INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

THIAGO SAMPAIO RÖPER

SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DE CORTE DE MADEIRA EM MÁQUINA REFILADEIRA

FLORIANÓPOLIS

2019

THIAGO SAMPAIO RÖPER

SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DE CORTE DE MADEIRA EM MÁQUINA REFILADEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Mecatrônica.
Orientador: Prof. André Roberto de Sousa, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS
2019

CDD 629.892
R784s

Röper, Thiago Sampaio
Sistema de visão computacional para otimização de corte de madeira em máquina refiladeira [DIS] / Thiago Sampaio Röper; orientação de André Roberto de Sousa – Florianópolis, 2019.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Mecatrônica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Sistema de visão. 2. Medição e automação. 3. Beneficiamento de madeira. I. Sousa, André Roberto de. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis

THIAGO SAMPAIO RÖPER

SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DE CORTE DE MADEIRA EM MÁQUINA REFILADEIRA

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Mecatrônica e aprovada em sai forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de novembro de 2019.

Prof. André Roberto de Sousa, Dr. Eng.
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Marco Antônio Martins Cavaco, Dr. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis

Prof. Valdir Noll, Dr. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis

Prof. Maurício Stivanello, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis

A todos os meus familiares, em especial a minha esposa Janaina.

A todos os docentes da educação e do ensino superior do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu a vida e por me guiar em todas as viagens.

Ao Professor André Roberto de Sousa, pelo apoio e confiança demonstrados no desenvolvimento desse trabalho onde se mostrou um excelente profissional e pessoa que podemos nos espelhar.

Aos meus pais por serem alicerces em minha vida com muita dedicação e incentivo para atingir meus objetivos.

À minha esposa Janaina Godoy Röper, por me apoiar em todos os desafios e dificuldades suportando com muita ternura e amor.

Ao bolsista de graduação Lucas Costa Ferreira, pelo suporte e auxílio prestado ao longo desse projeto se mostrando uma excelente pessoa.

À Mendes Máquinas por acreditar no projeto e suporte financeiro.

Aos amigos de mestrado por todos os momentos compartilhados, em especial Ademar e William que compartilharam longas viagens de deslocamento para a instituição.

Aos professores do programa de mestrado que com sua sabedoria buscam o desenvolvimento de seus alunos, em especial ao Professor Mauricio Stivanello que com seu conhecimento auxiliou a definição desse projeto.

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de visão computacional para a inspeção dos produtos gerados em máquina refiladeira de madeira, tendo o objetivo validar uma tecnologia eficiente e de baixo custo para atender serrarias de pequeno e médio porte. O desenvolvimento do sistema foi motivado para a criação de uma alternativa tecnológica própria e de custo mais baixo para a empresa Mendes e Cia Ltda realizar o controle de qualidade de tábuas de madeira. O sistema desenvolvido é composto por câmeras e sistema de processamento digital de imagens para a medição do material em movimento, buscando identificar na matéria prima a presença de imperfeições laterais das tábuas serradas. Juntamente com a detecção de áreas defeituosas o sistema realiza a medição de largura de matéria prima aproveitável, fornecendo essa informação para referenciar a posição do melhor corte na máquina refiladeira com duas serras laterais controladas independentemente por servos motores. O sistema foi avaliado e ao final do desenvolvimento do projeto pode-se afirmar que atendeu requisitos da aplicação, superando a capacidade de avaliação realizada por operadores humanos, a um custo baixo, além de empregar tecnologias de hardware e software modulares e abertas.

Palavras Chave: Sistema de visão, Medição e Automação, Beneficiamento de Madeira

ABSTRACT

This paper describes the development of a computer vision system for the inspection of products generated on a trimming machine to validate an efficient and low cost technology to attend small and medium size sawmills. The development of the system was motivated to create to the company Mendes and Cia Ltd its own technological alternative and to lower the costs to comply with the quality control of wood boards. The developed system consists on cameras and digital image processing system for the measurement of the moving material, seeking to identify in the raw material the presence of side imperfections of sawn boards. Along with the detection of defective áreas, the system measures the usable raw material width, providing this information to reference the position of the best cutting machine with two controlled side saws independently controled by servo motors. The system was evaluated and, at the end of the project development, it can be said that it has met the performance requirements of other comercial optical systems, but with a much lower cost, besides using open and modular hardware and software technologies.

Keywords: Vision System, Measurement and Automation, Wood Processing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de inspeção óptica em processo de refilamento de madeira. 14
Figura 2 - Serraria automatizada de madeira 19
Figura 3 - Máquina de desdobro 24
Figura 4 - Refiladeira.....24
Figura 5 - Destopadeira de multiplas serras.....25
Figura 6 - Tábua com esmoados laterais, imperfeições de uma matéria prima sem refilar. 28
Figura 7 - Máquina refiladeira e seus principais componentes.....29
Figura 8 - Ambiente de trabalho de um operador de refiladeira 30
Figura 9 - A visão computacional 33
Figura 10 – Gráfico de função bidimensional 35
Figura 11 - Distância focal.....37
Figura 12 – Tipos de iluminação em visão computacional 38
Figura 13 - Scanners para madeira Microtec 41
Figura 14 - Função total - entradas e saídas.....46
Figura 15 - Função total do sistema óptico para inspeção de processo em máquina refiladeira.....46
Figura 16 - Funções simplificadas.....47
Figura 17 - Primeira função.....47
Figura 18 - Funções dependentes.....48
Figura 19 - Funções de processamento final. 48
Figura 20 - Projeto mecânico da esteira de prototipagem.....54
Figura 21 – Projeto mecânico desenvolvido.....55
Figura 22 - Fluxograma do sistema de medição 58
Figura 23 - Captura do primeiro pixel 59
Figura 24 - Captura do segundo pixel 59
Figura 25 – Tons de Cinza 60
Figura 26 - Binarização 60
Figura 27 – Definição de região retangular máxima inscrita.....60
Figura 28 – Integração dos sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos.....62
Figura 29 - Interface do usuário 63
Figura 30 - Resultado final de uma captura.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura de peças comercializadas.....26
Tabela 2 - Clientes, momento e fase do produto.....44
Tabela 3 - Métodos de Criatividade.....49
Tabela 4 - Tabela com a matriz morfológica 49
Tabela 5 - Concepção A.....50
Tabela 6 - Concepção B.....51
Tabela 7 - Concepção C 52
Tabela 8 - Concepção D 53
Tabela 9 - Especificação da câmera. 55
Tabela 10 - Especificação do motor. 56
Tabela 11 - Especificação do sensor ultrassônico. 56
Tabela 12 - Especificação do arduino. 57
Tabela 13 - Dados técnicos de uma refiladeira 65
Tabela 14 - Ciclos gerados da avaliação metrológica (calibração) 66
Tabela 15 – Avaliação metrológica (calibração).....67
Tabela 16 – Ensaios de avaliação metrológica (peças com esmoado).....67
Tabela 17 - Erros gerados da avaliação metrológica (peças com esmoado).....67
Tabela 18 – Requisitos atingidos e trabalhos futuros.....68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - Bidimensional

3D – Tridimensional

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCD – Charge Coupled Device

CMOS – Complementary Metal Oxide Semiconductor

CMY – Cyan-Mangenta-Yellow

FPGA – Aranjo de Portas Programáveis em campo

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

m - Metro

MDF – Medium Denity Fibreboard

min - Minutos

mm - Milímetro

NR – Norma Regulamentadora

OSB – Oriented Strand Board

PDI – Processamento Digital de Imagem

PIXEL – Picture Element

PVC – Policloreto de Vinila

RGB – Red-Green-Blue

V - Volts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.2 Proposta de solução óptica para inspeção de processo 14
1.2.1 Objetivo geral 15
1.2.2 Objetivos específicos 15
1.3 Estrutura do trabalho escrito 15
2 O PROCESSO DE REFILAÇÃO DE BORDA NA INDÚSTRIA MADEIREIRA 17
2.1 Presença e importância da automação na indústria madeireira 17
2.1.1 O desenvolvimento da mecanização florestal e sua influência para a qualidade da matéria-prima na indústria 20
2.1.2 Máquinas de desdobro no beneficiamento de madeira 22
2.1.3 Máquina refiladeira 27
2.2 Problemas de qualidade e produtividade em métodos de inspeção manuais 29
2.3 Visão Computacional aplicada na inspeção de processos. 32
2.3.1 Imagens 34
2.3.2 Aquisição de imagens 36
2.4 Processamento digital de imagens 38
2.4.1 Segmentação 39
2.5 Soluções atuais de inspeção em máquinas refiladoras automatizadas 40
3 SOLUÇÃO PROPOSTA PARA A INSPEÇÃO ÓPTICA DA MADEIRA 42
3.1 Conceito idealizado do sistema de medição e inspeção 42
3.2 Metodologia de Desenvolvimento do Produto 43
3.3 Projeto conceitual 45
3.3.1 Modelagem funcional do Sistema 46
3.3.3 Desenvolvimento de soluções e concepções 48
3.3.4 Concepção A 50
3.3.5 Concepção B 50
3.3.6 Concepção C 51
3.3.7 Concepção D 52
4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL 54
4.1 Projeto e implementação de adaptações mecânicas 54
4.2 Hardware para supervisão e controle 55
4.3 Desenvolvimento de software para gerenciamento do ensaio 57
4.4 Integração mecatrônica e operacionalização do sistema 61
5 VALIDAÇÃO OPERACIONAL E METROLÓGICA DO SISTEMA DE ENSAIO 65
5.1 Avaliação metrológica do sistema 65
5.2 Avaliação operacional do sistema 68

6 CONCLUSÕES 70
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73

1 INTRODUÇÃO

A madeira, tanto no passado como na atualidade, é uma das matérias primas mais utilizadas na indústria de transformação, seja para o ramo industrial como para benefício de cunho particular. Sendo assim a empresa Mendes e Cia Ltda vem investindo nesta área há mais de 50 anos no mercado de madeiras e atendendo clientes de toda américa latina no fornecimento de máquinas para processos de beneficiamento de madeira. O principal foco da empresa são as serrarias de grande porte, fornecendo produtos e/ou maquinários que proporcione uma produção rápida e de alta qualidade para o ciclo de transformação da madeira a fim de atender seu cliente final.

Nesse cenário a automação da transformação da madeira vem sendo incorporada com muita intensidade nos últimos anos, bem como a automação da inspeção óptica dos processos através de sistemas de visão computacional. Dentre os principais fatores que fomentam o desenvolvimento de máquinas automatizadas no ramo da madeira, estão a precisão e eficiência na obtenção de requisitos de qualidade como a espessura, o comprimento e a largura de cada peça, bem como a geração de produtos isentos de falhas na madeira.

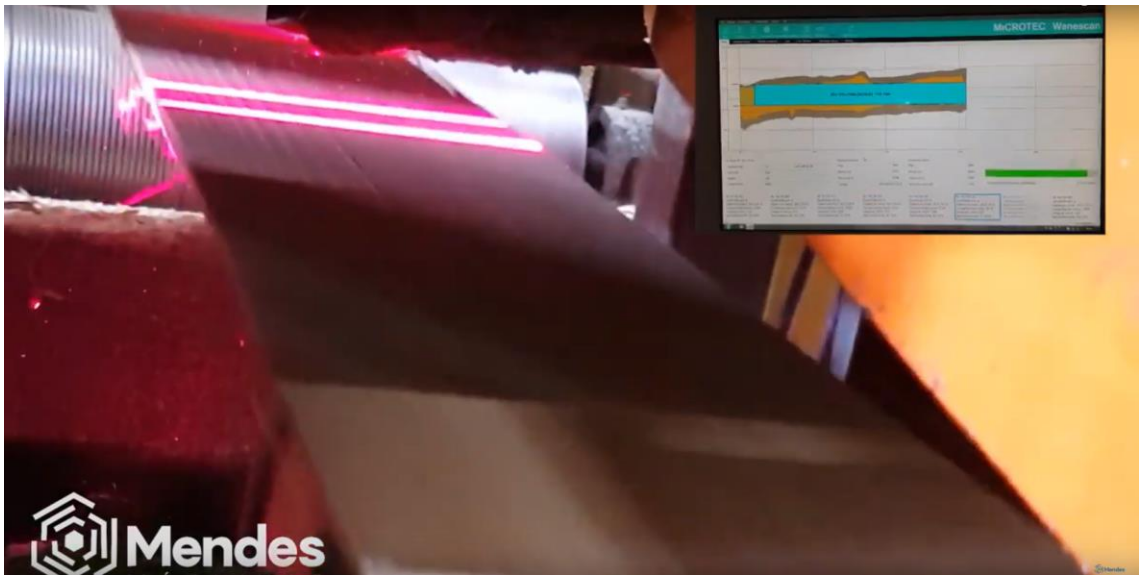
O projeto desenvolvido neste trabalho de mestrado busca a melhoria da automação de uma máquina refiladeira através de um sistema de visão computacional com capacidade para inspecionar a madeira dentro do processo, pouco antes da máquina fazer o refilo (acabamento lateral), proporcionando a otimização de processo e potencializando vantagens como:

- Melhoria nos processos de refilamento e cortes de precisão
- Redução de erros e perdas, evitando o desperdiço de matéria prima
- Melhor atendimento à necessidade do mercado consumidor
- Aumento da produção e impacto na diminuição nos custos finais de produção.
- Emissão de relatórios de quantidade e qualidade da madeira

Tais sistemas de inspeção óptica integrado na máquina refiladeira para corte da madeira são recentes no Brasil mas já bastante presentes no mercado exterior, porém de elevado custo, além de empregar tecnologias fechadas. Uma vez integrado ao processo de manufatura da madeira, o produto gera maior aproveitamento da matéria-prima processada em uma máquina já automatizada com servo motores e controladores lógicos programáveis.

