co. KG.....	29
3.4.3	SAP AG.....	29
4	O Projeto.....	31
4.1	Arquitetura do hardware	31
4.1.1	Arduino UNO.....	32
4.1.2	Lego Mindstorm EV3	36
4.1.3	Esteira.....	38
4.2	Arquitetura do software	40
4.2.1	Cliente/Servidor	40
4.2.2	Interface	40
4.2.3	Caso de Uso	44
5	Conclusão	46
5.1	Considerações finais	46

5.2	Limitações do projeto.....	46
5.3	Trabalhos futuros	47

Índice de Figuras

Figura 1 - Cronologia das revoluções industriais	14
Figura 2 - Tecnologias na Indústria 4.0	15
Figura 3 - Especificações de um Arduino UNO	17
Figura 4 - Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04	18
Figura 5 - Motor de passo 28BYJ-48 + Driver ULN2003.....	19
Figura 6 - Micro servo motor SG90	19
Figura 7 - Lego Mindstorm EV3	20
Figura 8 - Arduino e seus módulos conectados na esteira.....	31
Figura 9 - Lego Mindstorm EV3 sendo utilizado como braço robótico	32
Figura 10 - Sensor infra vermelho do Lego Mindstorm.....	32
Figura 11 - Servo motor se comunicando com o sensor do Lego Mindstorm.....	33
Figura 12 - Lógica do timeout primeiro laço de repetição e condicional do laço	34
Figura 13 - Lógica do timeout segunda condicional do primeiro laço	35
Figura 14 - Lógica do timeout terceira condicional do primeiro laço	35
Figura 15 - Lógica do timeout segundo laço de repetição	36
Figura 16 - Dados sendo escritos na comunicação Serial do Arduino	36
Figura 17 - Amostra dos blocos de código do braço robô	37
Figura 18 - Foto antes e depois da peça que ajuda a utilização do sensor.....	38
Figura 19 - Foto da primeira esteira construída.....	39
Figura 20 - Foto da segunda esteira construída	39
Figura 21 - Estrutura cliente/servidor do projeto.....	40
Figura 22 - Tela de autenticação do programa	41
Figura 23 - Tela do produtor sobre os produtos que passaram pela esteira.....	42
Figura 24 - Tela do Cliente sobre seus produtos	43
Figura 25 - Tela do gráfico de número de atrasos que ocorreram por produção	44
Figura 26 - Caso de uso do software	45

Índice de Tabelas

Tabela 1: Oportunidades de uma manufatura sustentável sob uma visão macro 25

Tabela 2: Oportunidades de uma manufatura sustentável sob uma visão micro 26

1 Introdução

1.1 Motivação

Os avanços tecnológicos impulsionaram a produtividade industrial desde o início da Primeira Revolução Industrial, na qual foram aplicadas as fábricas de motores a vapor, e na etapa seguinte à eletrificação que levou à produção em larga escala, e finalmente na terceira revolução acontece a automatização da produção com o uso da tecnologia de informação.

Desde 2011 vem se concretizando a quarta onda de avanço tecnológico aplicado a indústria conhecida como Indústria 4.0, na qual sensores, máquinas, peças e sistemas de tecnologia da informação estarão conectados ao longo da cadeia de valor¹ e não apenas em uma única empresa.

Com estruturas modulares, sistemas ciber-físicos monitorando processos e a tomada de decisões descentralizadas, a Indústria 4.0 é capaz de fornecer a visão e execução de “Fábricas Inteligentes”, que gerará empregos mais qualificados, será aplicável em todas as áreas de negócios da indústria, atrairá muitos clientes pela sua capacidade de personalizar cada produto de forma única e poderá gerar dados em tempo real sobre a produção. Desta forma atrai atenção de toda a indústria atualmente devido à grande adaptabilidade e evitando desperdícios resultando em mais lucro.

Neste contexto, surgiu a motivação para estudar sobre a Indústria 4.0, e desenvolver o protótipo de uma pequena linha de produção, para exemplificar de forma didática uma parte conceitos envolvidos neste modelo.

¹ A cadeia de valor designa uma série de atividades relacionadas e desenvolvidas pela empresa a fim de satisfazer as necessidades dos clientes, desde as relações com os fornecedores e ciclos de produção e venda até a fase da distribuição para o consumidor final. Cada elo dessa cadeia de atividades está interligado. Disponível em: < <http://www.sobreadministracao.com/cadeia-de-valor-o-que-e-e-pra-que-serve/>>. Acesso em: Novembro de 2017.

1.2 Objetivo

Percebendo a relação que esse novo conceito de indústria possui com novas tecnologias, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo realizar um estudo dos princípios que estão associados a quarta revolução industrial, e desenvolver uma aplicação que utiliza conceitos tecnológicos relacionados com Sistemas de Informação.

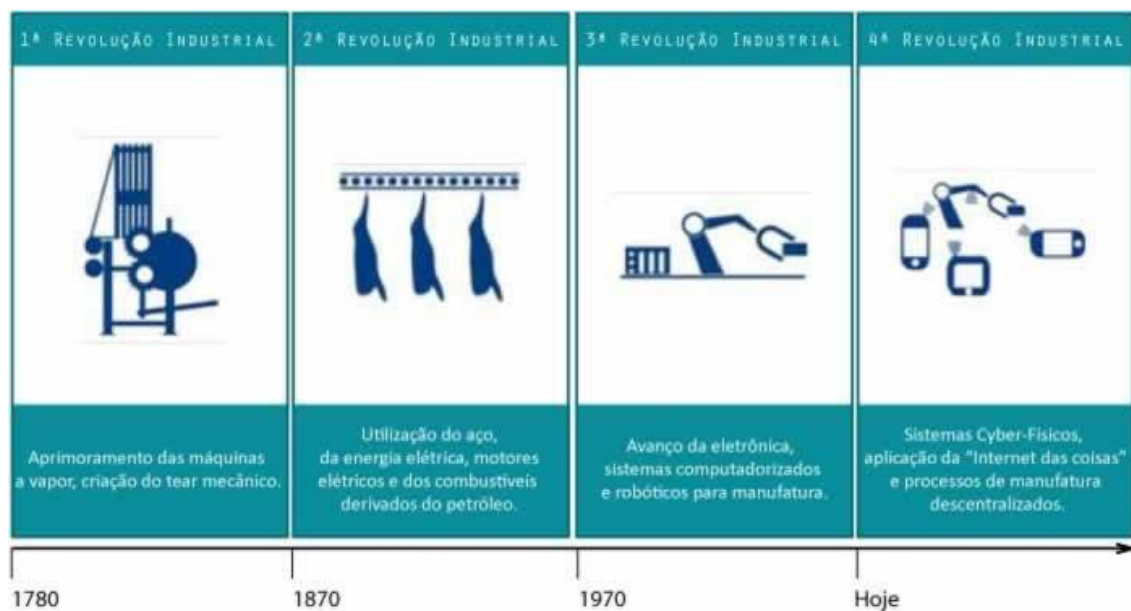
1.3 Organização do texto

O presente trabalho está estruturado em capítulos e, além desta introdução, será desenvolvido da seguinte forma:

- Capítulo II: Introdução e descrição do modelo da Indústria 4.0, além de uma breve apresentação das ferramentas utilizadas no desenvolvimento do protótipo.
- Capítulo III: Resumo sobre estudos realizados sobre Indústria 4.0 e a análise de sua aplicação nas indústrias.
- Capítulo IV: Descrição do projeto realizado para apresentar de forma didática os conceitos básicos da Indústria 4.0.
- Capítulo V: Conclusões – Reúne as considerações finais, assinala as contribuições da pesquisa e sugere possibilidades de trabalhos futuros.

2 Conceitos Básicos

Ao final do século dezoito o uso dos motores a vapor e a utilização inteligente de energia hidrelétrica revolucionaram a produção [3], definindo a primeira revolução industrial. A Segunda, no final do século dezenove, é caracterizada pela introdução da produção em massa com a utilização da energia elétrica. Pouco tempo após a metade do século vinte a terceira revolução industrial se instaurou com o uso de eletrônicos e da tecnologia da informação, fazendo com que a produção ficasse cada vez mais baseada em sistemas controlados por computadores (Figura 1).



Fonte: Site Citisystems²

Figura 1 - Cronologia das revoluções industriais

Segundo o autor Cristiano Bertulucci Silveira:

O termo indústria 4.0 se originou a partir de um projeto de estratégias do governo alemão voltadas à tecnologia. O termo foi usado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011. Em Outubro de 2012 o grupo responsável pelo projeto, ministrado por Siegfried Dais³ (Robert

² Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em Outubro de 2017

³ Físico, gerente de renome internacional e associado da Robert Bosch Industrietreuhand KG (RBIK).

Bosch GmbH⁴) e Kagermann⁵ (acatech⁶) apresentou um relatório de recomendações para o Governo Federal Alemão, a fim de planejar sua implantação. Então, em Abril de 2013 foi publicado na mesma feira um trabalho final sobre o desenvolvimento da indústria 4.0.

Na quarta revolução industrial ou indústria 4.0, os sistemas ciber-físicos se comunicarão entre si, se conectando virtualmente e permitindo coleta, o armazenamento e a transmissão de dados entre si e para os seres humanos. Os sistemas ciber-físicos, enviarão informações entre os dispositivos permitindo que as próprias máquinas possam tomar decisões para melhorar o processo produtivo ou até mesmo reduzir custos. As fábricas consistirão em módulos inteligentes, padronizados que podem se conectar e combinarem-se facilmente, formando uma *network* dentro da fábrica.

Com a capacidade de adaptação dos processos de manufatura através de ferramentas de aprendizado e otimização, os módulos da fábrica regularão seus próprios parâmetros à medida que detectem certas propriedades de produtos que estejam em produção ou que ainda não foram acabados⁷. Este novo padrão vai precisar de novos modelos de negócios, e em um mercado cada vez mais competitivo as empresas buscam unificar aos produtos as necessidades e preferências de cada cliente, ou seja, as empresas para conquistar cada vez mais clientes vão aperfeiçoar cada vez mais a entrega dos seus produtos. As cadeias de suprimentos podem ser mais facilmente controladas quando há dados em todos os níveis do processo de fabricação e entrega. E os resultados para muitas empresas podem ser maiores receitas, participação de mercado e lucros.

A Indústria 4.0 retrata o que pode ser chamado de “fábrica inteligente”, que deve ter como princípio os seguintes aspectos:

- A tomada de decisões descentralizada – A capacidade dos sistemas ciber-físicos tomarem decisões simples de forma autônoma, de acordo com as necessidades da produção em tempo real. As máquinas, não recebem apenas comandos, elas poderão prover dados das operações.

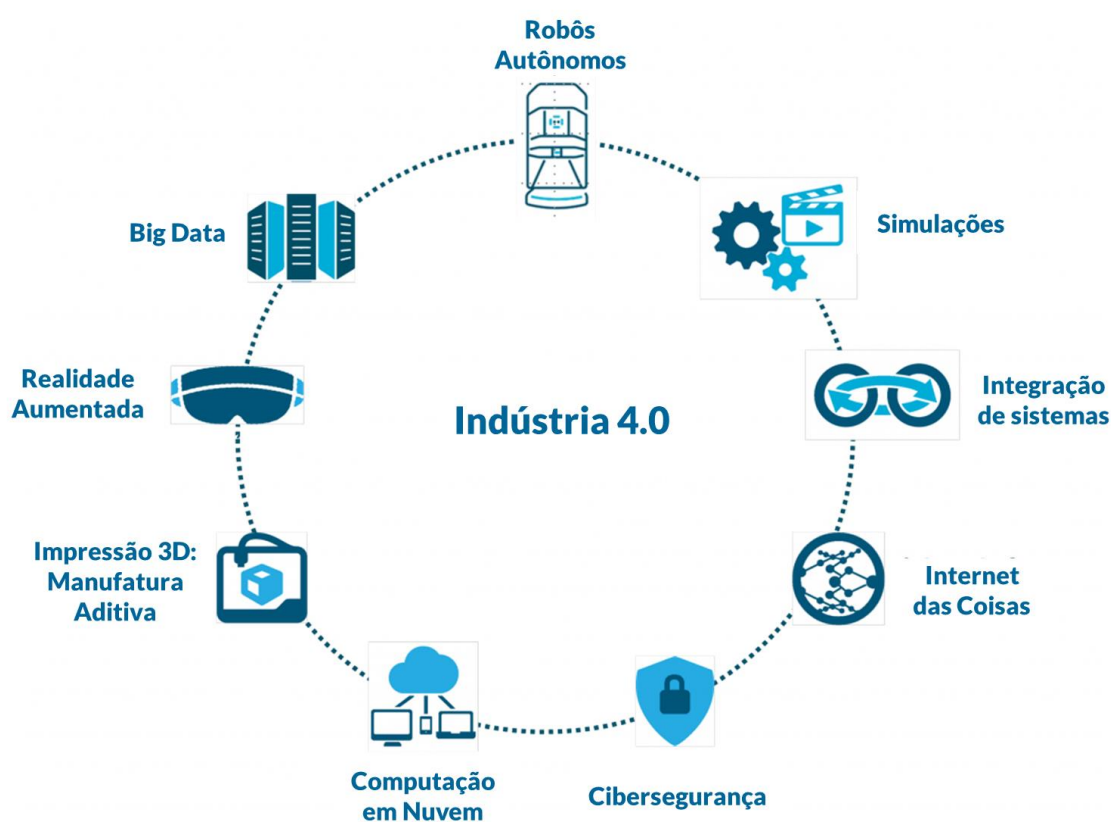
⁴ Empresa multinacional alemã de engenharia e eletrônica

⁵ Físico e empresário alemão.

⁶ Academia Alemã de Ciências e Engenharia < <http://www.acatech.de/> >. Acesso em: Novembro de 2017.

⁷ Disponível em: < http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf >. Acesso em: Outubro de 2017

- Tendência a serviços – Máquinas, dispositivos, sensores e pessoas que se conectam e se comunicam entre si, utilizando arquiteturas orientadas a serviços associado ao conceito de *Internet of Services*⁹.
- Gêmeos Digitais – Os sistemas criam uma cópia virtual do mundo físico através dos dados dos sensores para contextualizar a informação. O que permite uma rastreabilidade e monitoração remota de todos os processos.
- Modularidade – A produção vai possuir diversos módulos, e será executada de acordo com a exigência, conexão e desconexão dos mesmos. O resultado é uma flexibilidade para alterar as tarefas das máquinas.



Fonte: Site O futuro das coisas¹⁰

Figura 2 - Tecnologias na Indústria 4.0

Como acontece com qualquer mudança de paradigma, há desafios inerentes à adoção de um modelo da Indústria 4.0, com bases nos princípios acima citados (Tomada

⁹ Além do monitoramento de objetos a Internet dos Serviços também pode ser usada para extrair dados e fornecer informações críticas sobre a forma como os dispositivos estão funcionando e suas atividades.

¹⁰ Disponível em: <<http://ofuturodascoisas.com/a-industria-4-0-vai-transformar-o-mundo/>>. Acesso em Outubro de 2017

de decisões descentralizada, Tendência a serviços, Gêmeos Digitais e Modularidade), essa realidade é possível dado os avanços tecnológicos da última década (ver Figura 2). Exemplificando algumas dessas tecnologias:

-Internet das Coisas, que representa a conexão em rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas, por meio de dispositivos eletrônicos embarcados que permite a coleta e a troca e o processamento de dados;

-*Big Data*, massas de dados grandes e complexas que trabalham com novos comportamentos na apreensão, avaliação e administração de informações;

-Cibersegurança, desafio essencial para quem almeja o sucesso na Indústria 4.0, a segurança e robustez dos sistemas de informação deve ser um dos principais alvos para ser atingidos. Pelo fato de que qualquer falha de transmissão entre as máquinas, ou até eventuais *lags*¹¹ no sistema podem causar contratempos na produção. Com toda conectividade será imprescindível sistemas que sejam capazes de defender todas as informações da companhia.

Com fábricas mais modernas, novas demandas surgirão, enquanto algumas deixarão de existir. Os trabalhos manuais e repetitivos, que vêm sendo substituídos por mão de obra automatizada, com a Indústria 4.0 isso tende a continuar, por outro lado, as demandas em pesquisa e desenvolvimento vão oferecer oportunidades para profissionais tecnicamente capacitados.

Essa transformação é orientada a eficiência energética, integração da cadeia produtiva e orientação produtiva via Inteligência de negócios (*Business Intelligence*), onde a estruturação técnica levará ao controle de processos descentralizado, os ativos estarão on-line e as tomadas de decisões serão baseadas no *Big Data*.

Na próxima seção serão apresentadas as ferramentas utilizadas na prova de conceito a ser apresentada nessa monografia, que propõe o uso de módulos que são capazes de se comunicar de alguma forma entre si, representando assim conceitos de Modularidade de Internet das Coisas.

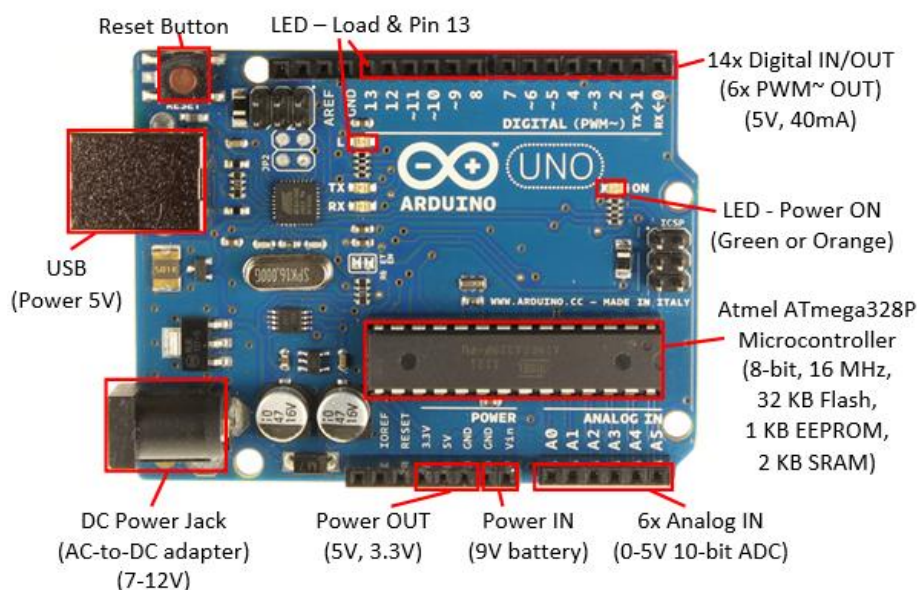
¹¹ Intervalo de tempo entre o início de uma atividade e o momento em que os efeitos desta se tornam aparentes. Disponível em: < <https://www.tecmundo.com.br/video-game-e-jogos/2163-o-que-e-lag-.htm>>. Acesso em Novembro de 2017

2.1 Ferramentas utilizadas

Nessa seção serão citadas as tecnologias de hardware utilizadas no projeto (capítulo 4), que foi implementado nesta monografia.

2.2.1 Arduino UNO e Lego Mindstorm EV3

A placa Arduino foi criada com o objetivo de produzir um dispositivo que fosse barato, útil e fácil de programar, acessível assim a estudantes e projetistas entusiastas. Este adota o conceito de *open-source*¹³.



Fonte: Site da Nanyang Technological University Singapore¹⁴

Figura 3 - Especificações de um Arduino UNO

Os esquemas da placa Arduino utilizam microprocessadores e controladores diversificados. Estes possuem conjuntos de pinos de entrada e saída, digitais e analógicos (E / S) com a capacidade de comunicar-se com outras placas de expansão (escudos) com e outros circuitos. As placas têm interface de comunicação serial incluindo USB em certos modelos, utilizados também para carregar os programas. Os microcontroladores são programados utilizando uma linguagem semelhante a C e C++, entretanto é possível utilizar outras linguagens de programação, como Java.

¹³ Qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar, partindo do mesmo hardware básico.

¹⁴ Disponível em: <<https://www.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/arduino/Arduino.html>>. Acesso em Outubro de 2017

O Arduino também fornece um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). Para esse projeto foi utilizado o Arduino UNO, ver Figura 3.

Em projetos com o Arduino é comum o uso de diversos módulos para aumentar as funcionalidades a serem utilizadas. Os módulos utilizados no projeto são citados abaixo:

- Os sensores ultrassônicos HC-SR04 (Figura 4), são compostos por um emissor e um receptor de ondas sonoras, que emitem frequências altíssimas, que são imperceptíveis a audição humana. Em seu funcionamento o sinal sonoro é emitido, que reflete quando atinge um obstáculo, durante esse processo é contabilizado um tempo, logo é possível conhecer quanto tempo levou até o sinal chegar ao obstáculo, pelo fato da velocidade do som no ar ser conhecida, é possível, calcular a distância entre o sensor e o obstáculo¹⁵.



Fonte: Site FilipeFlop¹⁶

Figura 4 - Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04

- O motor de passo 28BYJ-48 (Figura 5) é um motor elétrico que desloca um ângulo, pré-definido, para cada pulso recebido de um driver de controle. O número de passos é exatamente o mesmo número de pulsos recebidos, e a velocidade será igual a frequência de pulsos.¹⁷

¹⁵ Disponível em: < <http://blog.fazedores.com/sensor-ultrassonico-com-arduino/>>. Acesso em: Outubro de 2017.

¹⁶ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>>. Acesso em: Outubro de 2017

¹⁷ Disponível em: < <http://blog.fazedores.com/serie-motores-introducao-ao-motor-de-passo/>>. Acesso em: Outubro de 2017.



Fonte: Site FilipeFlop¹⁸

Figura 5 - Motor de passo 28BYJ-48 + Driver ULN2003

- O micro servo motor SG90 (Figura 6) é um dispositivo de malha fechada, seu funcionamento é por meio do recebimento de um sinal de controle (uma tensão¹⁹) aplicado, movendo assim para uma posição pré-determinada.²⁰



Fonte: Site REES 52²¹

Figura 6 - Micro servo motor SG90

¹⁸ Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/motor-de-passo-driver-uln2003-arduino/>>. Acesso em Outubro de 2017

¹⁹ Também conhecida como diferença de potencial (DDP), é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos ou a diferença em energia potencial elétrica por unidade de carga elétrica entre dois pontos. Disponível em < <https://www.infoescola.com/fisica/tensao-eletrica/>>. Acesso em Dezembro de 2017.

²⁰ Disponível em: < <https://www.usinainfo.com.br/servo-motores/micro-servo-motor-9g-sg90-tower-pro-180-2299.html>>. Acesso em Outubro de 2017.

²¹ Disponível em: < <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5164-mec066a>>. Acesso em Outubro de 2017.

3 Trabalhos relacionados

O termo indústria 4.0 se refere à quarta revolução industrial e envolve novos conceitos e princípios. Neste capítulo, será realizada algumas reflexões sobre este tema, através de definições e aplicações, tendo como base trabalhos relevantes encontrados na literatura.

3.1 Futuro das indústrias

A indústria 4.0 possui aspectos que devem ser considerados em relação ao planejamento empresarial, as novas oportunidades e seus desafios. Estes podem ser classificados como: científicos, tecnológicos, econômicos, sociais e políticos.

Entre os desafios tecnológicos, pode-se ressaltar a necessidade do desenvolvimento de dispositivos inteligentes, pois, uma fábrica que opera com tecnologias da indústria 4.0 requer uma quantidade superior de dispositivos artificiais, que reduzirá o envolvimento de mão de obra na produção de um produto, entretanto os diferentes tipos de fábricas precisam de diferentes configurações para cada dispositivo. Para resolver este desafio é necessário grande investimento, de tempo e de dinheiro antes dos dispositivos serem implementados na produção em uma fábrica da indústria 4.0 [3].