É possível utilizar o sistema de visão para o processamento de imagem da tábua, fazendo o melhor corte da madeira que está sendo analisada. Com um corte mais preciso, ocorre uma contribuição com o meio ambiente reduzindo desperdício e aumentando produção. A figura 1 ilustra a captura de um sistema em funcionamento com a solução calculada em tempo real.

Figura 1 - Sistema de inspeção óptica em processo de refilamento de madeira.



Fonte: O Autor.

Dados da empresa Mendes e Cia indicam que a integração de um sistema de inspeção integrado ao processo possibilita ganhos de produtividade de até 20%, pela redução das perdas de tempo e material. A precisão da madeira a ser processada é melhorada dado que o sistema de inspeção permite identificar regiões impróprias da madeira e, assim, ajustar o corte da máquina refiladeira.

1.2 Proposta de solução óptica para inspeção de processo

Diante da importância do sistema de inspeção óptica para a melhoria de qualidade e produtividade da indústria de refilo de madeira e dado o alto custo dos sistemas comerciais, este trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema de inspeção óptica empregando tecnologias abertas e de baixo custo, tendo os objetivos geral e específicos descritos a seguir;

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver e implementar uma solução de visão computacional de baixo custo para tratamento de madeira no processo de refilo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar e caracterizar em detalhes o problema a ser estudado no projeto;
- Pesquisar as tecnologias existentes no mercado para a solução do problema;
- Qualificar a equipe nas tecnologias necessárias ao desenvolvimento do projeto;
- Definir as características de desempenho necessárias ao sistema;
- Projetar o sistema de inspeção por visão computacional, com todos os seus subsistemas de hardware (mecânico, óptico e eletroeletrônico) e software;
- Especificar itens de hardware necessários para implantação industrial;
- Desenvolver o software de aquisição e processamento de imagens;
- Validar o sistema de inspeção em condições de aprovação de protótipo;
- Documentar o projeto e disseminar conhecimento através de publicações em periódicos qualificados;

1.3 Estrutura do trabalho escrito

A presente dissertação foi organizada de acordo com a estrutura que se apresenta em seguida:

No **Capítulo 1** é feita uma breve introdução ao tema, em seguida a apresentação dos objetivos, finalizando com a importância do tema para a pesquisa;

No **Capítulo 2** são apresentadas as ideias inspiradoras ao trabalho proposto, e o estado da arte em automação na produção da madeira.

No **Capítulo 3** são apresentados sistemas de visão existentes atualmente, as características e critérios para escolha da tecnologia aplicada, bem como as definições de tecnologia usada e o planejamento do desenvolvimento do produto.

No **Capítulo 4** são apresentados a implementação mecânica do sistema, as soluções de hardware para supervisão e controle do sistema, software e integração

de equipamentos mecânicos, eletrônicos para implementação do sistema em bancada de teste.

No **Capítulo 5** são apresentados os ensaios realizados para a validação operacional e metrológica do sistema de ensaio, bem como as análises dos resultados obtidos.

No **Capítulo 6** são descritas as conclusões do trabalho realizado, com análises de validade do sistema desenvolvido, suas qualidades e limitações, bem como são listadas sugestões para trabalhos futuros.

2 A INDUSTRIA DA MADEIRA E A VISÃO COMPUTACIONAL

2.1 Presença e importância da automação na indústria madeireira

O surgimento da automação está vinculado diretamente à Revolução Industrial, que ocorreu inicialmente na Inglaterra e compreende ao período de mudança do sistema de manufatura para a implantação de máquinas.

Caracterizada pela alteração dos processos produtivos, bem como a expansão da indústria através da ampliação da sua capacidade de produção, a Revolução Industrial proporcionou diversas mudanças sociais e econômicas. Conforme afirma NATALE (2008, p.18): “Os controles de processos industriais e a automação da manufatura, sem dúvida, são aplicações de grande impacto.”

As alterações propostas ainda na revolução industrial, refletem atualmente através do desenvolvimento contínuo e a evolução permanente dos setores produtivos, evidenciados pelos avanços tecnológicos e crescente concorrência indiciada pelo mercado.

Perante a crescente necessidade de expansão das empresas em função da acirrada concorrência no mercado, bem como a atualização constante exigida de forma direta, ou indiretamente, é válido ressaltar a importância do melhoramento do processo produtivo para a ampliação dos resultados da empresa.

> Em busca de melhores resultados econômicos, as organizações investem no desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias, um dos pilares fundamentais da vantagem competitiva. A globalização da economia e o avanço da competição induziram os gestores a aumentar a produtividade e a eficiência dos processos de conversão com investimento em tecnologia avançada de recursos industriais. A evolução da indústria está relacionada às mudanças tecnológicas de máquinas e equipamentos, processo de manufatura e configuração de sistema produtivos. (ALIGLERI, ALIGLERI e KRUGLIANSKAS, 2016, p.81)

Diante dos avanços da sistematização na indústria, é possível dividir a evolução do processo industrial em quatro etapas, a Indústria 1.0, Indústria 2.0, Indústria 3.0 e Indústria 4.0.

> Indústria 1.0 - teve início em meados do Século XVII com a substituição do trabalho manual por sistemas mecânicos de manufatura, num sistema de produção linear. Indústria 2.0 – iniciou-se no século XVIII com a expansão significativa da indústria para diversos países da Europa, bem como para os Estados Unidos e Japão. Foi marcada pela produção em massa e divisão do trabalho com uso da energia elétrica. Indústria 3.0 – originou-se das novas tecnologias do século XX, entre elas sistemas de comunicação e informação microeletrônica, robótica e tecnologias para processamento e armazenamento de dados. É uma fase caracterizada pela automação do

> processo de produção, com tecnologias eletrônicas e de informação. Indústria 4.0 – surgiu no início deste século e caracteriza-se pela interligação em rede e integração das tecnologias da internet nos processos de produção. Está relacionada à crescente automatização dos processos de produção, pelo desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento e tomada de decisão. Transforma o produto, que normalmente é um objeto passivo, em um agente ativo de manufatura que, por si mesmo, define como deve ser fabricado. A fábrica do futuro tem características flexíveis, entre máquinas inteligentes, aptas à comunicação e monitoramento. (ALIGLERI, ALIGLERI e KRUGLIANSKAS, 2016, p.82)

O desenvolvimento do setor industrial ao logo dos anos, apresenta mudanças condizentes com as condições estabelecidas por meio das dificuldades e deficiências apresentadas ao logo do período de expansão do sistema produtivo.

> Atualmente, a supervisão eletrônica de um processo produtivo é vital para a competividade da sua indústria. Reduzir tempo de máquina paradas, aperfeiçoar desempenho de células integradas da manufatura, aumentar a qualidade e a segurança, entre outras boas práticas convergem para a maior produtividade. (CAPELLI, 2013, p.15)

Os princípios da ampliação do rendimento vêm sendo aplicados na indústria desde o início da Revolução Industrial, cujo intuito seria o aumento significativo do volume da produção, e assim com a otimização do processo através da introdução de máquinas, obter maiores índices de produtos fabricados. Diante do atual cenário, há uma grande diversidade de fatores pertinentes ao processo de desenvolvimento da automação da linha de produção, que vão além da simples ampliação de volume de produto acabado.

No setor da indústria madeireira de beneficiamento, estão dispostas as necessidades da aplicação de desenvolvimento tecnológico, para a automação dos processos já praticados nas últimas décadas de forma manual ou parcialmente mecanizada. A mecanização muito tem avançado no ramo, e compreende desde o início do processo, ou seja, ainda diante do cultivo da matéria-prima, no que se diz respeito ao manejo florestal e serrarias.

O desenvolvimento da automação na indústria de beneficiamento da madeira vem crescendo significativamente, e obtendo cada vez mais avanços, através da inclusão de conceitos pertinentes à indústria 4.0, que por sua vez apresenta e introduz modernas avaliações e perspectivas da engenharia da automação no processo de criação e de desenvolvimento de máquinas para o setor.

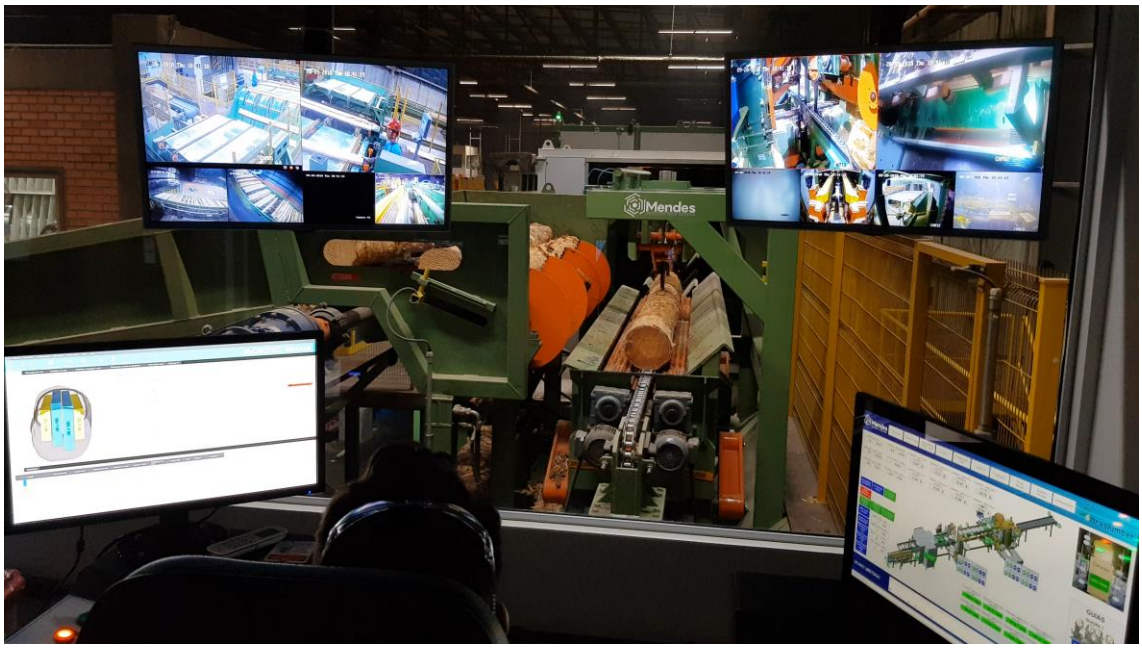
A produtividade em geral, foi sempre o intuito principal da mecanização e automação dos sistemas produtivos, desde o seu princípio, ainda nas mais remotas formas de linhas de produção.

> O ambiente produtivo evolui com a implantação de sistemas automatizados e se torna, por consequência, um diferencial. No mundo dos negócios, a tecnologia está relacionada ao uso de máquinas, equipamentos e dispositivos que transformam materiais e informações em produtos ou serviços competitivos. Os recursos de conversão podem variar desde simples processos artesanais até uma complexa estrutura automatizada para atender às demandas que concorrem na relação volume-variedade. (ALIGLERI, ALIGLERI e KRUGLIANSKAS, 2016, p.81)

É possível afirmar que a ampliação da produtividade na indústria madeireira, dentre outros fatores componentes do ciclo de transformação e beneficiamento da matéria-prima, consiste basicamente no desenvolvimento e na expansão da automação através da elaboração de máquinas ajustadas de acordo com as necessidades diárias relacionadas ao processo de beneficiamento.