Todos os elementos na Indústria 4.0, por exemplo, equipamentos, máquinas, produção, aplicações, produtos e serviços gerarão dados. A Integração em tempo real e a análise dos dados no processo da produção industrial deve ser assegurado de modo que, os recursos da cadeia de produção sejam otimizados. Por enquanto, pesquisas e aplicações no campo de *big data* industrial não estão suficientemente maduras e todas as áreas do *hardware* e *software* precisam de melhorias para essa nova era industrial [3].

Atualmente, cada vez mais, os consumidores querem produtos e serviços exclusivos. Com isso, um desafio econômico da indústria 4.0 é ter itens, produtos e máquinas inteligentes que permitirão aos fabricantes chegar ao um tamanho de lote e produzir produtos personalizados sem custo extra. A digitalização levará a um maior conhecimento sobre os clientes, que levará a um processo de design mais eficiente.

A sociedade reconhece cada vez mais os riscos da globalização, da redução dos postos de trabalho e da escassez de recursos. As restrições de energia, recursos

ambientais, impactos sociais e econômicos devem ser colocados em primeiro plano em detrimento a geração de lucros e a realização do crescimento, fazendo com que as empresas adotem uma perspectiva de longo prazo. Os pesquisadores tem em mente que as soluções a serem propostas para a Indústria 4.0 deve abordar esses desafios.

A mudança para esse novo conceito industrial exige uma estratégia de implantação [3], que consiste em:

- Construir uma *network* dentro da empresa com o uso de sistemas Ciber-físicos que irão conectar todos os dispositivos à Internet.
- Entender sobre fabricas e produção inteligentes.
- Realizar três integrações: **integração horizontal**, que se refere a integração entre determinado recurso e uma rede de informação na empresa; **integração vertical**, na qual os sistemas inteligentes ligados na rede da fábrica e a customização personalizada da manufatura; **integração de ponta a ponta**, onde a integração ocorre através de toda a cadeia de valor²³ que será implementada em cada ponta da cadeia, obtendo uma cadeia de valor digital com integrações entre diferentes empresas.
- Realizar oito objetivos de planejamento: (1) Padronização de sistemas e construção de uma arquitetura de referência²⁴, (2) Gerenciamento eficiente, sistemas grandes e complexos que precisaram ser gerenciados de forma eficiente, (3) Estabelecimento de uma infraestrutura de banda larga industrial abrangente e confiável, (4) Proteção e segurança, (5) Organização e design do trabalho, (6) Formação de pessoal e desenvolvimento profissional contínuo, (7) Estabelecimento de um *framework* regulamentar, (8) Melhorar a eficiência no uso de recursos.

²³ A cadeia de valor designa uma série de atividades relacionadas e desenvolvidas pela empresa a fim de satisfazer as necessidades dos clientes, desde as relações com os fornecedores e ciclos de produção e venda até a fase da distribuição para o consumidor final. Cada elo dessa cadeia de atividades está interligado. Disponível em: < <http://www.sobreadministracao.com/cadeia-de-valor-o-que-e-e-pra-que-serve/>>. Acesso em: Novembro de 2017.

²⁴ Arquitetura de Referência é um tipo especial de arquitetura de software e refere-se a uma arquitetura que engloba o conhecimento sobre como projetar arquiteturas de software concretas dos sistemas de um determinado domínio de aplicação. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/definicao-de-arquiteturas-de-referencia/33423>>. Acesso em Novembro de 2017.

Outro aspecto da quarta revolução industrial é que esta pode ser separada em duas visões [5], que são representadas da seguinte maneira: Uma perspectiva macro, que inclui a integração horizontal e a engenharia de ponta a ponta, a qual é caracterizada por uma *network* de módulos de criação de valor²⁵, esses módulos estão ligados em todo o processo de vida do produto, criando uma *network* inteligente de módulos que cobre toda a cadeia de produção de diferentes produtos. Essa *network* inteligente fornece um ambiente para novos modelos de negócio diferentes dos atuais [5].

A perspectiva micro, que inclui as três integrações (horizontal, vertical e de ponta a ponta), é caracterizada pelas conexões de módulos de criação de valor ao longo do fluxo de produtos da fábrica inteligente, integrando também uma logística inteligente. Ela descreve o cruzamento inteligente dos fatores de criação de valor: produto, equipamento e pessoas. Este módulo corresponde a um sistema Ciber-físicos incorporando equipamentos de fabricação, como ferramentas mecânicas ou de montagem que usam sistemas de sensores para identificar e localizar os fatores de criação de valor, bem como para monitorar os processos de fabricação (processos de corte, montagem ou transporte). Com base nos dados monitorados os atuadores aplicados no equipamento de fabricação podem reagir em tempo real a mudanças específicas do produto. A comunicação e troca de dados inteligentes entre os fatores de criação de valor, o módulo de criação de valor e o equipamento de transporte, estão sendo executados através de sistemas em nuvem [5].

Em resumo, o núcleo da estratégia da indústria 4.0 é baseada em manufaturas inteligentes usando sistemas Ciberfísicos para mudar de uma produção centralizada para uma produção descentralizada. Ela é flexível e complexa, e envolve tecnologias nas áreas de manufatura digital, comunicação em rede, automação e outras. O básico de sua implementação é fundamentado em design digital, simulações, processos altamente automatizados, gerenciamento dos dados da produção em rede e no processo da produção [3].

A realidade aumentada está presente na indústria 4.0, pois é capaz de auxiliar trabalhadores em ambientes industriais onde a produção está em constante mudança, através de um conjunto de dados de interface de usuário para tarefas comuns em ambientes industriais. Por exemplo em [4] é apresentado um exemplo que consiste em

²⁵ O desempenho de ações que aumentam o valor de bens, serviços ou até mesmo uma empresa. Muitas empresas agora se concentram na criação de valor, tanto no contexto da criação de melhor valor para os clientes que compram seus produtos e serviços, como também para os acionistas da empresa que desejam ver sua participação apreciar em valor. Disponível em: <<http://www.businessdictionary.com/definition/value-creation.html>>. Acesso em Novembro de 2017.

pegar uma enorme quantidade de componentes de uma estante e monta-los, quando um operador de peças chega à estação de montagem manual, as informações da memória do produto digital são lidas. Com base nessas informações, o sistema de realidade aumentada determina uma sequência apropriada de ações de seleção e montagem. Para cada passo nesta sequência, um gráfico correspondente é gerado e exibido para o usuário.

O trabalho realizado por V. Paelke [4] representa um sistema de transporte modular, semelhante a uma esteira, que levam peças até o operador para que assim possa ocorrer a montagem manual [4]. Um dos objetivos principais do trabalho deste trabalho era conduzir experimentos com diferentes técnicas de realidade aumentada para estabelecer, quais poderiam ser aplicadas em diferentes tarefas, ambientes, tipos de usuários e configurações de *hardware*.

Através de testes com várias centenas de usuários, pode-se mostrar que realidade aumentada é um conceito de interface de usuário muito promissor neste meio.

O conceito de sustentabilidade é muito atual, desta forma o novo modelo industrial associa a manufatura com tecnologia de ponta com este conceito. Como será visto na seção a seguir.

3.2 Fabricação sustentável na Indústria 4.0

A nova revolução industrial, possui oportunidades de se fazer uma manufatura sustentável, pois a alocação de recursos, ou seja, produtos, materiais, energia e água, pode ser realizada de forma mais eficiente com base nas duas perspectivas (macro e micro) citadas na seção 3.1. Além disso a Indústria 4.0 vem em um ótimo momento para abordar as três dimensões de sustentabilidade: econômica, social e ambiental. Para a visão macro pode-se ser dividida em duas oportunidades: o de modelos de negócio e uma rede de criação de valor, ver Tabela 1.

Tabela 1: Oportunidades de uma manufatura sustentável sob uma visão macro

Modelos de negócio	Rede de criação de valor
Modelos de negócios sustentáveis criam ou reduzem significativamente impactos positivos e negativos para o meio ambiente ou a sociedade, ou podem até contribuir fundamentalmente para resolver um problema ambiental ou social.	Permite a coordenação eficiente dos fluxos de produtos, materiais, energia e água ao longo dos ciclos de vida do produto, bem como entre diferentes fábricas. Os ciclos de vida do produto de ciclo fechado ajudam a manter os produtos em ciclos de vida de fases de uso múltiplo com remanufatura ou reutilização no meio.

Fonte: Artigo, Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 – tradução do autor²⁶

Os modelos de negócios orientados pelo uso de dados inteligentes para oferecer novos serviços devem ser explorados para fixar novos modelos de negócios sustentáveis, que são caracterizados pela competitividade no longo prazo [7]. Neste contexto, vender a funcionalidade e a acessibilidade de produtos em vez de apenas vender os produtos tangíveis será um conceito líder.

As redes de criação de valor na Indústria 4.0 oferecem novas oportunidades para a realização de ciclos de vida de produtos em ciclo fechado, como apresentado na tabela 1. Outro efeito benéfico causado pelas redes de criação de valor é a simbiose industrial consiste na cooperação de diferentes fábricas (de várias empresas) para a obtenção de uma vantagem competitiva através do comércio e troca de produtos, materiais, energia, água e também dados inteligentes.

A visão micro divide-se em cinco tópicos: equipamentos, pessoas, corporação, processo e produto (Tabela 2).

²⁶ Tabela 2 do artigo.

Tabela 2: Oportunidades de uma manufatura sustentável sob uma visão micro

Equipamentos	Pessoas	Corporação	Processo	Produto
A modernização permite uma maneira fácil e econômica de atualizar os equipamentos de fabricação existentes com sistemas de sensores, bem como com as lógicas de controle relacionadas para superar a diversidade de equipamentos nas fábricas. Estende o tempo de uso ou facilita a aplicação em um outro equipamento. É adequado para pequenas e médias empresas, sendo uma alternativa de baixo custo para a aquisição de novos equipamentos.	Três abordagens sustentáveis diferentes podem ser usadas para lidar com o desafio social na indústria 4.0. Aumentar a eficiência de treinamento dos trabalhadores, combinando novas tecnologias ICT. Aumentar a motivação intrínseca e promover a criatividade, estabelecendo novas abordagens baseadas em CPS de organização e design do trabalho. Aumentar a motivação extrínseca, implementando sistemas de incentivo individuais para o trabalhador.	Uma corporação descentralizada orientada para o futuro em uma fábrica inteligente concentra-se na alocação eficiente de produtos, materiais, energia e água, levando em consideração as restrições dinâmicas da CPS, por exemplo da logística inteligente, da rede inteligente, do suprimento auto-suficiente ou do cliente.	O design sustentável de processos aborda a abordagem holística de eficiência de recursos da Indústria 4.0, criando cadeias de processos de fabricação apropriadas ou usando novas tecnologias, como ferramentas internamente refrigeradas.	A abordagem para o design sustentável de produtos na indústria 4.0 centra-se na realização de ciclos de vida em ciclo fechado para produtos, permitindo a reutilização e remanufatura do produto específico ou aplicando princípios de berço a base. Diferentes abordagens também se concentram na concepção para o bem-estar do consumidor. Esses conceitos podem ser suportados pela aplicação de sistemas de identificação.

Fonte: Artigo, Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0²⁷ - tradução do autor

O equipamento de fabricação em fábricas muitas vezes é um bem capital com uma longa fase de uso. Com o novo conceito de indústria será possível estender a fase de uso para melhorar tanto o meio ambiente quanto a economia da empresa. As pessoas estarão em ambientes mais seguros e aumentarão sua eficiência, combinado com novas tecnologias como por exemplo realidade virtual. Com processos sustentáveis será possível criar uma produção eficiente pois todo o processo será quantificado utilizando assim os recursos necessários [5].