O melhor aproveitamento da matéria prima, aliado com a redução de custos e minimização de resíduos, além da evidenciação e ampliação da qualidade dos produtos, possui a contra partida do comprometimento ambiental. A conservação do meio ambiente é um importante aspecto que vem ganhando ainda mais espaço diante do desenvolvimento da indústria em suas operações, a qual vem regendo as suas atividades em conformidade com as exigências legais que envolvem o processo promovendo além da qualidade do produto, também maior qualidade de vida. A figura 2 ilustra a cabine de operação de uma serraria automatizada, de forma que trabalham somente dois operadores até o processo de classificação de madeira.

Figura 2 - Serraria automatizada de madeira



Fonte: o Autor.

Neste cenário, as perspectivas de crescimento da indústria madeireira perante o cenário atual da economia são promissoras, conforme aponta IBÁ (2018):

> A indústria da madeira conseguiu fazer de 2018 um ano de recuperação, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (Abimci). Entre os segmentos da indústria que tiveram destaque estão papel e celulose, compensados e madeira serrada, por exemplo. Um dos motivos para isso está na exportação, pois houve 20% de aumento no volume exportado em alguns segmentos de produtos de madeira neste ano, de acordo com a instituição.

O crescimento do setor madeireiro, em geral está diretamente ligado ao mercado externo. A exportação é fortemente responsável pelo aumento da demanda de produção do setor. Diante da oportunidade de ampliação no âmbito de negociações internacionais, é importante avaliar às exigências do mercado externo quanto a certificação e inspeção de qualidade do produto.

De acordo com LOBO (2010 p. 18) o conceito de qualidade dentro da organização consiste em:

> Conjunto das técnicas e atividades de caráter operacional utilizadas para satisfazer os requisitos da qualidade. O controle da qualidade envolve técnicas de atividades de caráter operacional com os objetivos de acompanhar (monitorar) processos e eliminar as deficiências em todas as fases do ciclo da qualidade de modo a atingir eficácia econômica. Algumas ações de controle da qualidade e de garantia da qualidade estão inter-relacionadas.

Considerando instruções normativas de comércio exterior, bem como as necessidades de demanda dos clientes internacionais, é válido ressaltar a importância de adaptabilidade da produção aos padrões de qualidade por estes exigidos. Uma vez que o processo de exportação demanda altos custos aos compradores, há uma exigência ainda maior quanto ao produto adquirido.

A qualidade está relacionada à diversos fatores, que refletem diretamente no produto apresentado ao cliente. De acordo com Paladini (2012, p.21)" Um roteiro prático para viabilizar a Gestão da Qualidade no processo envolve a implantação de atividades agrupadas em três etapas: a eliminação de perdas; a eliminação das causas das perdas e a otimização do processo."

2.1.1 O desenvolvimento da mecanização florestal e sua influência para a qualidade da matéria-prima na indústria

No setor da indústria madeireira de beneficiamento, estão dispostas as necessidades da aplicação de desenvolvimento tecnológico, para a automação dos

processos já praticados nas últimas décadas de forma manual ou parcialmente mecanizada. A mecanização muito tem avançado no ramo, e compreende desde o início do processo, ou seja, ainda diante do cultivo da matéria-prima, no que se diz respeito ao manejo florestal e serrarias.

Para Silva (2015, p.72):

> O manejo sustentável de florestas se traduz na preservação da vida nos solos, na reciclagem constante de nutrientes e no enriquecimento da nesse ambiente. O bom manejo é a melhor forma para a exploração adequada de madeira e também de outras inúmeras atividades que podem ser desenvolvidas no âmbito da exploração da floresta.

Avanços culturais, bem como estabelecimentos normativos de origem legislatória, são evidentes quanto as mudanças aplicadas sob os novos aspectos do cultivo das florestas, fonte da matéria prima da indústria madeireira. A criação do Código Florestal, é um exemplo da intervenção legislativa, e que contribui de forma positiva para sustentabilidade, ao dispor de normativas aplicáveis sob a ótica de interpretação dos imóveis rurais através de três formas distintas, podendo ser elas, áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal e áreas remanescentes, conforme apresenta LEHFELD, CARVALHO e BALBIM (2015).

Diante do processo de colheita florestal, podemos evidenciar a presença cada vez mais constante de modernas máquinas de extração, as quais além de ampliar a produção da floresta e a qualidade dos produtos, além disso reduzem os impactos ambientais.

O sistema *Full Tree*, é o principal sistema utilizado para a extração de florestas na região sul do Brasil e o sistema é composto fortemente pela mecanização, conforme explica MASSETTO (2014, p.1):

> Este sistema é caracterizado pelo corte da madeira, remoção do talhão e processamento em local previamente definido, geralmente, laterais das estradas ou pátios temporários. Este sistema exige elevado índice de mecanização e é aplicado para a colheita de árvores de grande porte, em terrenos planos ou acidentados. Um fato interessante é que a maior parte das empresas do Sul do país utiliza esse sistema em suas operações, principalmente em corte raso. O baixo custo e a tradição de uso deste sistema por empresas americanas são fatores responsáveis pelo seu desenvolvimento no país. As principais máquinas utilizadas no corte e extração no sistema *Full Tree* são: *Feller Bunchers, Shovel Loggers, Skidders, Clambunk Skidder*.

O aprimoramento da produção através da inclusão de máquinas nos processos produtivos, é vital para o desenvolvimento da indústria madeireira, pioneira na região, e a qual detêm importante influência econômica. Diante da introdução e incorporação da mecanização antecipadamente nos procedimentos que compreendem à colheita,

é pertinente considerar benefícios proporcionados de forma direta para a qualidade da matéria prima que chega até a indústria de beneficiamento.

Segundo Alves (2015, p.4):

> Nos últimos anos, as organizações têm sido pressionadas a assumir maiores responsabilidades com relação ao meio ambiente e, com isso, têm adotado formas de gestão mais eficientes. Entre os principais agentes de pressão e que impulsionam a mudança de postura das empresas estão o Estado, a comunidade, o mercado consumidor e os fornecedores. Todavia, a elevação do nível de consciência do empresariado ainda é um desfio, pois as ações voltadas para questões ambientais estão mais focadas no ambiente interno das organizações, prioritariamente para processos e produtos.

Através da mecanização da colheita, além da ampliação da produtividade, há o melhoramento evidente da qualidade da matéria prima, através da uniformidade de tamanhos, além da qualidade de acabamento do corte, fatores estes que acabam refletindo diretamente na atuação das máquinas de beneficiamento da madeira dentro da indústria de transformação.

Antes mesmo da destinação para o beneficiamento, podemos determinar as principais aplicações da madeira perante o mercado atual. A cadeia produtiva da madeira é composta basicamente por três cadeias: cadeia produtiva da madeira industrial (papel, painéis de alta densidade, aglomerados, *Medium Density Fibreboard* – MDF e *Oriented Strand Board* - OSB); cadeia produtiva da madeira para energia (lenha e carvão) e cadeia produtiva do processamento mecânico (serrados, compensados e laminados).

Perante a definição da cadeia produtiva é possível determinar as aplicações de industrialização, e quais os processos mais adequados para a transformação dos produtos provenientes da madeira de acordo com a sua destinação.

2.1.2 Máquinas de desdobro no beneficiamento de madeira

As serrarias são responsáveis pelo primeiro processo de beneficiamento da madeira após sua extração através do desdobro. O funcionamento de uma serraria, consiste basicamente na transformação da tora em madeira serrada, obtendo como produto final as tábuas. Posteriormente as tábuas ainda podem servir como matéria prima para uma infinidade de produtos, os quais são seus derivados.

Para Ponce (1993), desdobro é o processo no qual as toras são convertidas em produtos úteis de madeira, mediante aplicação de um ou mais processos

mecânicos, que as transformam em peças menores, dando-lhes forma, tamanho e superfície requeridos para cada um de seus usos.

O desdobro consiste na redução das toras através de corte longitudinal, em partes menores que podem ser denominadas, pranchas, tábuas ou peças de secção retangular ou quadrada (vigas, vigotas, caibros, sarrafos ou ripas). A redução é feita através de equipamentos de serra, fita ou circular, as quais ainda podem ser classificadas como serras circulares simples, duplas ou múltiplas (FAGUNDES, 2013).

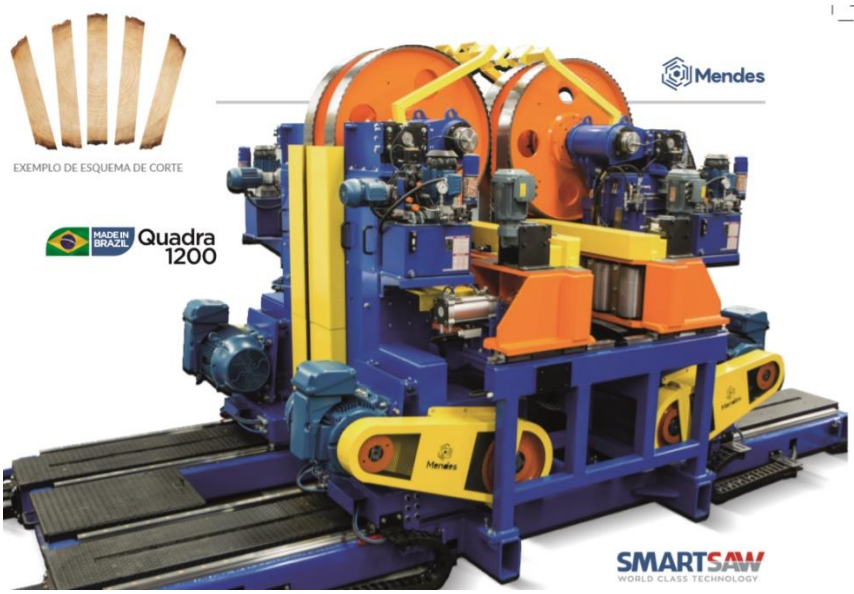
A transformação da madeira apresenta um conjunto de processos combinados, os quais variam de acordo com a destinação final do produto para o qual a madeira será utilizada. Sendo um número cada vez mais crescente, os avanços do mercado que visam o melhoramento contínuo das linhas através da automação.

No Brasil o método de desdobro mais utilizado, sobretudo em serrarias de pequeno porte, compete ao corte tangencial, conhecido como quadro cheio ou cortes paralelos (*live sawn*). Através desde método os cortes são realizados ao mesmo tempo e sem orientações em relação aos anéis de crescimento, resultando em tábuas radicais e tangenciais.

De acordo com Fagundes (2013), as toras são serradas em uma mesma direção, em um conjunto de serras paralelas, ou através da repetição da passagem. No entanto apresenta dificuldades de precisão quando trabalha com serras paralelas, podendo ocasionar perdas e deficiências no aproveitamento da madeira.

A linha de produção na indústria madeireira possui *layout* semelhante, entretanto algumas variáveis podem ser observadas, dentre elas as destinações para as quais a produção irá atender, o tamanho das toras beneficiadas, o grau de instrução dos operadores e de automatização dos equipamentos, fatores estes que podem assim alterar algumas características dos processos se comparados de uma serraria para outra. Basicamente as indústrias de beneficiamento de madeira são compostas pelo processo mecânico de desdobro, refilo e destopo. No desdobro existem exemplos de corte transformando a tora em tábuas diretamente ou em blocos para posteriormente iniciar o refilo e o destopo, um exemplo de máquina dessa etapa pode ser visualizado na figura 3 junto com seu esquema de corte.

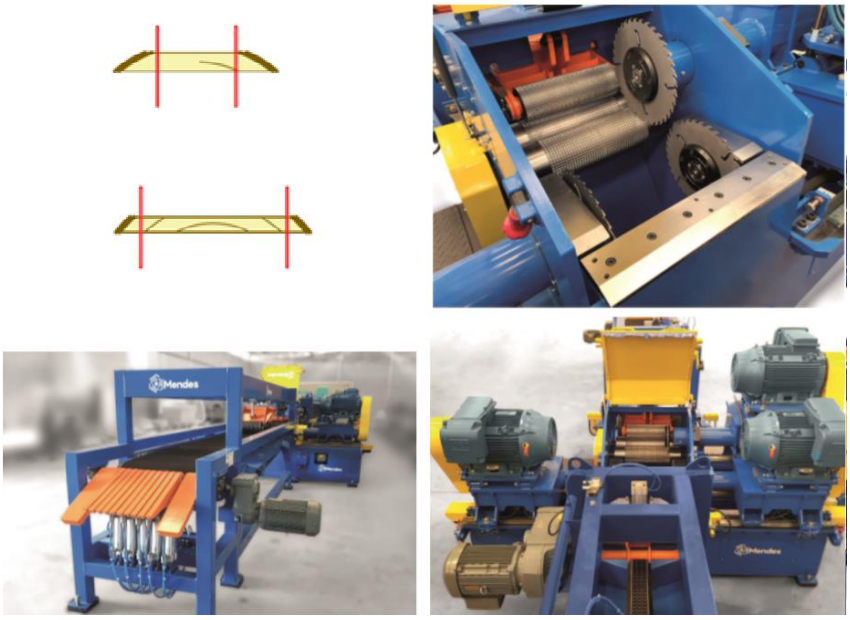
Figura 3 - Máquina de desdobro



Fonte: o Autor.

No passo seguinte de uma serraria, as peças da tora transformadas em tábua devem ser refiladas, ou seja, retirado as cascas laterais. A máquina para este processo chama-se refiladeira, apresentada na figura 4 com seu esquema de corte.

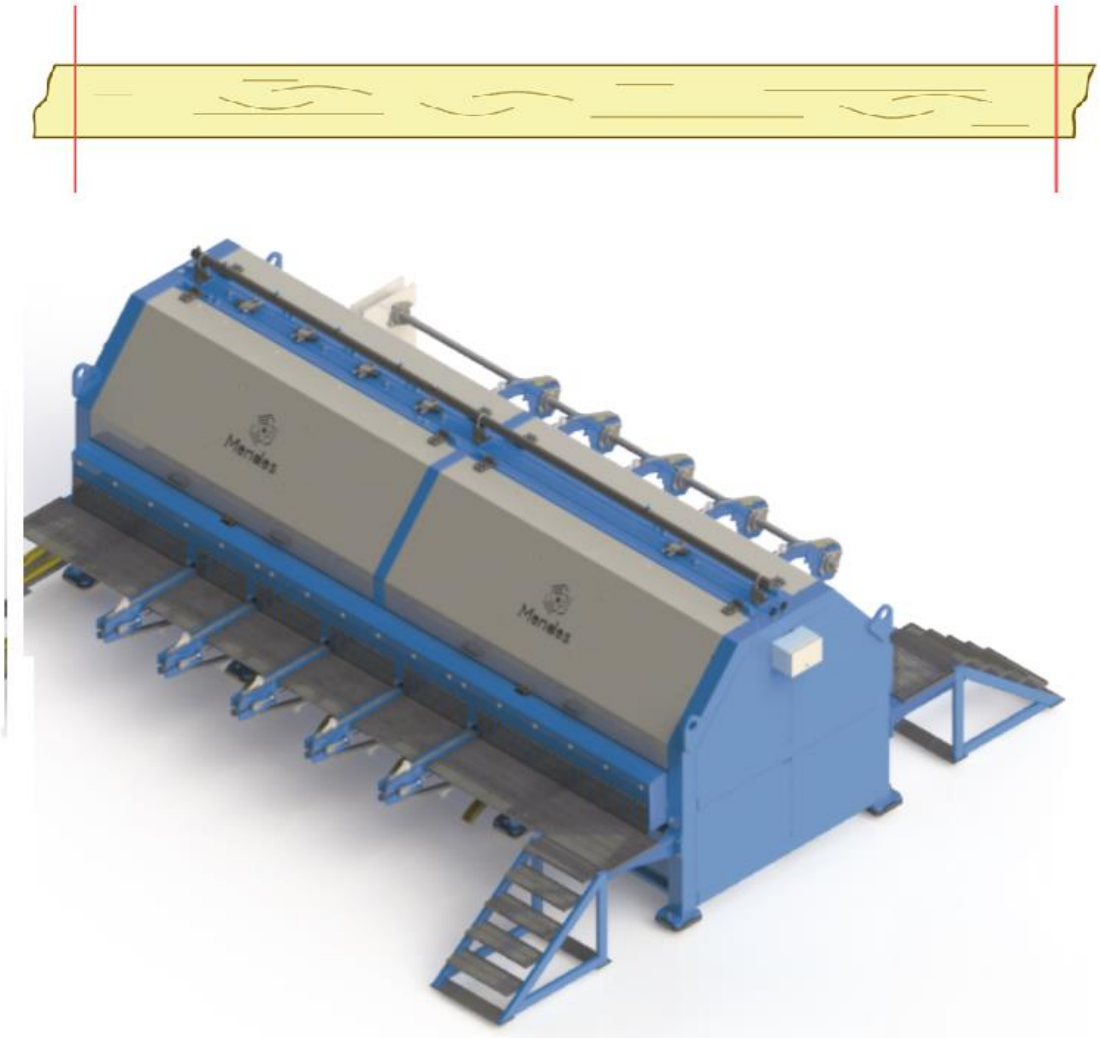
Figura 4 - Refiladeira



Fonte: o Autor

Antes da classificação das tábuas para o processo de secagem, uma máquina adicional finaliza a madeira serrada com o destopo de comprimento como mostra a figura 5.

Figura 5 - Destopadeira de multiplas serras



Fonte: o Autor.

O desenvolvimento constante de avanços tecnológicos na área de mecânica e de automação, e a sua inserção na indústria madeireira vem proporcionando grande expansão da tecnologia nos seus processos industriais.

Para LATORRACA (2004), serrarias de pequeno e médio porte apresentam o grau de automação baixo, podendo gerar grande desperdício de matéria-prima. É importante evidenciar a evolução dos meios de produção, bem como a trajetória de desenvolvimento que visam a ampliação da produtividade e redução do desperdício.

Menezes (1998) afirma que o desdobro é um processo eficiente e proveitoso que permite obter maior volume de material útil e valioso da tora através de processos mecânicos, de forma a satisfazer especificações de qualidade, dimensões e acabamento.

O desdobro em geral é o primeiro processo da madeira, a qual ainda se encontra em formato de tora e superficialmente passa a ser transformada em um bloco, tendo suas faces aplainadas, através da retirada das cascas, quando submetidas à ação das serras que limpam a madeira.

Cada equipamento de desdobro apresenta um conjunto de características que o indicam para certo tipo de madeira e certas características da tora. Cada equipamento possui características próprias de concepção que devem ser conhecidas e interferem na produção, produtividade e rendimento volumétrico (SILVA, 2001 apud FAGUNDES, 2003).

O produto inicial obtido através do desdobro são as tábuas, as quais ainda podem passar por novos processos de beneficiamento em máquinas distintas, a fim de ampliar sua qualidade e seu aproveitamento, processos estes que variam de acordo com a finalidade do produto, bem como suas especificações.

A precisão dimensional das madeiras é também um item de destaque na qualidade do produto final. As dimensões para madeira serradas a serem comercializadas no Brasil são apresentadas de forma padronizada, com nomenclaturas determinadas através da ABNT (Associação Brasileira de Norma Técnicas), conforme dispõe a NR 14807 (2002) e mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura de peças comercializadas

Nome da peça	Espessura (mm)	Largura (mm)
Pranchão	71 a 161	161 e acima
prancha	39 a 70	162 e acima
Pranchinha	38	100 e acima
Viga	40 a 80	81 a 160
Caibro	41 a 80	50 a 80
Tábua	10 a 37	100 e acima
Sarrafo	21 a 39	20 a 99
Ripa	10 a 20	20 a 50
Ripão	15 a 20	50 a 70
Pontalete	70 a 80	75
Quadradinho	25	25
Quadrado	100 e acima	101 e acima

Fonte: VITAL (2018)

A partir do processo de desdobro são obtidos os resíduos iniciais, dentre eles cascas, cavacos e serragem. Os resíduos devem possuir a destinação correta, condizente com a legislação ambiental. Podemos evidenciar que os resíduos também servem para proporcionar uma fonte de renda para a empresa através de sua comercialização. Em geral os resíduos de madeira, são destinados para recuperação energética, através da sua queima. No entanto, é possível que estes sejam também submetidos à um processo de industrialização para a obtenção de novos produtos, promovendo a sustentabilidade.

Diante das possibilidades de aproveitamento dos resíduos obtidos com o desdobro, a empresa desenvolve sua competência de sustentabilidade. Para Costa:

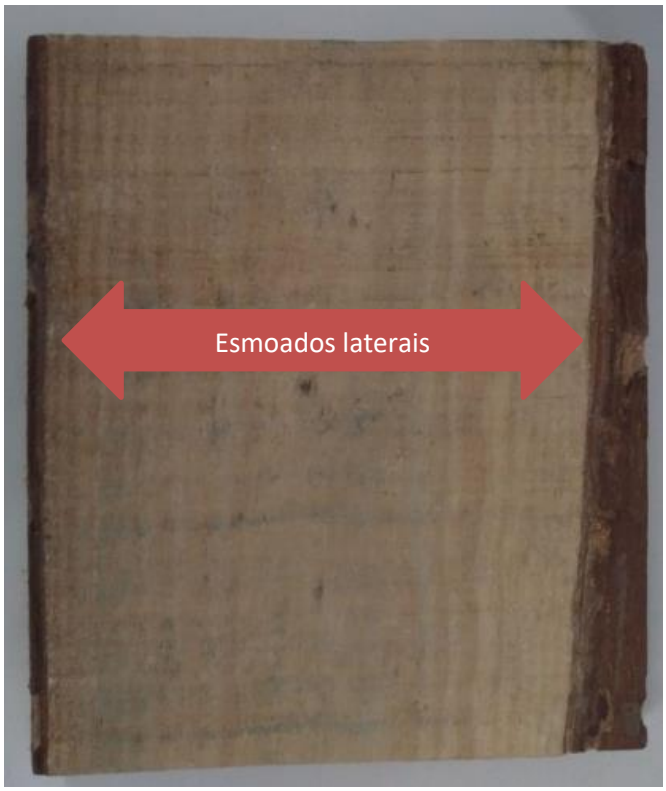
> O desenvolvimento sustentável não deve ser visto como uma revolução, ou seja, uma medida brusca que exige rápida adaptação e sim uma medida evolutiva que progride de forma mais lenta a fim de integrar o progresso ao meio ambiente para que se consiga em parceria desenvolver sem degradar (2012, p. 10).

O crescimento deve estar aliado de maneira evolutiva, apresentando benefícios plausíveis e ao empreendimento, bem como eximindo a degradação ambiental, apresentando benefícios ao meio ambiente em que este está inserido.

2.1.3 Máquina refiladeira

A partir da execução do desdobro, em sequência ao processo de serragem das tábuas, é possível observar a presença de esmoados que são cascas de madeira, saliências, ou até mesmo resíduos das cascas nas laterais de algumas peças, para a finalização do produto com qualidade superior e com padronização das faces. A madeira que apresenta essas características é classificada e passa por um novo processamento, realizado através de uma máquina refiladora. A figura 6 mostra uma madeira com a presença destes defeitos, são sobras de cascas originadas do primeiro processo de corte de uma máquina de desdobro.

Figura 6 - Tábua com esmoados laterais, imperfeições de uma matéria prima sem refilar.



Fonte: o Autor.

A refiladera consiste basicamente em duas serras laterais ajustadas independentemente, utilizadas para finalizar o recorte lateral das peças, retirando resíduos, saliências e padronizando o acabamento final da peça, a fim de melhor aproveitar a madeira com a remoção das deficiências, assegurando assim que a peça não será descartada.

O processo complementar ao desdobro assegura a qualidade, e por sua vez, produz resíduos, que em geral são processados em um picador, ou destinados diretamente para fins de recuperação energética, confecção de paletes, dentre outros usos. A figura 7 mostra uma máquina deste tipo com os seus principais componentes. É uma máquina de deslocamento linear de tábuas com um transportador de entrada com rolos superiores para assegurar o movimento somente frontal da matéria prima, composta por duas ou três serras circulares posicionadas por servo motores ou modelos mais simples, que utilizam de posições fixas atuadas por um sistema pneumático.

Figura 7 - Máquina refiladeira e seus principais componentes

Fonte: o Autor.

O desenvolvimento de tais máquinas tem sua regulamentação de acordo com as normas técnicas de segurança, da NR 12, a fim de garantir e promover saúde dos trabalhadores presentes na linha de produção diante do manuseio de equipamentos.