3.3 Mecanismos de colaboração para aumentar a produtividade

Para aumentar a produtividade, existem facilitadores essenciais da Indústria 4.0, como os mecanismos de colaboração. Na literatura, na maioria dos casos, diz que a mudança industrial é motivada pelo alto potencial de crescimento da produtividade, entretanto a própria indústria produtora é responsável por iniciar medidas para lucrar com a mudança social e tecnológica [1]. Precisa haver a criação de pré-condições necessárias no sistema de produção, classificadas em dois níveis, alocação para o mundo *cyber* ou físico e a distinção entre componentes de *hard* ou *soft*. Esta categorização leva a quatro pré-condições principais: globalização da tecnologia de informação, fonte única de verdade, automação e cooperação [1].

O objetivo principal do aumento da colaboração em prol da produtividade no contexto da Indústria 4.0 é: menor custo por peça. Para alcançar esse objetivo e entender

²⁷ Tabela 3 do artigo.

as correlações, é necessário medir os efeitos nas duas áreas principais de uma empresa produtora, a produção e a engenharia, utilizando dois índices: o retorno na engenharia e retorno na produção. Além disso, também é preciso um aprimoramento da capacidade de tomada de decisão.

O retorno na engenharia diminui diretamente dos custos iniciais por peça, através de um processo de desenvolvimento qualitativamente melhor e significativamente mais rápido. Os custos de desenvolvimento são menores, de modo que cada peça fabricada custa menos no final.

Ao contrário do retorno na engenharia, **o retorno na produção**, , permite custos menores por peça em uma fase posterior do ciclo de vida de um produto, isto é obtido através da melhoria contínua dos processos de produção em combinação com cadeias de processo mais curtas, reduzindo os custos por peça a cada unidade fabricada.

Os ganhos na engenharia e na produção são possíveis através de mecanismos principais [1], na engenharia pode-se citar:

- **Processos de desenvolvimento de produtos radicalmente curtos.** Para acompanhar a velocidade de inovação dos competidores industriais, é essencial para uma empresa comprimir radicalmente o processo de desenvolvimento de produtos. Com as novas tecnologias da indústria 4.0, por exemplo, novos conceitos de fabricação de ferramentas, serão misturados, para que assim o tempo de desenvolvimento de produtos seja minimizado [8];
- **Engenharia virtual de cadeias de valor completas.** Esta é fundamentada na reprodução da complexidade de toda a cadeia de valores, através da simulação das redes globais de produção²⁸, por software, de forma abrangente e ajudando a otimizar todo o design e a configuração dessas redes. Com a combinação de simulações, os produtos podem ser desenvolvidos iterativamente. Isso significa que ao desenvolver um produto, sua produção pode ser simulada, de modo que as barreiras possam ser expostas e eliminadas desde o início [9].

Entre os mecanismos principais na produção vale citar:

²⁸ As redes globais de produção (GPN) são um conceito em literatura de desenvolvimento que se refere à “relação de funções, operações e transações interligadas através das quais um produto ou serviço específico é produzido, distribuído e consumido.” Disponível em <<https://academic.oup.com/joeg/article/8/3/271/938286>>. Acesso em Dezembro 2017.

- **Cadeias de valor curtas revolucionárias.** Devido à tendência à personalização, as variantes em diversos ramos da produção aumentam. As máquinas geralmente são capazes de executar apenas uma tarefa distinta e não possuem a integração de múltiplas funções. A produção de diferentes variantes em uma linha de produção aumenta significativamente a complexidade do sistema de produção. É por isso que as máquinas no futuro próximo devem integrar diferentes funcionalidades e etapas de processamento [10].
- **Melhor desempenho do que projetado.** Teoricamente já é possível a criação de sistemas completos de produção auto otimizáveis com pequenas falhas apenas em sua implementação [11]. Uma vez trabalhando com precisão estes sistemas reduzirão a carga de trabalho e funcionarão próximos ao ponto de operação eficientemente ideal. Sua alta flexibilidade e reatividade proporciona vantagens em relação as máquinas já existentes de autoaprendizagem, podendo se adaptar a impactos repentinos ou mudanças no processo de produção. No futuro é esperado que os sistemas de auto otimização alcancem objetivos ainda maiores sendo construídos de maneira que superem a eficiência dos sistemas atuais [1].

Uma das principais características da Indústria 4.0 é um aumento na produtividade pela colaboração [1]. É necessário utilizar um sistema com os quatro mecanismos de colaboração para permitir aumento da produtividade, este sistema consiste em dois indicadores, retorno na engenharia e retorno na produção, ambos os indicadores possuem métodos concretos para aumentar a produtividade.

Na seção a seguir serão mostradas as perspectivas de empresas que já estão utilizando os conceitos da nova revolução industrial e os aplicando no dia a dia.

3.4 Aplicação real nas indústrias

Algumas empresas na Alemanha já estão desenvolvendo e implementando as tecnologias da Indústria 4.0[2], nesta seção são apresentadas a atuação e a opinião de algumas destas sobre a nova era industrial.

3.4.1 Robert Bosch GmbH

A empresa Robert Bosch GmbH²⁹ é uma multinacional alemã de engenharia e eletrônica, fornecedora global de tecnologia e serviços, e está implantando as novas tecnologias e softwares da Indústria 4.0 em sua própria base de fabricação, além de desenvolver soluções para outras empresas na área. Por exemplo, está construindo equipamentos inteligentes para fábricas nas indústrias farmacêuticas e alimentícias. Na opinião da companhia, o *networking* e a digitalização ajudam a otimizar a cadeia de produção, pois os clientes não são mais obrigados a escolher um produto constante, agora eles são capazes de combinar unicamente diversas funções e componentes únicos. Essa diversidade vai ser tornar algo lucrável para as empresas, porque não será um processo de manufatura custoso e agradará um número maior de consumidores, consequentemente aumentando o tamanho do mercado e a rotatividade [2]. E assim, essa queda de custos será inversamente proporcional ao aumento de clientes satisfeitos.

3.4.2 Festo AG & Co. KG

A companhia Festo AG & Co. KG³⁰ é uma fornecedora internacional de tecnologia e processos de automação para empresas. Ela colabora para que as recomendações sobre a Indústria 4.0 feitas pela *Industry-Science Research Alliance*³¹ sejam mantidas. Como por exemplo: que os sistemas sejam tolerantes a interrupções, para uma aplicação denominada de Fábrica Resiliente. Esta companhia afirma que a ideia da Indústria 4.0 já está sendo seguida, como por exemplo pela Grã-Bretanha pelos Estados Unidos, e acredita que ideias que se mostram um sucesso não ficam limitados apenas a uma companhia ou um país, mas o gera um desenvolvimento que será aceito internacionalmente.

3.4.3 SAP AG

A SAP AG³² é uma empresa Alemã, líder em softwares de gestão de empresas, que está envolvida em diversos projetos e iniciativas de pesquisa publica da Indústria 4.0 e contribuiu para o artigo de recomendação emitido pela acatech³³[6]. Ela fornece uma

²⁹ < <https://www.bosch.com/> >. Acesso em Novembro de 2017.

³⁰ < <https://www.festo.com/> >. Acesso em Novembro de 2017.

³¹ Grupo de consultoria Alemão que possui dezenove representantes da ciência e da indústria para acompanhar a estratégia de alta tecnologia das iniciativas interministeriais de política de inovação.

³² < <https://www.festo.com/> >. Acesso em Novembro de 2017.

³³ Academia Alemã de Ciências e Engenharia < <http://www.acatech.de/> >. Acesso em Novembro de 2017.

abordagem chamada de Ideia de Desempenho que auxilia as empresas a desenvolverem um novo modelo de negócio e um novo roteiro para implementar cenários da Indústria 4.0, utilizando soluções como *Big Data*, Visualização 3D, *Cloud* e Mobilidade para criar novas visões e conectar parceiros e consumidores. A companhia afirma que a quarta revolução industrial é algo global, tanto para os crescentes mercados da China ou Índia quanto para manufaturas mais conservadoras como a Alemanha, Estados Unidos, Coreia e Japão. Não importa onde seja, as empresas podem se preparar com os cenários da Indústria 4.0 para as mudanças que estão chegando nessa nova revolução industrial.

Neste capítulo foram apresentadas os conceitos e princípios da indústria 4.0 baseados em alguns trabalhos relevantes encontrados na literatura e também a atuação e opinião de três empresas que já estão aplicando esse novo conceito. No capítulo seguinte é apresentado a descrição do projeto desta monografia que, demonstra de forma didática alguns dos princípios da quarta revolução industrial.

4 O Projeto

Neste capítulo são apresentados os recursos utilizados no caso de estudo para a realização do projeto, atendendo o objetivo de construir um exemplo para o entendimento dos conceitos e desafios, relacionados a área de computação no contexto da indústria 4.0. Este estudo é realizado através de um protótipo de uma esteira modularizada que conta objetos, mede sua altura, envia os dados coletados para um servidor via Serial e se comunica com um braço robótico através de sensores. A confecção do protótipo, ficou dividida em duas partes: hardware e software.

4.1 Arquitetura do hardware

O hardware do projeto é composto por um Arduino UNO e seus módulos (Figura 8), para automatizar uma esteira, que possui uma estrutura feita de madeira e Napa³⁴. Para colocar as caixas na esteira foi posto um braço robô feito com o Lego Mindstorm EV3 (Figura 9). Foram utilizados dois módulos HC-SR04 (Figura 4) para contar as caixas e medir as alturas das mesmas, um motor de passo (Figura 5) para fazer a esteira girar, e um servo motor (Figura 6) para se comunicar com o braço robótico que possui um sensor infravermelho (Figura 10) para finalizar a comunicação.

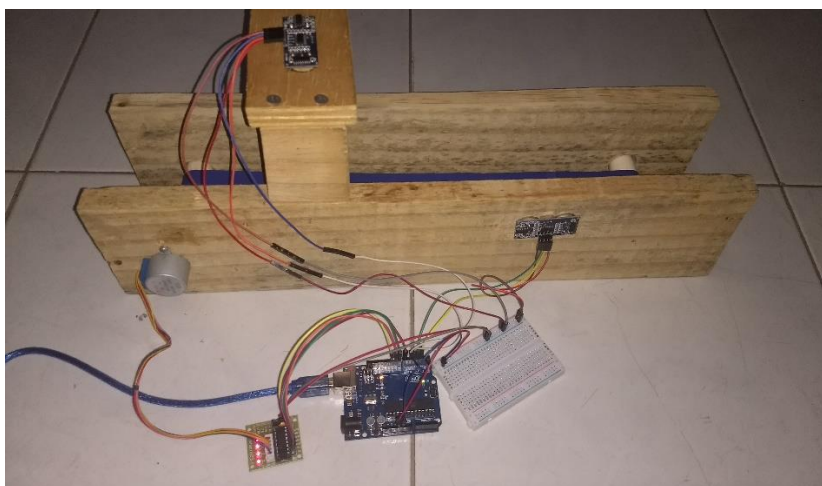


Figura 8 - Arduino e seus módulos conectados na esteira

³⁴ Imitação de pele com qualidade e robustez superior. Também conhecido como Napa, é um material sintético com textura semelhante à pele. Disponível em: <<https://www.rieraalta.com/napas/858-napa-preto.html>>. Acesso em Outubro de 2017.