2.2 Problemas de qualidade e produtividade em métodos de inspeção manuais

Muito tem sido evidenciada a necessidade de otimização do processo através da introdução da automação na indústria madeireira, promovendo assim melhores aproveitamentos da matéria prima, reduzindo a geração de resíduos e também ampliando a qualidade do produto final, sempre com o intuito de expandir os resultados da empresa, gerando assim a obtenção de retorno do investimento despendido para a sua automatização.

Evidenciar a qualidade dentro da empresa é também uma maneira de gerar valor. Com a ampliação da qualidade dos produtos em suas linhas de produção, a indústria madeireira amplia seus horizontes de mercado, com a capacidade de avançar as suas vendas para outros países, ampliando assim a probabilidade de comercialização, e impulsionando de forma positiva a economia.

Na indústria madeireira a implantação da automação da linha de produção vem auxiliar diretamente na gestão da qualidade dos produtos, diante da ampliação e melhoramento dos processos através do moderno controle automatizado da qualidade, reduzindo assim o desperdício e ampliando a sua produtividade.

De acordo com Longenecker, Moore e Petty (1997, p. 484), produtividade é a eficiência com a qual os insumos são transformados em produção. Diante de empresas madeireiras, as quais possuem suas atividades diretas relacionadas ao setor de produção, podemos afirmar que o seu crescimento e desenvolvimento está ligado diretamente à composição de estratégias e ao funcionamento contínuo.

Diante destas ações e de contribuições que a tecnologia apresenta para seu progresso, ao longo dos anos é possível identificar que o principal gargalo da produção do setor madeireiro está na geração de resíduos, bem como na sua destinação.

Grande parte destes resíduos ocorre em decorrência de limitações no controle dos processos realizados por meio de inspeção visual, pois os turnos de trabalho são programados para oito ou dez horas com um intervalo geralmente de uma hora para refeição. A visão e atenção humana não pode ser comparada a máquinas que não sofrem fadiga e cansaço. A figura 5 ilustra o ambiente de um operador de serraria que mantém sua máquina em funcionamento a trinta peças por minuto e a dificuldade para se analisar uma tábua e avaliar visualmente as dimensões com variação de poucos milímetros.

Figura 8 - Ambiente de trabalho de um operador de refiladeira

Fonte: o Autor.

As motivações para práticas de redução do desperdício de material, bem como de redução dos impactos provocados pelo desperdício, advêm da crescente conscientização ambiental e econômica. Com a obtenção do mínimo resíduo possível, pode-se destacar o papel da automação quanto ao contínuo desenvolvimento no ramo de geração de energia através da utilização de resíduos e de biomassa.

A sustentabilidade apresenta a promoção na mudança de hábitos e práticas empresariais. A conscientização e preservação de recursos naturais, estão presentes das atividades rotineiras e cotidianas das empresas, bem como dos cidadãos e apresentam inúmeros benefícios. De acordo com Costa:

> A definição mais aceita para desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro (2012, p. 7).

Outro fator adverso apresentado pela indústria madeireira quanto às limitações de operações manuais, e motivadoras para a expansão da automação, é a ausência de mão de obra qualificada, fator este que, sempre foi um grande desafio para a indústria de uma forma geral, e está fortemente presente no setor madeireiro. O setor apresenta dificuldades evidentes com a rotatividade de pessoal, ausência de qualificação, inclusive de educação de nível básico por parte da classe operacional, além dos números significativos de acidentes de trabalho, dentre outras particularidades.

Há uma série de adversidades relacionadas aos recursos humanos atuais disponíveis no mercado de trabalho para a realização de atividades operacionais do setor da indústria madeireira. Fator este que também contribui e impulsiona a expansão da automação nas serrarias.

As exigências legais pertinentes à contratação de pessoas apresentam uma série constante de custos elevados às empresas, além de sua produtividade estar suscetível às alterações diárias de empenho e motivação dos funcionários. Assim, diante dos altos custos bem como da escassez de mão de obra especializada, fica cada vez mais evidente a promoção da automação dos processos industriais através de máquinas que possam realizar as atividades de forma mecanizada reduzindo assim a presença de recursos humanos, além de minimizar os riscos ambientais.

A inserção de máquinas no processo industrial amplia sua capacidade de produção, além de expandir os controles quantitativos que compreendem aos

processos. A mecanização, bem como os avanços tecnológicos otimizam constantemente aspectos de qualidade, produção, eficiência de geração de valor com mínimo custo possível.

2.3 Visão Computacional aplicada na inspeção de processos.

A visão é um dos sentidos presentes no corpo humano, dentre as suas aptidões, possibilita a importante função de captar as informações presentes no ambiente através da observação de imagens, as quais promovem o reconhecimento e diferenciação de locais, cores, objetos, texturas. Ao longo dos anos, e com o desenvolvimento da tecnologia, diversos estudos foram direcionados para atribuir essa competência em sistemas de computadores.

Marcel (2018) afirma que a visão computacional faz parte da inteligência artificial e consiste em um corpo de conhecimentos que busca a modelagem artificial da visão humana com o intuito de reaplicar suas funções, por meio do desenvolvimento de *softwares* e *hardwares* avançados.

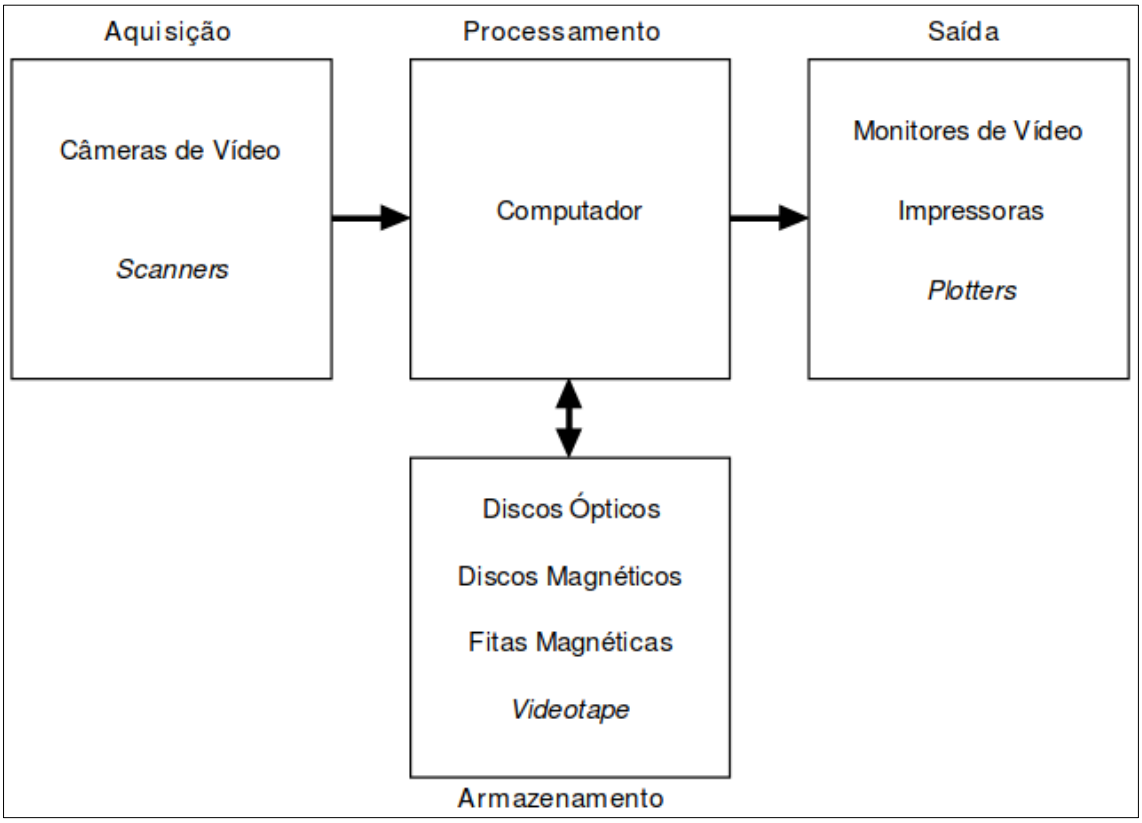
Conforme relata SAS (2019), as primeiras experiências sobre visão computacional aconteceram nos anos de 1950, através do uso das primeiras redes neurais, utilizadas para detectar os limites de um objeto e para classificar objetos simples em categorias como círculos e quadrados. Em 1970 ocorreu o primeiro uso comercial na interpretação de textos manuscritos e digitados usando reconhecimento ótico de caracteres.

Esta tecnologia vem crescendo e se desenvolvendo proporcionando tarefas de reconhecimento, detecção, movimento, restauração de imagens bem como de identificação, sendo estas realizadas através de máquinas de maneira automática. Avanços da automação já possibilitam experiências cada vez mais relevantes ao meio industrial, ampliando a qualidade dos produtos, auxiliando na redução de desperdícios, bem como na maximização da sua produtividade por meio da expansão dos recursos de visão computacional adicionados ao conjunto de máquinas presentes no arranjo estrutural da empresa.

Com a ampliação da indústria e os avanços da tecnologia, é possível mensurar a contribuição desta ferramenta para a ascensão da qualidade e o desenvolvimento dos sistemas de classificação, os quais podem ser subdivididos basicamente em

sistema de visão bidimensional (2D), que compreende na avaliação sob análise de duas dimensões e o tridimensional (3D) que consiste na análise de três dimensões. Perante os aspectos da visão computacional podemos dividir o processo realizado pelos equipamentos que dispõe deste recurso através de três etapas básicas: a aquisição e digitalização da imagem, o processamento e análise da imagem, e posteriormente a avaliação e resultados obtidos através da interpretação. A figura 8 exemplifica esse processo.

Figura 9 - A visão computacional



(Fonte OLIVEIRA 2018)

A aquisição da imagem, ocorre através de uma câmera de vídeo, ou ainda de um *scanner*, responsáveis pela captura, a qual é transmitida para um processador, e através da conversão em pixel. A coleta da imagem está relacionada diretamente com a intensidade de luz que detém sob a imagem em questão.

De acordo com Gonzales e Woods (2010), o processamento de imagens através de recursos de computação, ocorre tanto de forma primitiva e com parâmetros básicos considerados de baixo nível se comprados à capacidade da visão humana. Neste processo as operações de filtragem e contraste ocorrem de maneira básica

para o processamento das imagens. Em casos de nível médio de processamento estão a classificação e a segmentação, que exigem maior complexidade em suas habilidades de obtenção e de processamento das imagens.

O objetivo principal diante da aplicação do processo de visão computacional é o reconhecimento do objeto, tendo a função de identificar, reconhecer e avaliar o objeto em questão, através de um comparativo com os parâmetros de padrão estipulados previamente. Essa tarefa é denominada como reconhecimento de padrão. (GROOVER, 2011).

Atualmente a indústria utilizam a visão computacional na identificação de produtos com defeito, ainda na linha de produção. A mecanização avança sempre sob aspectos de automação e de análise da qualidade dos produtos em sua fabricação, voltada para a utilização e desenvolvimento de máquinas eficientes e com habilidades semelhantes, porém ainda mais eficazes que os próprios seres humanos.

No entanto, para a obtenção de resultados mais eficazes, é necessário observar características importantes para o desempenho máximo da visão computacional, dentre eles: a incidência de iluminação adequada para a clareza da captura, a utilização de lente apropriada com a resolução correspondente para a imagem em questão. Além destes, o processamento também deve ocorrer de maneira otimizada, assim garantindo a veracidade dos resultados de reconhecimento e de classificação dos objetos.

A visão computacional está cada vez mais presente no ambiente industrial, independentemente de seu segmento. Muito contribui para a classificação, identificação, organização e para a maximização da qualidade dos produtos, os quais são submetidos à uma avaliação minuciosa sob a análise de sistemas de visão, que demandam maior precisão, uma vez que estes utilizam paramentos eletrônicos e automáticos de comparação entre os objetos submetidos à avaliação.

2.3.1 Imagens

As imagens digitais são bidimensionais e empregam um código binário o qual permite o seu processamento, transferência, impressão ou reprodução. De acordo com Gonzales e Woods (2010, p .1) “uma imagem digital pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x, y)$ em que x e y são coordenadas espaciais e a amplitude

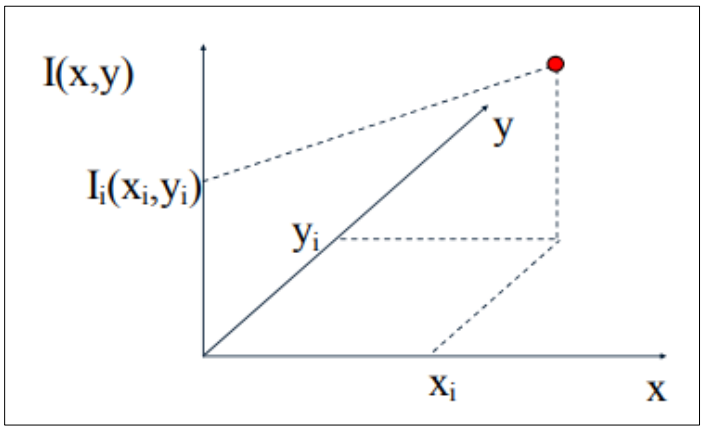
de f em qualquer par de coordenadas de (x, y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto.”

Em geral, os sensores de imagens geram dados contínuos na sua saída, sendo necessária a conversão para a reprodução da imagem digital, através da implementação de processos de amostragem, que compreendem à digitalização de valores de coordenada e de quantização, que corresponde à digitalização dos valores de amplitude.

As imagens digitais são obtidas através de uma amostragem e da quantização dessa função, determinadas matematicamente através da função $f(x, y)$ podendo ser representadas de três formas básicas: graficamente como uma superfície composta pelos eixos x, y e f, como uma matriz de intensidade visual em que o nível de cinza de cada ponto é proporcional ao valor da intensidade e como uma matriz numérica, no qual a intensidade de f em cada ponto é representada numericamente.

A função bidimensional é representada de forma gráfica, através de uma representação em formato de matriz onde x e y são números reais que compreendem à uma amostragem.

Figura 10 – Gráfico de função bidimensional



Fonte: SCURI (2002, p.18)

A obtenção rápida de resultados faz com que a representação de imagens através de matrizes numéricas seja a mais utilizada no desenvolvimento de algoritmos, podendo ser escritas através de uma matriz $M\ x\ N$.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

Os elementos desta matriz unitariamente determinam a cor da imagem. Cada elemento da matriz é denominado elemento pictórico, ou *Pixel,* que significa a abreviação de *Picture Element.*

Além das imagens monocromáticas, com escalas em cinza, as quais possuem apenas um canal de intensidade proporcional à iluminância do ponto, as imagens coloridas apresentam múltiplos canais, que além da iluminação apresentam a informação de cor de cada ponto.

Para Dawson-Howe (2014), as imagens coloridas em geral são representadas em três canais de cores, o que as difere das imagens com escala em cinza e ampliam a complexibilidade de sua formação. Dentre os padrões de cores mais utilizados estão o *Red-Green-Blue (RGB)* e o *Cyan-Magenta-Yellow (CMY)*.

2.3.2 Aquisição de imagens

A aquisição de imagens compreende ao processo de captura para a obtenção das cenas reais, as quais serão processadas e convertidas através de recursos e equipamentos. Para a coleta das imagens em geral, o método é composto por câmeras, lentes, scanner e sistemas de iluminação.

Gonçalves *apud* Solomon e Breckon (2018), evidencia que a câmera é um componente que projeta o ambiente real 3D, através de uma representação de imagem padrão 2D, sendo ela o principal componente dos sistemas de visão, sendo responsável pela captura e obtenção das imagens que serão posteriormente processadas, as quais podem ser divididas em analógicas e digitais.

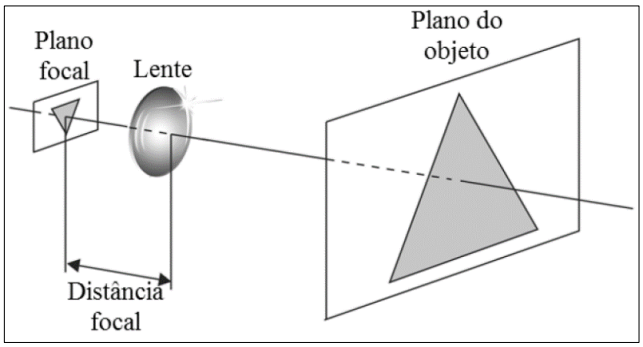
Segundo Scuri (2002) as câmeras digitais usam dispositivos CCD (*Charge Coupled Device*) que atua como se fosse o filme fotográfico, alcançando resoluções que vão desde 640x480 até milhares de pixels. Atualmente algumas câmeras utilizam os sensores de formato CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*), que viabilizam seu uso industrial, pois utilizam a mesma tecnologia de semicondutores tradicionais para a produção em baixo custo.

As câmeras digitais são baseadas na tecnologia do estado sólido, e por sua vez acabam sendo as mais utilizadas em sistemas de visão computacional. São compostas basicamente por uma área de imagem de silício em estado sólido subdividido em milhares de áreas fotossensíveis denominadas *photosites,* formando uma matriz de *pixels* (GRASSI, 2005).

Conforme Groover (2011) quando um conjunto de lentes projeta a área de interesse sobre a área de imagem da câmera, uma carga elétrica é gerada em cada *pixel,* proporcional à intensidade da luz incidente sobre o mesmo. Desta forma, a carga é acumulada em um dispositivo de armazenamento em forma de matriz de elementos de armazenamento, correspondente a cada elemento fotossensível do quadro.

As lentes, bem como a resolução da câmera utilizada acabam influenciando diretamente na obtenção de resultados, pois são as principais responsáveis pela captura das imagens disponíveis no ambiente em questão. Desta forma, vale ressaltar a importância de observar alguns pontos imprescindíveis, dentre eles: o acoplamento correto da lente à câmera, garantindo a correta distância entre o plano focal e o flange da lente promovendo assim a nitidez da imagem (Figura 3); assegurar o tamanho do sensor da câmera assim de adequar a lente nesta mesma dimensão; efetuar o ajuste da resolução espacial do sensor da câmera, de acordo com o número de pixels que compõem a matriz da imagem; observar a distância focal da lente, a qual resulta no campo de visão da câmera, denominada normal, grande ocular ou teleobjetiva.(POINT GREY, 2018).

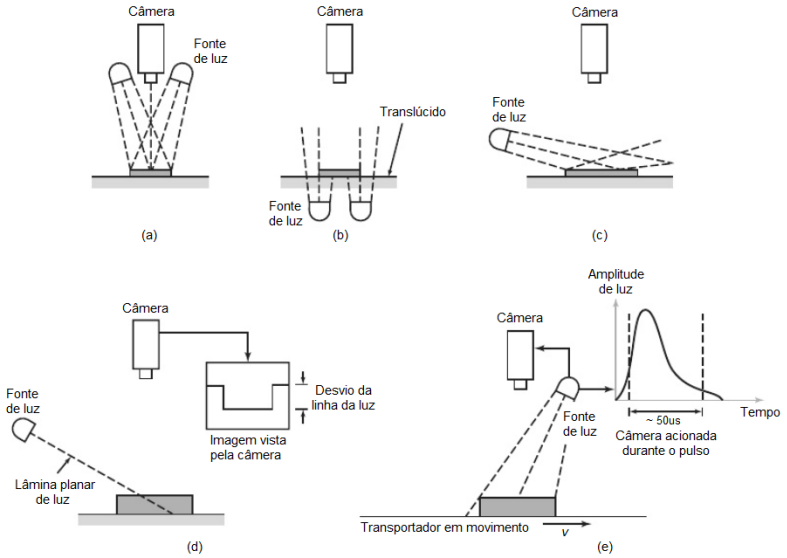
Figura 11 - Distância focal



Fonte: (OLIVEIRA, 2015)

A iluminação também é fator determinante no conjunto do sistema de visão computacional, a fim de destacar as características de diferenciação propostas pela análise em que o objeto está submetido no processo. Groover (2011) aponta a existência de cinco categorias de iluminação, as quais podem ser empregadas diante do processo de visão computacional, conforme apresenta a Figura 11.

Figura 12 – Tipos de iluminação em visão computacional



Fonte: (GROOVER, 2011)

A iluminação de frente, (a) é obtida através do posicionamento da luz no mesmo lado em que está a câmera, estando ambos direcionados para reflexão da luz no objeto. A iluminação de fundo é posicionada no sentido contrário ao posicionamento da câmera, estando localizada na parte traseira do objeto (b). A Iluminação lateral consiste no posicionamento em um determinado ângulo com relação à câmera (c). A iluminação estourada, consiste em um padrão de luz especial, que é projetado sobre o objeto diante de um determinado ângulo (d). E por fim a iluminação estroboscópica, onde a cena é iluminada através de pulsos de luz de alta intensidade e com curta duração, sincronizadas com a captura da câmera (e).

Além das variáveis de posicionamento de projeção da luz, é importante ressaltar que as fontes, bem como os tipos de luz, empregados no sistema são variantes da intensidade luminosa, iluminância, índices de reprodução de cores e temperatura da cor. Portanto devem ser avaliados e considerados para o funcionamento adequado do sistema de visão computacional.

2.4 Processamento digital de imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI), visa a reconstrução de uma cena tridimensional a partir de uma cena real, obtida através do registro de imagem realizado por uma câmera (QUEIROZ, 2001). O método consiste essencialmente na

obtenção dos resultados provenientes da captura da imagem, sendo o objeto de todo o desenvolvimento do desde o início do sistema de visão computacional.

Conforme Gonzales e Woods (2010) o processamento digital de imagens pode ser dividido a partir dos métodos de entrada e de saída de imagem. Para os métodos de entrada estão a classificação conforme a filtragem, restauração e compressão, enquanto para os métodos de saída estão o processamento morfológico e a segmentação.

2.4.1 Segmentação

A segmentação é caracterizada como uma técnica de processamento digital. Este método visa uma análise da imagem a partir da subdivisão de seus componentes em partes ou objetos constituintes, possibilitando a identificação de diferença de acordo com os parâmetros de comparação previamente estipulados, conforme a avaliação que será aplicada.

Diante da aplicabilidade da segmentação é importante avaliar o nível de intensidade da luminosidade, a partir das imagens através de bases em algoritmos de segmentação, sendo utilizadas para esta, técnicas de descontinuidade ou de similaridade dos níveis de cinza no caso de imagens monocromáticas. A sua fundamentação consiste no particionamento da imagem em zonas caracterizadas por mudanças bruscas dos níveis de cinza.

A técnica da descontinuidade divide a imagem de acordo com a variação dos níveis de intensidade luminosa e de seus pixels, como os pontos, linhas e bordas. Comumente são utilizadas técnicas de filtragem espacial e frequencial com este intuito, dentre as técnicas estão o filtro *laplaciano* e as máscaras de *Robert, Prewitt* e *Sobel*.

Para a técnica de similaridade, a imagem é dividida conforme padrões preestabelecidos de similaridades encontrados no decorrer de suas regiões, considerando a intensidade luminosa e a textura. Perante sua composição a limiarização obtém lugar de destaque, principalmente em aplicações de inspeção industrial, devido apresentar uma alta capacidade de processamento com uma implementação simples.

A limiarização é fundamentada através da classificação dos *pixels* da imagem em função de um ou mais limiares de intensidade em níveis de cinza. Podendo ser representada da seguinte forma:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & se\ f(x,y) > T \\ 0 & se\ f(x,y) \leq T \end{cases}$$

Onde $f(x,y)$ corresponde à imagem de entrada, $g(x,y)$ à imagem limiarizada de saída e T o limiar de intensidade luminosa em que se deseja segmentar a imagem. É possível analisar seu histograma de intensidade, onde os pontos (x,y) da imagem que apresentarem intensidade superior ao limiar estabelecido são alocados em um grupo, ou modo e são denominados como pontos do objeto e os pontos (x,y) da imagem que apresentarem intensidade inferior ao limiar são alocados em um segundo grupo e são denominados como pontos de fundo.