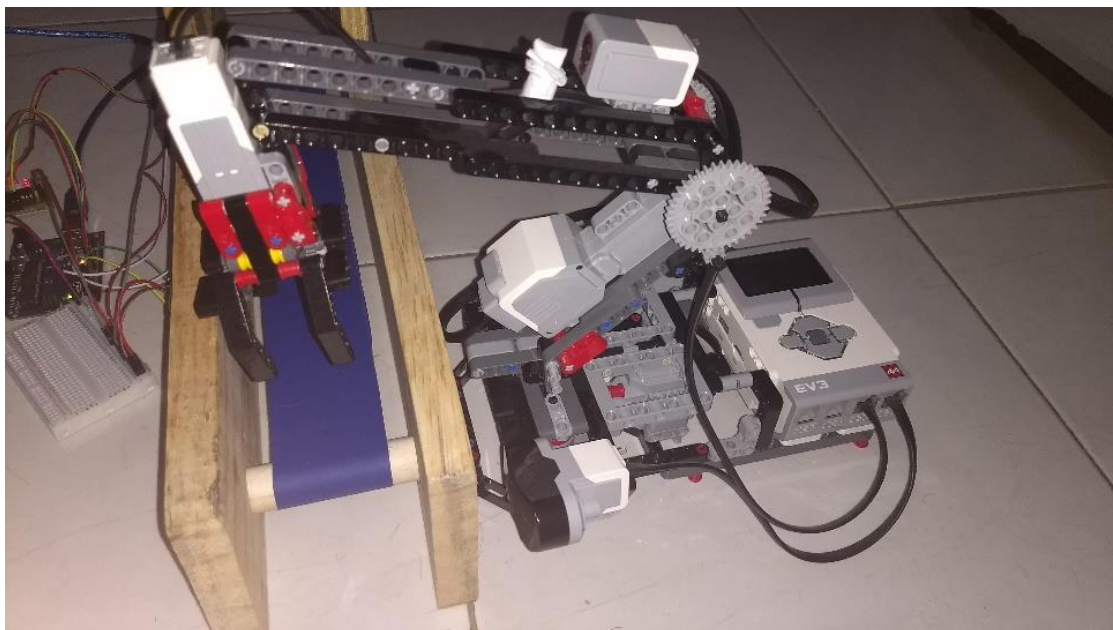


Figura 9 - Lego Mindstorm EV3 sendo utilizado como braço robótico



Figura 10 - Sensor infravermelho do Lego Mindstorm

4.1.1 Arduino UNO

Os sensores de distância foram utilizados na contagem de objetos e na medição das alturas, o motor foi responsável por fazer o movimento de rolamento da esteira, e o

servo motor tem a função de ser a ponte de comunicação entre o Arduino e o Lego Mindstorm, de forma mecânica, dado que o último é uma plataforma que não permite a troca de informações com outros softwares, de forma trivial, quando ocorrer um problema, na produção, o servo rotaciona para que o braço robótico (Lego) pare de colocar os objetos na esteira (Figura 11). Vale ressaltar que as funcionalidades de contagem dos objetos, medição de altura, movimento da esteira e envio de dados para o servidor se comunicam diretamente com o Arduino através dos módulos apresentados na seção 2.2.

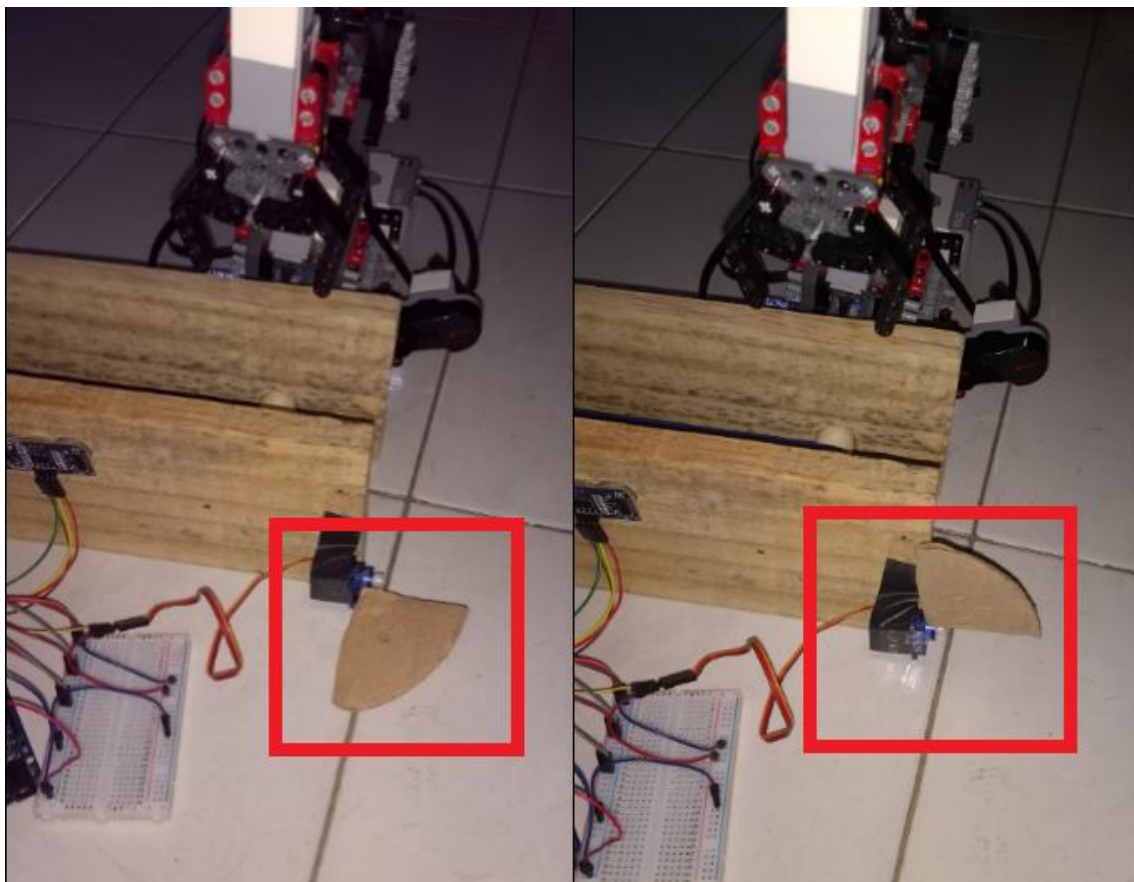


Figura 11 - Servo motor se comunicando com o sensor do Lego Mindstorm

A codificação no Arduino, utiliza um dialeto semelhante aos presentes nas linguagens de programação C e C ++ seguindo regras únicas de estruturação de código. Na programação do Arduino sempre são utilizados dois métodos, *setup()* e o *loop()*. O primeiro método é chamado, e apenas uma vez, assim que o Arduino liga, o segundo é acionado logo após a execução do *setup* e tem *loop* eterno, permitindo que o programa seja executado.

Para a esteira funcionar da maneira esperada foi aplicado uma temporização utilizando um *timeout*. Quando algum módulo para de funcionar, o servo motor se move para acionar o sensor do braço robótico, que interpreta o mal funcionamento da esteira e não coloca mais objetos na mesma.

A utilização do *timeout* foi possível dado que o Arduino, ao ser ativado, inicia uma contagem de tempo em milissegundos que só volta ao zero após aproximadamente 50 dias, esse valor pode ser obtido através do método *millis()*. Para implementar o *timeout* foi necessário utilizar dois laços de repetição *while*, no laço inicial (Figura 12), ficam três condicionais, a primeira verifica se algum objeto passou pelo sensor de distância para que seja contabilizado e também verifica se o *delay* de tempo necessário para que um outro objeto seja contabilizado já foi atingido.

```
// --- Loop Infinito ---
void loop() {
  while (funcionamentoEsteira) {
    microsecContador = ultrasonicContador.timing();
    cmInMilliSecondsContador = ultrasonicContador.convert(microsecContador, Ultrasonic::CM);

    microsecAltura = ultrasonicAltura.timing();
    cmInMilliSecondsAltura = ultrasonicAltura.convert(microsecAltura, Ultrasonic::CM);

    myStepper.step(stepsPerRevolution);
    currentMillis = millis();
    if (cmInMilliSecondsContador < distanciaMaximaContador && currentMillis - previousMillis > delayDoContador){
      contador += 1;
      previousMillis = currentMillis;
    } else if (cmInMilliSecondsAltura < distanciaMaximaAltura && currentMillis - previousMillis > delayDaAlturaComFalha){
```

Figura 12 - Lógica do timeout primeiro laço de repetição e condicional do laço

O segundo condicional (Figura 13) do primeiro laço, só é executado se a condição do primeiro condicional não for verdadeira, isto é, se porventura o primeiro sensor não medir nada e o objeto chegar ao sensor de altura. Nesse caso a esteira para, e os dados são enviados ao servidor dizendo que ocorreram atrasos na produção, é dado um *break* para sair do primeiro laço de repetição e em seguida a esteira possa voltar a funcionar.

```

} else if (cmInMillisecondsAltura < distanciaMaximaAltura && currentMillis - previousMillis > delayDaAlturaComFalha){
    myStepper.step(dontStep);
    for (posicaoAtualServo = 110; posicaoAtualServo >= 0; posicaoAtualServo -=1) {
        myServo.write(posicaoAtualServo);
        delay(10);
    }
    delay(10000);
    for (posicaoAtualServo = 0; posicaoAtualServo <= 110; posicaoAtualServo +=1) {
        myServo.write(posicaoAtualServo);
        delay(10);
    }
    contador += 1;
    previousMillis = currentMillis;
    alturaObjeto = distanciaMaximaAltura - cmInMillisecondsAltura;
    delaysNaProducao = 1;
    Serial.print(contador);
    Serial.print(separador);
    Serial.print(alturaObjeto);
    Serial.print(separador);
    Serial.print(delaysNaProducao);
    Serial.print(fimDaTransmissao);
    funcionamentoEsteira = false;
    break;
}

```

Figura 13 - Lógica do timeout segunda condicional do primeiro laço

O último condicional do primeiro laço (Figura 14) verifica se existe algum objeto no sensor, então envia os dados ao servidor.

```

if (cmInMillisecondsAltura < distanciaMaximaAltura && currentMillis - previousMillis > delayDaAltura){
    alturaObjeto = distanciaMaximaAltura - cmInMillisecondsAltura;
    Serial.print(contador);
    Serial.print(separador);
    Serial.print(alturaObjeto);
    Serial.print(separador);
    Serial.print(delaysNaProducao);
    Serial.print(fimDaTransmissao);
}

```

Figura 14 - Lógica do timeout terceira condicional do primeiro laço

O segundo laço do programa (Figura 15) funciona quando houver algum atraso na produção, ele faz com que a esteira volte a funcionar e permite que os objetos continuem sendo contados e medidos corretamente.

```

while (!funcionamentoEsteira){
    microsecAltura = ultrasonicAltura.timing();
    cmInMilliSecondsAltura = ultrasonicAltura.convert(microsecAltura, Ultrasonic::CM);
    Serial.println(cmInMilliSecondsAltura);
    myStepper.step(stepsPerRevolution);
    currentMillis = millis();
    if (cmInMilliSecondsAltura < distanciaMaximaAltura && currentMillis - previousMillis > delayDaAlturaSolucaoContorno){
        contador += 1;
        previousMillis = currentMillis;
        alturaObjeto = distanciaMaximaAltura - cmInMilliSecondsAltura;
        delaysNaProducao = 0;
        Serial.print(contador);
        Serial.print(separador);
        Serial.print(alturaObjeto);
        Serial.print(separador);
        Serial.print(delaysNaProducao);
        Serial.print(fimDaTransmissao);
    }
}

```

Figura 15 - Lógica do timeout segundo laço de repetição

Os dados transmitidos ao servidor via Serial³⁵, que é a comunicação entre o Arduino e um computador. Para a transmissão, foi preciso coletar os dados referentes ao identificador do objeto, a altura do objeto, a contagens na produção e se a produção atrasou ou não, e escrever no método do Serial, como pode ser observado na figura 16.

```

Serial.print(contador);
Serial.print(separador);
Serial.print(alturaObjeto);
Serial.print(separador);
Serial.print(delaysNaProducao);
Serial.print(fimDaTransmissao);

```

Figura 16 - Dados sendo escritos na comunicação Serial do Arduino

4.1.2 Lego Mindstorm EV3

. A construção do braço robótico, que tem a função de colocar objetos dentro da esteira, foi desenvolvida com base nas instruções encontradas no site de educação da própria Lego³⁶. Entretanto o kit utilizado para construir o robô não possuía todas as peças sendo necessário improvisar na hora da montagem.

³⁵ Serial é um protocolo muito comum para comunicação de dispositivos que vem como padrão em quase todo PC. A porta serial envia e recebe bytes de informação um bit de cada vez. Disponível em <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/32679C566F4B9700862576A20051FE8F>>. Acesso em Novembro de 2017.