2.5 Soluções atuais de inspeção em máquinas refiladoras automatizadas

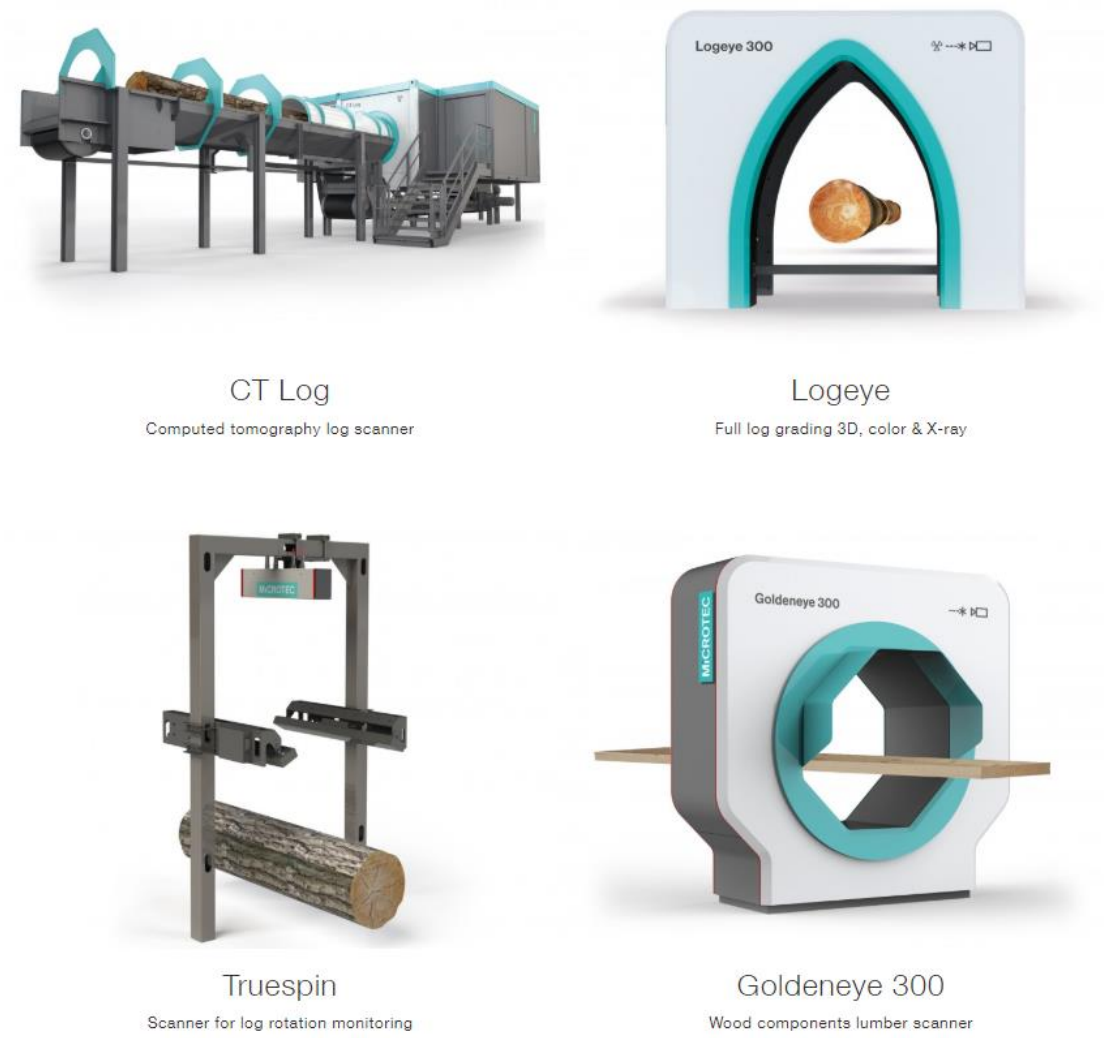
A inspeção em processo da madeira a ser beneficiada sempre foi um desafio para as indústrias do setor, que vem sendo vencido com a utilização das modernas tecnologias de visão computacional. A limitação de velocidade e precisão da inspeção visual por operadores humanos, bem como as questões de segurança e insalubridade vêm motivando fabricantes de sistemas de visão computacional de outras áreas a desenvolver soluções para o setor madeireiro.

No presente momento ainda são poucos os fabricantes de módulos de sistema de visão para serrarias e indústria madeireira, pois é um sistema complexo e envolve necessidades de operar em ambiente com condições hostis de temperatura e nível de sujidade local. Além desses dificultadores do ambiente, a indústria madeireira busca sistemas de visão com precisão, software de operação simples para operadores e custo atrativo. Outros dificultadores são as mudanças de máquinas e adaptação da planta da serraria para a integração de tais sistemas de inspeção.

Muitas das grandes empresas de automação e sistema de visão são europeias como a Microtec no mercado de automação de serrarias desde 1980, bem como Autolog e Proficura com conceitos novos de software e sistemas de visão, em pacotes tecnológicos em sistema fechados. Essas empresas são referência em todo o mundo em qualidade mais com um alto custo para o cliente final. A utilização de scanners ópticos para madeiras no mundo tem sido frequente para desdobro, refiladeiras e

otimização de tábuas no setor de beneficiamento do produto final. A figura 9 apresenta os scanners para todos os processos disponíveis pela empresa líder no mercado Microtec.

Figura 13 - Scanners para madeira Microtec



Fonte: (MICROTEC, 2019)

Ao mesmo tempo em que há estes dificultadores, constata-se que atualmente existem soluções com sensoriamento, câmeras e softwares para desenvolvimento de diversas aplicações em serrarias e outros nichos industriais. Porém, para adentrar no setor madeireiro de desdobro o desenvolvimento de produtos de inspeção deve agregar boa funcionalidade, rapidez e eficácia com custo atrativo.

3 SOLUÇÃO PROPOSTA PARA A INSPEÇÃO ÓPTICA DA MADEIRA

Para a busca por uma solução ideal em um projeto de redução de custos e lançamento futuro de um produto para comercialização no Brasil pesquisou-se desenvolvimentos correlatos no mercado para levantar valores financeiros e materiais. Para isto, este projeto utilizou metodologia de desenvolvimento de produto, iniciando com as etapas de projeto informacional e conceitual para facilitar à condução a um protótipo inicial.

Como já citado, são poucos os fabricantes de módulos de sistema de visão para serrarias e indústria madeireira, e grandes empresas europeias de automação e sistema de visão com tecnologias fechadas são referência em todo o mundo em qualidade, mas com um alto custo para o cliente final. Além destas empresas com soluções completas há também nos Estados Unidos duas empresas fornecedores de partes do sistema. As maiores nesse ramo são a Joescan, empresa americana fabricante de cabeçotes ópticos e a Teknip empresa chilena desenvolvedora do software para estes cabeçotes.

No Brasil é inexistente a produção específica para sistema de visão madeireiro nessa linha de produto, porém, muitas marcas de sensores comercializadas como Banner e Balluff, fornecem câmeras para aplicações padrões adaptáveis para uma série de segmentos industriais.

3.1 Conceito idealizado do sistema de medição e inspeção

O projeto trata de um sistema de inspeção para máquina refiladeira para madeira, utilizando um sistema de visão com câmera fazendo a aquisição de imagens e obtenção de informações da geometria da madeira inspecionada. Essas aquisições são tratadas em um software com a capacidade de identificar falhas na madeira e calcular a melhor área para corte da tabua.

Inicialmente foi levantado com pesquisas a melhor forma de inspeção óptica da madeira, em artigos de visão computacional, buscando atingir erro de leitura de 1 mm. Também, em paralelo, foi feito um estudo da programação a ser utilizada que atendesse aos requisitos do projeto, referente à velocidade de processamento e otimização do sistema. Para um sistema de visão foi necessário dispor de um protótipo do produto com um módulo eletrônico para a comunicação e transformação

das imagens adquiridas pela câmera no ambiente tridimensional em estrutura mecânica para um ambiente computacional. Com a estrutura mecânica de testes e protótipo do scanner montado, foi desenvolvido um software para testes e validação do sistema.

Com o desenvolvimento de ferramentas de visão, pesquisou-se a possibilidade de duas formas de leitura, pelo método de triangulação laser (STIVANELLO, 2008) ou somente com processamento de fotos e câmera (GROOVER, 2011). Testes preliminares indicaram resultados satisfatórios com aquisição de imagens utilizando somente uma câmera calibrada para um único plano de foco, sem a necessidade de utilização de laser para obtenção de imagens tridimensionais, atingindo os objetivos de análise de matéria prima defeituosa e calculando o melhor corte.

A utilização de uma câmera sem iluminação com laser também atingiu fatores propostos no projeto como redução de custo e isentou a preocupação de atender normas técnicas para classificação de laser e riscos aos operadores do sistema de visão. Dessa forma, esta concepção de inspeção óptica foi escolhida para ser desenvolvida e otimizada.

3.2 Metodologia de Desenvolvimento do Produto

No desenvolvimento deste trabalho foi empregada a metodologia de projeto de produto tal como proposta por Rozenfeld (2006), definindo em o produto em dois passos, sendo o primeiro o projeto informacional onde buscou-se todos os requisitos e necessidades e o segundo o projeto conceitual juntando as informações e desenvolvendo o produto em etapas.

Na primeira etapa, com o auxílio de Andrade (1991) que propôs uma série de questões para desenvolvimento de um guia básico para a obtenção de um produto final, efetuou-se a aplicação de alguns recursos nesse projeto, identificando os principais requisitos dos clientes do produto, o momento, a fase desenvolvimento e utilização do produto, validando ou não todo o conceito:

Tabela 2 - Clientes, momento e fase do produto

CLIENTE	MOMENTO	FASE
Mendes e Cia Ltda	Desenvolvimento do produto	DESENVOLVIMENTO
Clientes da Mendes e Cia Ltda	Compra do produto	COMERCIALIZAÇÃO
Técnicos em elétrica	Instalação e manutenção do produto	UTILIZAÇÃO DE PRODUTO
Operador da máquina com dispositivo instalado	Operação do produto	UTILIZAÇÃO DE PRODUTO
Gerência	Obtenção de relatórios	RESULTADOS DO PRODUTO

Fonte: o Autor.

Após a definição dos clientes em todas as fases do produto, foram gerados os requisitos do produto, para atender a necessidade de cada fase, atribuindo valores básicos, de material, energéticos e por fim de controle. A lista de atributos do sistema está detalhada nos itens a seguir.

Atributos Básicos do Produto:

- Funcionamento: módulo com câmera para detectar falhas da madeira, com software para visualização e cálculos de melhor dimensionamento.
- Ergonômico: uma vez montado, depende somente da estrutura da máquina que está acoplado para manutenção.
- Estético: módulo metálico retangular vedado.
- Econômico: equipamento de baixo custo visando concorrentes internacionais.
- Segurança: equipamento sem risco pois trabalha com baixa voltagem.
- Confiabilidade: precisão de cálculos com erro de no máximo de 1mm.
- Legal: uso sem restrições em todo âmbito de serrarias dentro e fora do país.
- Patentes: não há restrição.
- Da Modularidade: componentes eletrônicos com câmera somente e um painel de comunicação.
- Do Impacto Ambiental: lixo eletrônico para descarte.

Atributos Energéticos:

a) Forças: alimentação 24V.
b) Cinemática: equipamento estático.
c) Tipo de Energia (térmica, elétrica etc.): alimentado por energia elétrica.
d) Fluxo (massa ou energia): suporte a um ambiente sujo, hostil de serraria.

Atributos de Controle:

a) Sinais: conexão aos controladores externos por cabos blindados.
b) Estabilidade (dos sistemas): configuração, calibração feita, sistema deve funcionar perfeitamente, com periódica calibração semanal.
c) Controle (dos sistemas): alertas de erro de conexão pelo software de visualização do operador, verificação de calibração.

3.3 Projeto conceitual

No projeto conceitual é validada a ideia do produto, tendo as informações necessárias atribui-se o conceito do produto que segundo o Dicionário Aurélio, conceito “é a representação dum objeto pelo pensamento, por meio de suas características gerais.”. Esta etapa confirma a melhor solução para o desenvolvimento do produto.

Segundo Rozenfeld (2006), o projeto conceitual está relacionado com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema do projeto.

Para as etapas definem-se algumas concepções necessárias:

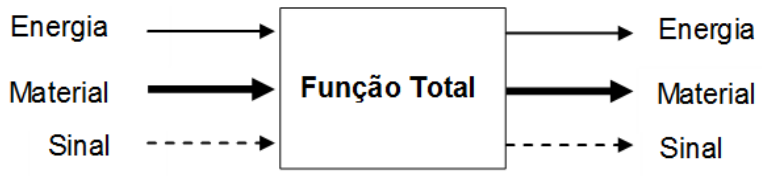
- Busca: definir com maior precisão a necessidade do cliente e buscar informações sobre outros produtos correlatos;
- Criação: criar possíveis tipos de produtos atendendo os requisitos desenvolvidos com o cliente e no projeto informacional;
- Representação: apresentar as concepções do produto;
- Seleção: selecionar a concepção que melhor atende aos requisitos do cliente.

3.3.1 Modelagem funcional do Sistema

Para atribuir um conceito para o produto, deve-se ter como base as especificações meta atribuídas anteriormente no projeto informacional. Fazendo esse processo o próximo passo é utilizar a árvore de funções ou também conhecida como estruturas de funções.