³⁶ Disponível em: <<https://education.lego.com/en-us/support/mindstorms-ev3/building-instructions>>. Acesso em: Novembro de 2017.

O passo seguinte a montagem do braço robótico e a programação como foi apresentado na seção 2.2.2.

No site <https://education.lego.com/en-us/support/mindstorms-ev3/building-instructions> é possível obter o programa representado com uma estrutura de blocos para fazê-lo funcionar, entretanto como pode ser visto na figura 17, o primeiro bloco corresponde ao sensor de luz do Lego, uma das funções dele é saber a intensidade do reflexo da luz que ele emite. Nessa parte do código diz que se a intensidade do reflexo captado pelo sensor for maior que 25, então vai para o próximo bloco onde o motor B deve parar.



Figura 17 - Amostra dos blocos de código do braço robô

Na execução do projeto foi encontrado um problema, pelo de que a peça responsável por refletir no sensor ser de cor preta, e dado que essa cor absorve todas as cores que nele incidem³⁷, ele basicamente não reflete a luz. Então, como pode ser visto na figura 18, foi necessário prender um pedaço de papel branco para que o braço robótico pudesse funcionar.

³⁷ Disponível em: <<https://www.vestibulandoweb.com.br/fisica/teoria/reflexao-da-luz.asp>>. Acesso em Novembro de 2017.

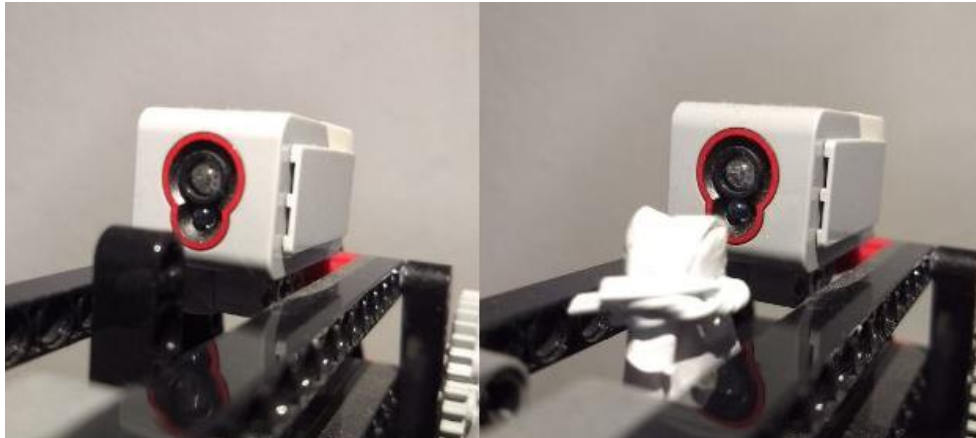


Figura 18 - Foto antes e depois da peça que ajuda a utilização do sensor

Outro desafio encontrado se deve à falta de compatibilidade do Lego com outros recursos, como o Arduino utilizado no projeto. O Lego possui funcionalidades como *Bluetooth* e conexão USB, mas não permite uma troca de informações entre o mesmo e um Arduino ou até mesmo o computador conectado nele. Assim para o braço robô entender quando ele deveria parar de colocar objetos na esteira foi aplicada uma solução mecânica utilizando o sensor de infravermelho que consegue medir distancias, logo quando o servo motor do Arduino, por um obstáculo na frente desse sensor (Figura 10) o robô para o seu trabalho e retorna quando o servo retirar o obstáculo.

4.1.3 Esteira

Na criação da esteira transportadora foi utilizada três tabuas de madeira e um tecido, que foi utilizado como correia. Entretanto alguns problemas na construção ocasionaram o mal funcionamento da mesma (Figura 19), a falta de precisão no alinhamento das duas madeiras que sustentam a correia, fazia que o motor não rotacionasse.

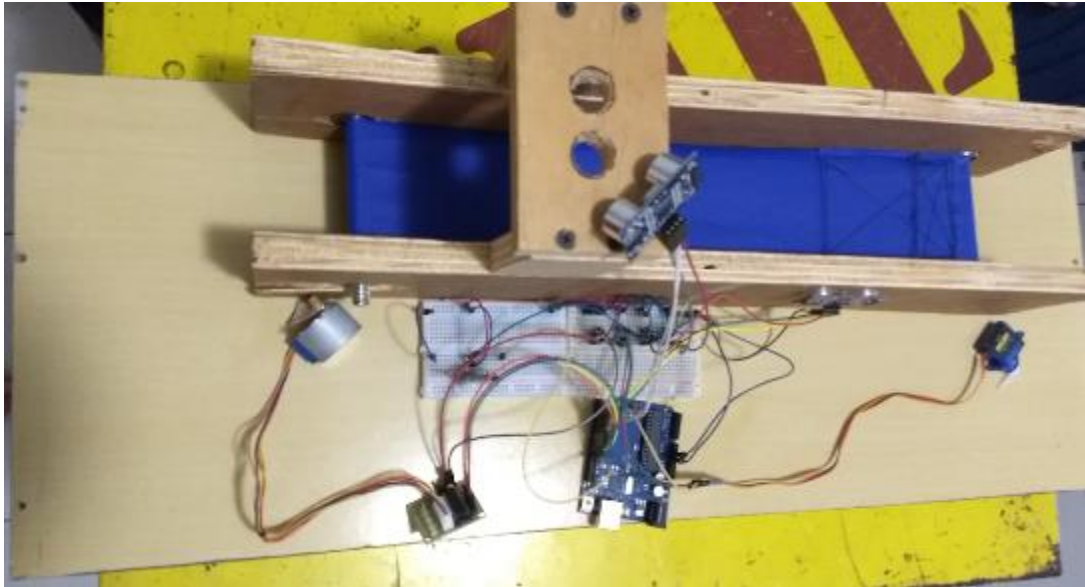


Figura 19 - Foto da primeira esteira construída

Uma segunda esteira (Figura 20) foi confeccionada, os problemas da anterior corrigidos e então a parte final do hardware funcionou conforme o esperado.

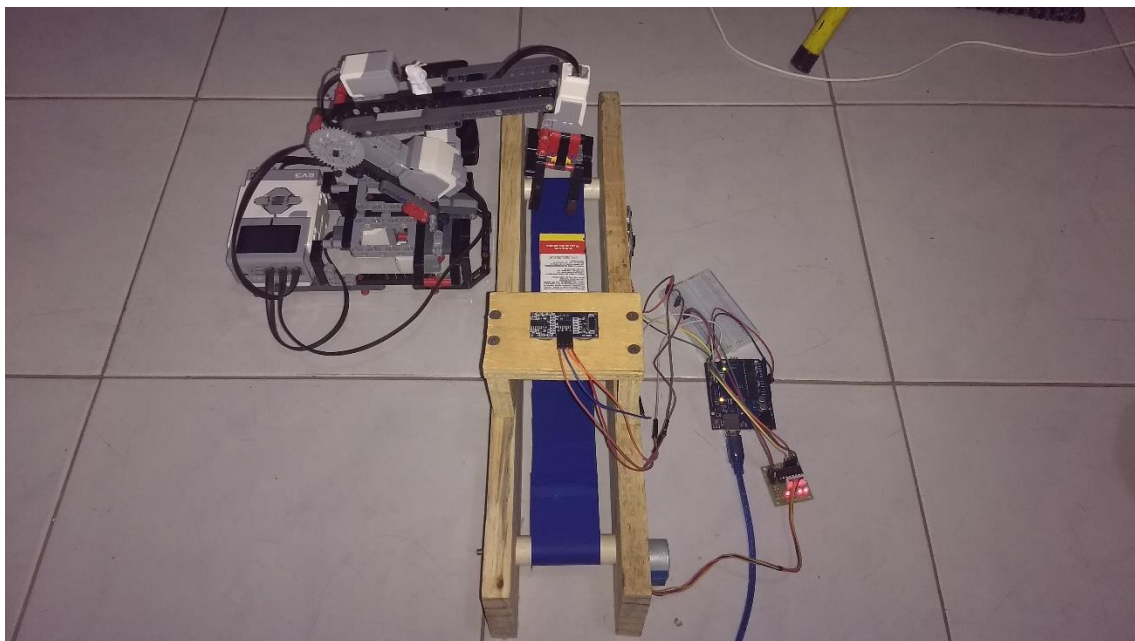


Figura 20 - Foto da segunda esteira construída

4.2 Arquitetura do software

Na parte de software foi desenvolvido uma aplicação Cliente/Servidor em Java, para que os dados recebidos da esteira, fossem acessados e armazenados em um servidor, com objetivo de exemplificar os dois lados da linha de produção, o cliente e o produtor.

4.2.1 Cliente/Servidor

Nesse modelo de arquitetura a distribuição, para o ponto de vista de servidor, foi utilizado o banco de dados da Oracle SQL Developer, onde os dados da produção são armazenados, e para o ponto de vista de cliente foram feitas duas aplicações, uma fica consumindo os dados fornecidos pelo Arduino e os salvam no banco de dados, e a outra consome os dados do banco, essa estrutura pode ser observada na figura 21.

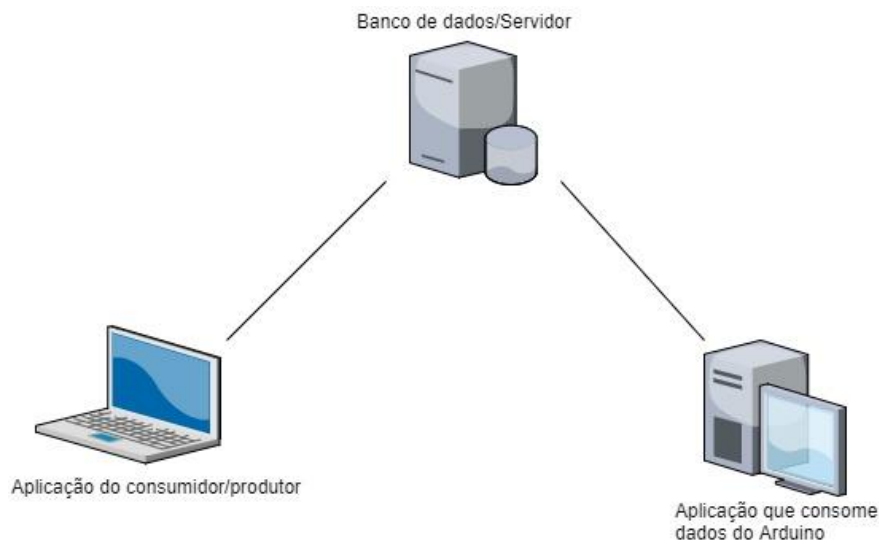


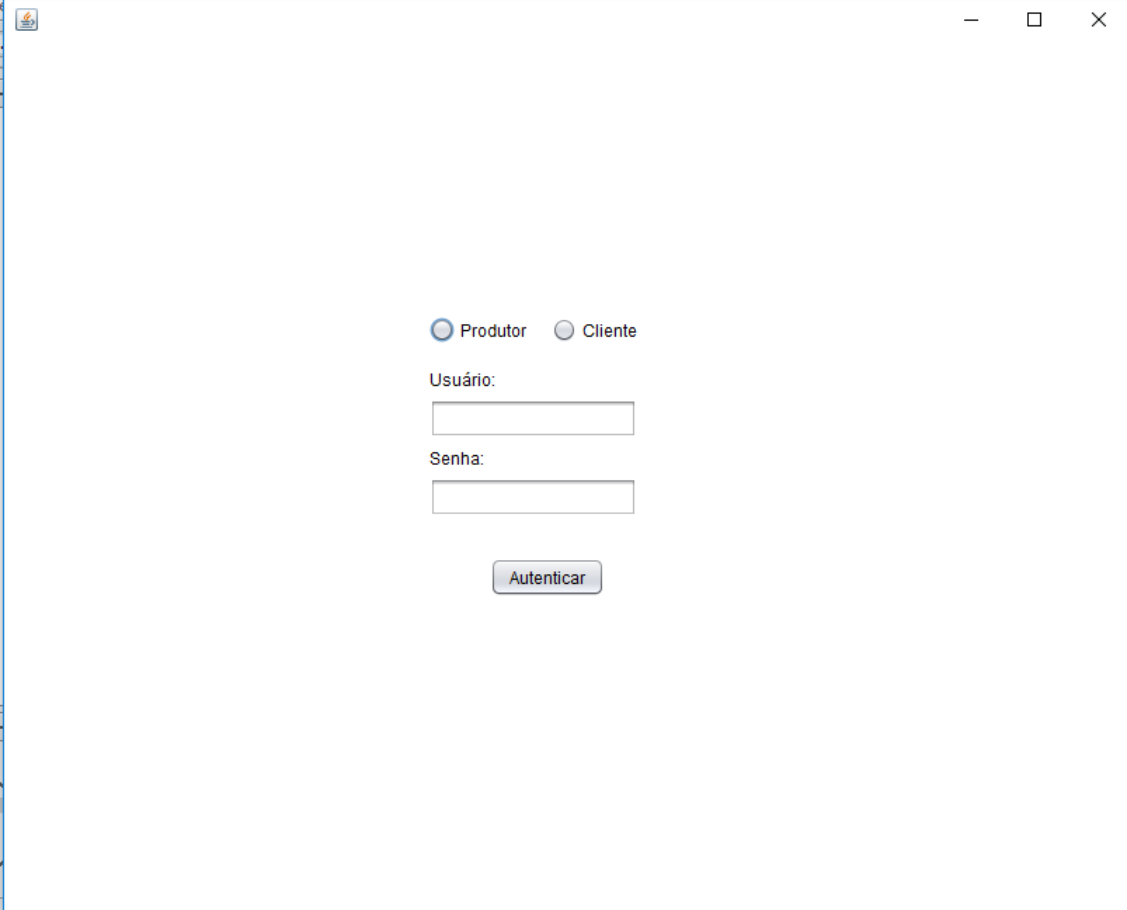
Figura 21 - Estrutura cliente/servidor do projeto

4.2.2 Interface

Na aplicação desktop que foi criada, para o consumidor e o produtor poderem acessar as informações dos produtos da produção que já foram transportados, e também para o produtor poder verificar um gráfico sobre as falhas que ocorreram nas produções, foi utilizado o software do NetBeans IDE, e a aplicação possui:

- Uma tela de autenticação (Figura 22),

- Uma tela para acompanhar e analisar os produtos que já passaram pela esteira como pode ser visto nas figuras 23 e 24.
- Uma tela (Figura 25), que possui um gráfico para analisar o quanto tempo a produção ficou parada caso tenha acontecido.



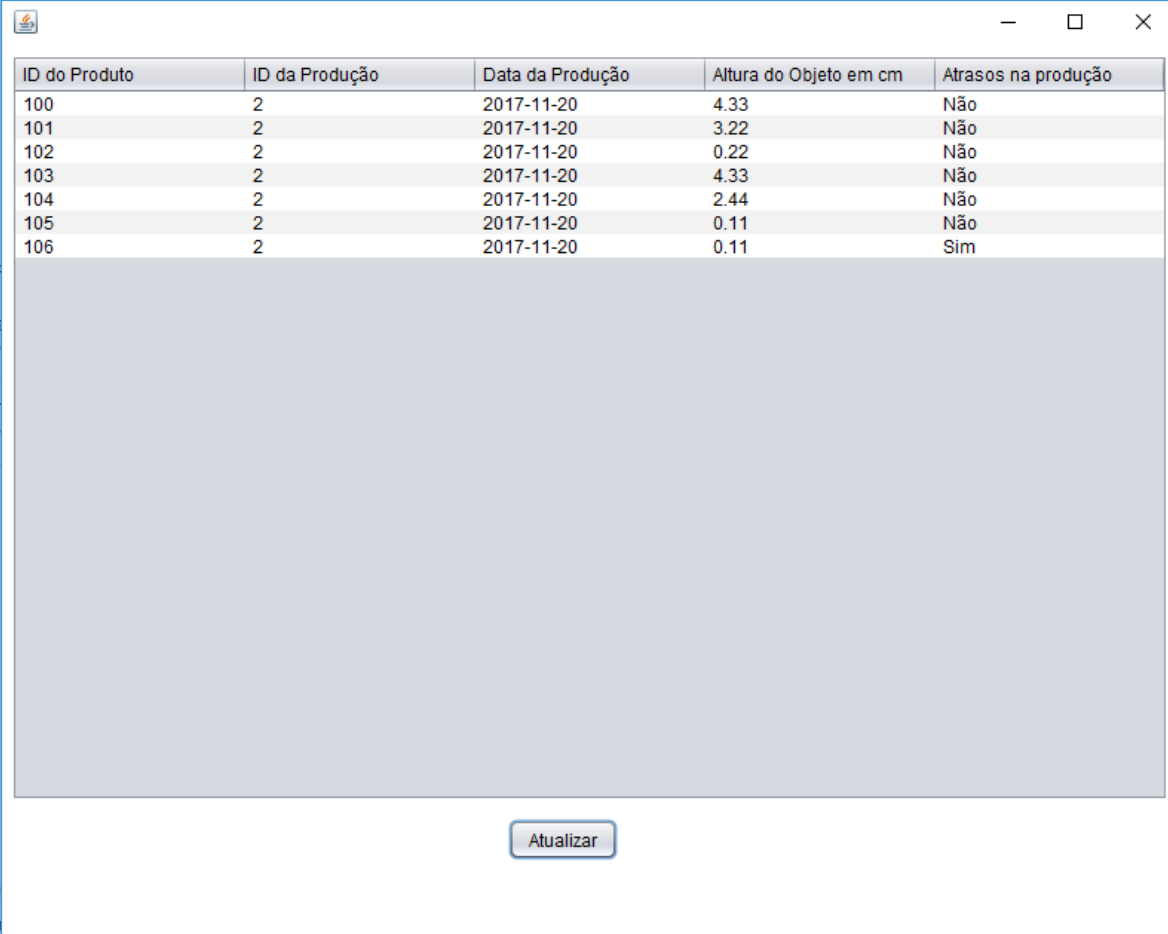
A screenshot of a software authentication window. The window has a standard title bar with a small icon on the left and minimize, maximize, and close buttons on the right. The main area is white and contains the following elements: two radio buttons at the top, with 'Produtor' selected; a label 'Usuário:' followed by a text input field; a label 'Senha:' followed by a text input field; and a button labeled 'Autenticar' at the bottom.

Figura 22 - Tela de autenticação do programa

ID do Produto	ID da Produção	Data da Produção	Altura do Objeto em cm	Atrasos na produção
100	2	2017-11-20	4.33	Não
101	2	2017-11-20	3.22	Não
102	2	2017-11-20	0.22	Não
103	2	2017-11-20	4.33	Não
104	2	2017-11-20	2.44	Não
105	2	2017-11-20	0.11	Não
106	2	2017-11-20	0.11	Sim
107	3	2017-11-20	4.33	Não
108	3	2017-11-20	3.22	Não
109	3	2017-11-20	0.22	Não
110	3	2017-11-20	4.33	Não
111	3	2017-11-20	2.44	Não
112	3	2017-11-20	0.11	Não
113	3	2017-11-20	0.11	Sim
114	3	2017-11-20	4.33	Não
115	3	2017-11-20	3.22	Não
116	3	2017-11-20	0.22	Não
117	3	2017-11-20	4.33	Não
118	3	2017-11-20	2.44	Não
119	3	2017-11-20	0.11	Sim
120	3	2017-11-20	0.11	Sim
121	21	2017-11-20	0.11	Não
122	21	2017-11-20	0.11	Não
123	21	2017-11-20	0.11	Não
124	22	2017-11-20	0.11	Não
125	22	2017-11-20	0.11	Não
126	22	2017-11-20	0.11	Não
127	22	2017-11-20	0.11	Não
128	22	2017-11-20	0.11	Não
129	22	2017-11-20	0.11	Não

Atualizar Gráfico de Atrasos

Figura 23 - Tela do produtor sobre os produtos que passaram pela esteira



The screenshot shows a software window with a title bar containing a small icon, a minus sign, a maximize button, and a close button. The main content area features a table with five columns: 'ID do Produto', 'ID da Produção', 'Data da Produção', 'Altura do Objeto em cm', and 'Atrasos na produção'. The table contains six rows of data. Below the table is a large, empty gray rectangular area. At the bottom center of the window is a button labeled 'Atualizar'.

ID do Produto	ID da Produção	Data da Produção	Altura do Objeto em cm	Atrasos na produção
100	2	2017-11-20	4.33	Não
101	2	2017-11-20	3.22	Não
102	2	2017-11-20	0.22	Não
103	2	2017-11-20	4.33	Não
104	2	2017-11-20	2.44	Não
105	2	2017-11-20	0.11	Não
106	2	2017-11-20	0.11	Sim

Atualizar

Figura 24 - Tela do Cliente sobre seus produtos

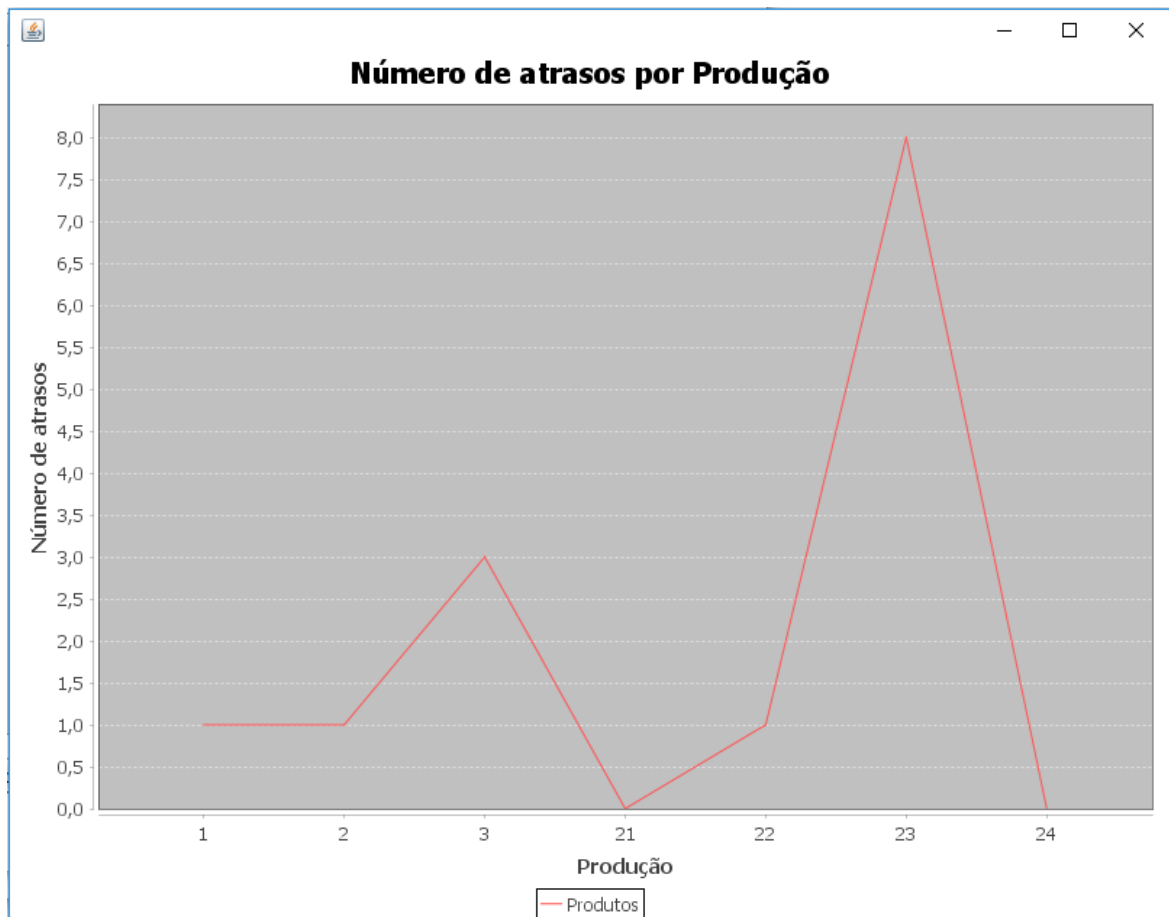


Figura 25 - Tela do gráfico de número de atrasos que ocorreram por produção

O gráfico em linha na figura 25 permite identificar as tendências de aumento e diminuição do número de atrasos em cada uma das produções registradas no sistema, contribuindo assim para ponderar, por exemplo, se vale a pena a utilização do serviço dessa produção.

4.2.3 Caso de Uso

No caso de uso do software representado na figura 26, são contabilizados ao todo, quatro casos e três atores, é possível visualizar o produtor e o consumidor como atores do sistema, pois ambos utilizam a aplicação desktop para obter informações sobre a produção.

A aplicação Java que se comunica com o banco de dados e o Arduino, mostrando que em um sistema de indústria 4.0, ocorrerá de forma mais comum e necessária a utilização de dispositivos artificiais junto com seres humanos.

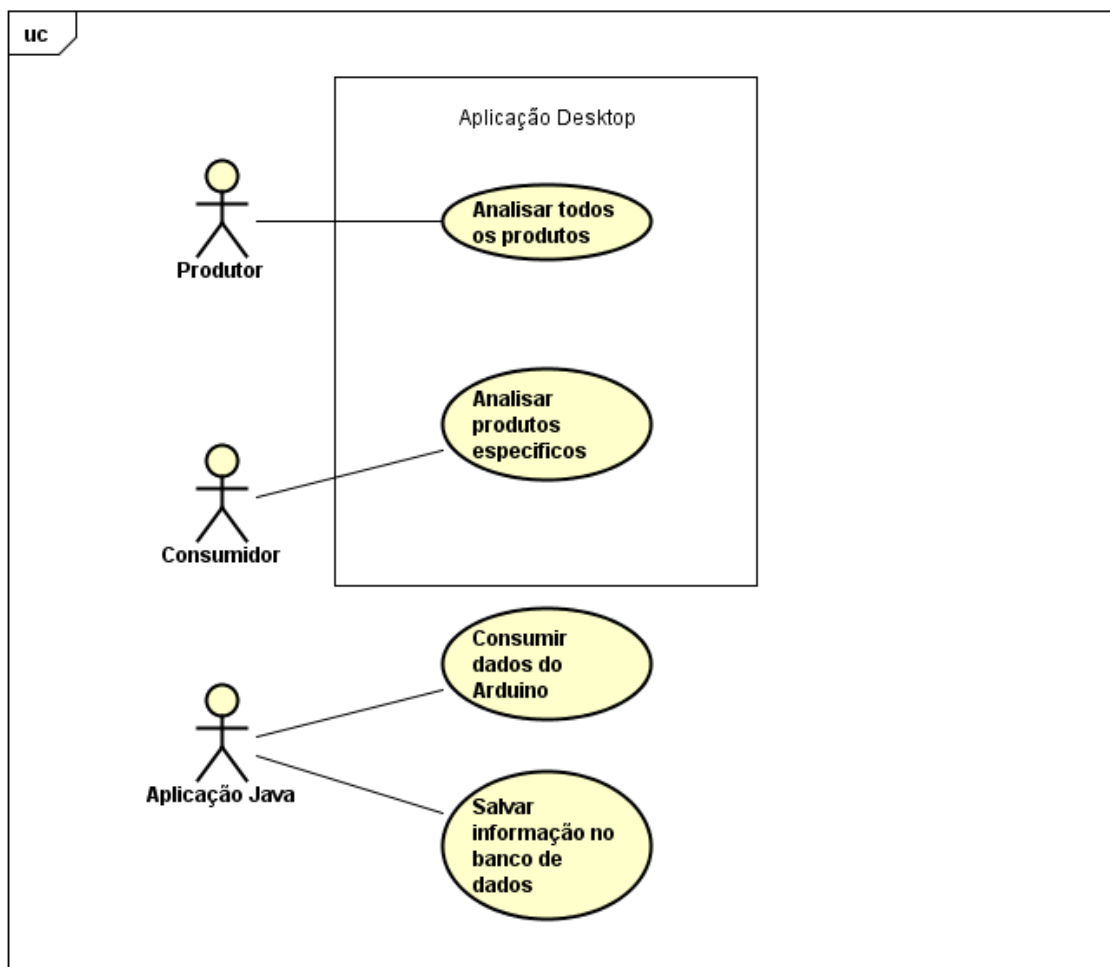


Figura 26 - Caso de uso do software

Após o desenvolvimento do hardware e do software, onde foram aplicados alguns princípios da indústria 4.0, robôs autônomos e internet das coisas, compreende-se que o hardware é um desafio, sendo necessário o apoio de conhecedores de engenharia mecânica. Neste protótipo simples foram necessárias diversas tentativas para que a esteira operasse da forma adequada. Contudo em relação ao Arduino e o Lego, existe bastante informação na internet que facilitam a utilização e o aprendizado.

E em relação ao software percebe-se que com uma base de conhecimento em programação e de conexão com banco de dados é possível desenvolvê-lo de forma simples.

5 Conclusão

5.1 Considerações finais

Após o estudo apresentado, pode-se perceber que todo o conceito da indústria 4.0 é inovador, através da implementação da estratégia e aplicação dos seus princípios, apesar de árduo, é possível se adaptar a esse novo conceito, e com isso melhorar todos os setores de manufatura. Ao longo deste trabalho foram realizados estudos sobre indústria 4.0, que auxiliaram na proposta e no desenvolvimento do protótipo.

No desenvolvimento do protótipo o uso dos princípios, apresentados no capítulo 2, de modularidade, internet das coisas e integração de sistemas proporcionou uma experiência sobre a quarta revolução industrial, o seu desenvolvimento propõe como os conceitos dessa nova indústria são capazes de auxiliar até mesmo uma simples linha de produção, mostrando que mesmo na falha a indústria é capaz de se gerenciar e entregar o produto na etapa final. Deste modo conclui-se que a aplicação do conceito da indústria 4.0 é essencial para as fábricas entregarem produtos de qualidade e customizados para seus clientes, além de obter mais lucro. A adoção deste modelo implicará no ganho de competitividade quando comparada ao modelo atual, o que resultará na sua extinção a médio ou longo prazo.

Por fim, é importante ressaltar que as indústrias terão diversos desafios (científicos, tecnológicos, econômicos, sociais e políticos) na adoção do novo modelo, como mencionado na seção 3.1, que exigirão soluções específicas para que, após a superação dos mesmos, possa ocorrer a transição ao novo marco industrial.

5.2 Limitações do projeto

Houve dificuldade na montagem do hardware, até porque, no curso de Sistemas de Informação não tem como objetivo abordar este conteúdo, que foi desde a concepção do modelo até sua montagem e adaptação.

Como o Lego Mindstorm não possui uma comunicação muito trivial com outros tipos de hardware, dificultando a troca de informações entre o robô e o Arduino. Este fato

é percebido na cultura empresarial do mercado real onde apenas aplicativos e hardwares de uma mesma empresa permite a realização uma comunicação de forma simples.

Para a solução desse problema na comunicação entre os robôs foi utilizado uma solução por hardware, onde foram utilizados, um sensor infravermelho do Lego (Figura 10) e um servo motor no Arduino (Figura 6), o propósito deles foi para conseguir informar ao braço robótico quando deveria parar de colocar objetos na esteira como foi explicado na seção 4.1.

5.3 Trabalhos futuros

Este projeto fornece uma base para que novos módulos sejam desenvolvidos para aumentar o processo de simulação da produção, demonstrando ainda mais os conceitos da indústria 4.0.

Outra funcionalidade que pode ser desenvolvida é criar um aplicativo para celular que envie os dados da produção para o cliente e o produtor, informando assim de maneira mais acessível e moderna para ambas as partes.

Também é interessante tentar utilizar um padrão de interoperabilidade³⁸ no sistema da produção, como por exemplo o OPC UA³⁹, que iniciaria a exploração do conceito de cibersegurança no projeto, além de resolver o problema de comunicação entre o Lego e o Arduino.

³⁸ A interoperabilidade pode ser entendida como uma característica que se refere à capacidade de diversos sistemas e organizações trabalharem em conjunto de modo a garantir que pessoas, organizações e sistemas computacionais interajam para trocar informações de maneira eficaz e eficiente. Disponível em <<https://www.governoeletronico.gov.br/eixos-de-atuacao/governo/interoperabilidade>>. Acesso em: Janeiro de 2017.

³⁹ Um padrão de interoperabilidade para a troca de dados segura e confiável no espaço de automação industrial e em outras indústrias. É uma plataforma independente que garante o fluxo de informação contínuo entre os dispositivos de diversos fornecedores, possui uma arquitetura unificada para todos os sistemas operacionais, não somente o Windows. Disponível em <<http://www.logiquesistemas.com.br/blog/opc-ua/>>. Acesso em: Janeiro de 2017

Referências Bibliográficas

- [1] G. Schun, T. Potente, C. Wesch-Potente, A. Weber, J. Prote, Collaboration Mechanisms to Increase Productivity in the Context of Industrie 4.0, In *Procedia CIRP*, Volume 19, pages 51-56, ISSN 2212-8271.
- [2] MacDougall, W. (2014) *INDUSTRIE 4.0: Smart Manufacturing for the Future*
- [3] K.Zhou, Taigang Liu and Lifeng Zhou, “Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges”, 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Zhangjiajie, 2015, pp. 2147-2152.
- [4] V. Paelke, “Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0 environment,” *Proceedings of the 2014 IEEE emerging technology and factory Automation (ETFA)*, Barcelona, 2014, pp 1-4.
- [5] T. Stock, G. Seliger, Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, In *procedia CIRP*, Volume 40, 2016, pages 536-541, ISSN 2212-8271.
- [6] H. Kagermann, W Wahlster, J Helbig, Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group, April 2013.
- [7] F Figge, T Hahn, S Schaltegger, M Wagner. The sustainability balanced scorecard—linking sustainability management to business strategy. *Business strategy and the Environment* 11 (5), pages /269-284
- [8] Brecher, C.; Jeschke, J. Schuh, G., Aghassi, S.; Arnoscht, J.; Bauhoff, F.; Fuchs, S.; Jooß, C.; Karmann, W. O.; Kozielski, S.; Orilski, S.; Richert, A.; Roderburg, A.; Schiffer, M.; Schubert, J.; Stiller, S.; Tönissen, S.; Welter, F. (2010) Individualised Production. In *Integrative Production Technology for High-Wage Countries*. Berlin: Springer. ISBN: 978-3-642-21066-2, pp. 77-239.

[9] Takahashi, S. (2011) Virtual Tryout Technologies for Preparing Automotive Manufacturing In Transactions of JWRI 2012. Osaka.

[10] Brecher, C.; Jeschke, J. Schuh, G., Aghassi, S.; Arnoscht, J.; Bauhoff, F.; Fuchs, S.; Jooß, C.; Karmann, W. O.; Kozielski, S.; Orilski, S.; Richert, A.; Roderburg A.; Schiffer, M.; Schubert, J.; Stiller, S.; Tönissen, S.; Welter, F. (2010) Hybrid Production Systems. In Integrative Production Technology for High-Wage Countries. Berlin: Springer. ISBN: 978-3-642-21066-2, pp. 436-696.

[11] Schuh, G.; Potente, T.; Fuchs, S.; Thomas, C.; Schmitz, S.; Hausberg C.; Hauptvogel, A.; Brambring F. (2013) Self-Optimising Decision-Making in Production Control. In Robust Manufacturing Control. Berlin: Springer, pp. 443-454.