Para isso, define-se a função total, representada como uma caixa preta com entradas e saídas, e essas são as definições e transformações totais (figura 15).

Figura 14 - Função total - entradas e saídas.



Fonte: ROZENFELD et al., 2006

Para a elaboração da função total adotou-se o roteiro de (Gomes Ferreira, 1997) a partir das especificações-meta do produto:

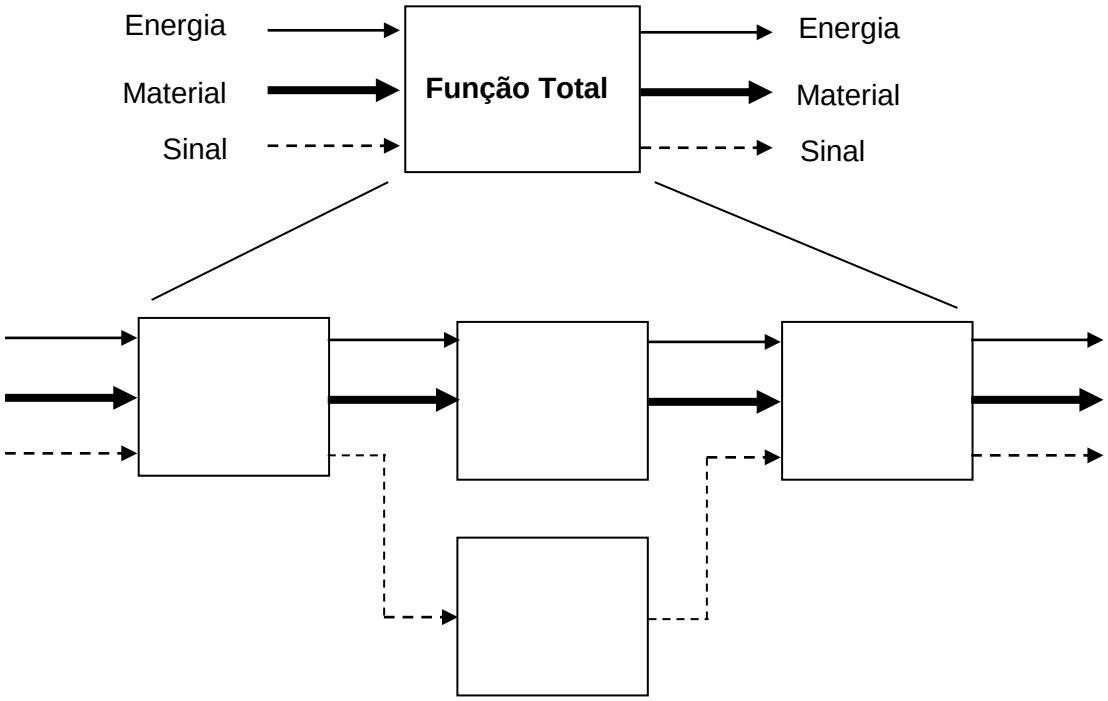
- Localizar, dentre as especificações-meta, aquelas que dizem respeito às funções do produto.
- Detectar, nessas especificações funcionais, as principais entradas e saídas do sistema em termos de fluxos de energia, material e sinal.
- Estabelecer os estados das principais entradas e saídas listadas no item anterior.
- Detectar, dentre os fluxos listados, quais os fluxos principais de entrada e de saída do sistema, tentar expressar a função total em termos de um par verbo e substantivo.
- Representar os dados levantados nos itens anteriores na forma de um diagrama de blocos.

Figura 15 - Função total do sistema óptico para inspeção de processo em máquina refiladeira.

Fonte: o Autor.

Com base no roteiro a função total é processar a imagem desdobrando para outras funções mais simples (Figura 17).

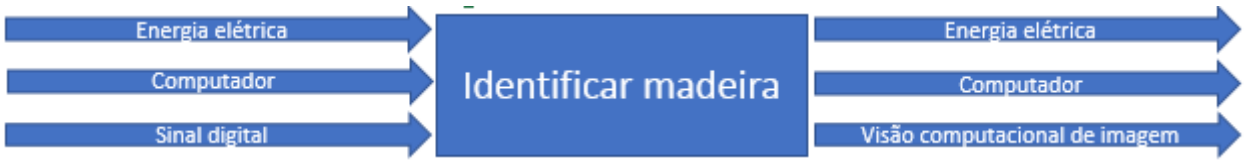
Figura 16 - Funções simplificadas.



Fonte: ROZENFELD et al., 2006

O sistema óptico para inspeção de processo em máquina refiladeira de madeira propõe detalhar o processo em cinco funções sendo que algumas delas podem ser feitas simultaneamente. Sua primeira função simples atribuída é identificar a madeira, primordial para as duas próximas funções, que são diferenciar imperfeições e medir madeira.

Figura 17 - Primeira função.



Fonte: o Autor

Figura 18 - Funções dependentes.

Fonte: o Autor

Após identificar a madeira e suas imperfeições, são armazenados os dados processados pelo computador, cálculos e registros, finalizando todo o processo do sistema e gerando resultado.

Figura 19 - Funções de processamento final.

Fonte: o Autor

3.3.3 Desenvolvimento de soluções e concepções

Após as definições das funções, as soluções para elas devem ser buscadas adotando métodos. Dentre centenas de métodos de criatividade assim chamados, (Sozo, 2001) cita três classificações, intuitivos, sistemáticos e orientados.

Tabela 3 - Métodos de Criatividade.

Métodos Intuitivos	Métodos Sistemáticos	Métodos Orientados
Brainstorming	Método Morfológico	TRIZ
Método 635	Análise e Síntese Funcional	SIT
Lateral Thinking	Analogia Sistemática	
Synetics	Análise de Valor	
Galeria	Questionários	

Fonte: (SOZO; FORCELLINI; OGLIARI, 2001 apud ROZENFELD et al., 2006)

No presente projeto, o método morfológico foi utilizado, consistindo no desdobramento de um problema complexo em partes mais simples, buscando soluções para as funções. Inicialmente, o problema é definido e, a seguir, é dividido em parâmetros. O método de análise e síntese funcional pode ser utilizado para o desenvolvimento do problema. Depois, buscam-se formas alternativas para solucionar os parâmetros, por meio de catálogos, experiencia, pesquisa ou criação. (H. Rozenfeld p249). Ao final, escolhe-se a melhor combinação e adapta a melhor solução montada em uma matriz morfológica. A tabela 4 mostra esta matriz do sistema de inspeção.

Tabela 4 - Tabela com a matriz morfológica

FUNÇÕES	SOLUÇÕES	1	2	3	4	5	6
1	IDENTIFICAR MADEIRA	Sistema de visão - Tempo de voo	Sistema de visão - Interferometria	Sistema de visão - Projeção de Plano de luz	Sistema de visão - Projeção de Plano de luz estruturada	Sistema de visão - Estereoscopia Passiva	Sistema de visão - Estereoscopia Ativa
2	DIFERENCIAR IMPERFEIÇÕES	Claridade da imagem capturada	Distância capturada				
3	MEDIR MADEIRA	Tirando Foto	Movimentação da matéria prima	Usando régua calibrada no software	Movimentação do sistema de visão		
4	CALCULAR ESMOADO	Cálculos no CLP	Cálculos em FPGA	Cálculos em Computador			
5	REGISTRAR PRODUÇÃO	Desenvolver software em computador	Armazenar em leitor de cartão	Utilizar sistema supervisório	Gravar em microcontrolador e exportar em XLS		

Fonte: o Autor.

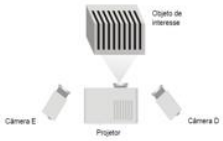
Para identificar a madeira existem seis possibilidades já analisadas no projeto informacional, tendo como melhor método atendendo os requisitos o sistema de visão com uma câmera visualizando a face superior da madeira. Estas concepções são apresentadas a seguir.

3.3.4 Concepção A

A primeira análise visa agilizar a criação da prototipagem e utilizar componentes já existentes, com um controlador lógico programável para processar os dados e fazer a interligação dos periféricos câmeras e laser, aplicando ferramentas de conversão de banco de dados para Excel, utilizando uma câmera para foto estática e diferenciando os esmoados com base na coloração da madeira somente.

Esta concepção tornou-se inviável pelo custo elevado de um controlador lógico programável e também não atendendo os principais requisitos do cliente pelo fato da precisão, e pelo fato de velocidade e confiabilidade não poderem ser atingidos com foto estática e a utilização de contraste de imagem ocorrer somente para diferenciação de imperfeições da madeira.

Tabela 5 - Concepção A

FUNÇÕES	CONCEPÇÃO A		
1	IDENTIFICAR MADEIRA		
2	DIFERENCIAR IMPERFEIÇÕES DA MADEIRA		
3	MEDIR MADEIRA		
4	CALCULAR PORCENTAGEM DE ESMOADO		
5	REGISTRAR PRODUÇÃO		

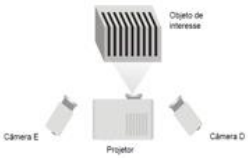
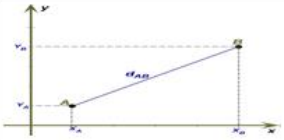
Fonte: o Autor.

3.3.5 Concepção B

A segunda concepção soluciona o problema da captura de imperfeições incluindo também a distância entre os pontos do defeito e a área de matéria prima com boa qualidade. Para baixar o custo nos cálculos de esmoado utiliza-se FPGA (Arranjo de Portas

Programáveis em Campo), mas isso incorre em mais tempo de desenvolvimento em programação, além de armazenamento limitado pelo cartão de memória. Para a medição da madeira é necessário, que uma régua esteja acoplada ao sistema de visão. A concepção se torna viável, mas não totalmente satisfatória pois inclui materiais extra ao projeto, tornando-o mais complexo e de maior custo.

Tabela 6 - Concepção B

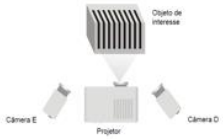
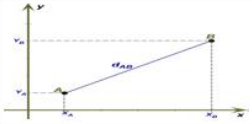
FUNÇÕES	CONCEPÇÃO B		
1	IDENTIFICAR MADEIRA		
2	DIFERENCIAR IMPERFEIÇÕES DA MADEIRA		
3	MEDIR MADEIRA		
4	CALCULAR PORCENTAGEM DE ESMOADO		
5	REGISTRAR PRODUÇÃO		

Fonte: o Autor.

3.3.6 Concepção C

Outra possibilidade analisada foi a utilização de movimentação da estrutura do sistema de visão, sendo que para esta solução é necessária uma câmera com maior taxa de aquisição em *frames* por segundo, ou seja, quadros por segundo, além do uso de laser com maior potência, gerando custo mais elevado. Dada a complexidade da concepção, deve se utilizar um sistema supervisório e um sistema com mais sensores.

Tabela 7 - Concepção C

FUNÇÕES	CONCEPÇÃO C		
1	IDENTIFICAR MADEIRA		
2	DIFERENCIAR IMPERFEIÇÕES DA MADEIRA		
3	MEDIR MADEIRA		
4	CALCULAR PORCENTAGEM DE ESMOADO		
5	REGISTRAR PRODUÇÃO		

Fonte: o Autor.

3.3.7 Concepção D

A última concepção mostrou-se a mais viável, configurando um sistema unindo todas as qualidades das outras soluções acrescentando um software desenvolvido em programação visual C++ com biblioteca de funções já existente para sistemas de visão e utilizando o movimento da esteira da máquina já existente, fixando um ponto de leitura para a câmera, permitindo fácil calibração, agilizando a leitura da madeira e realizado a medição. Com um sistema desenvolvido especificamente para inspeção de processo em máquina refiladeira, o relatório é gerado conforme a necessidade do cliente, e o processamento usado pelo computador pode ser realizado conforme necessidade do hardware (câmera).

Tabela 8 - Concepção D

FUNÇÕES	CONCEPÇÃO D		
1	IDENTIFICAR MADEIRA		
2	DIFERENCIAR IMPERFEIÇÕES DA MADEIRA		
3	MEDIR MADEIRA		
4	CALCULAR PORCENTAGEM DE ESMOADO		
5	REGISTRAR PRODUÇÃO	Visual	X

Fonte: o Autor.

Dadas as vantagens potenciais desta concepção em relação às demais, o projeto focou neste modelo de solução, que foi desenvolvido, implementado e avaliado, conforme descrevem os capítulos a seguir.

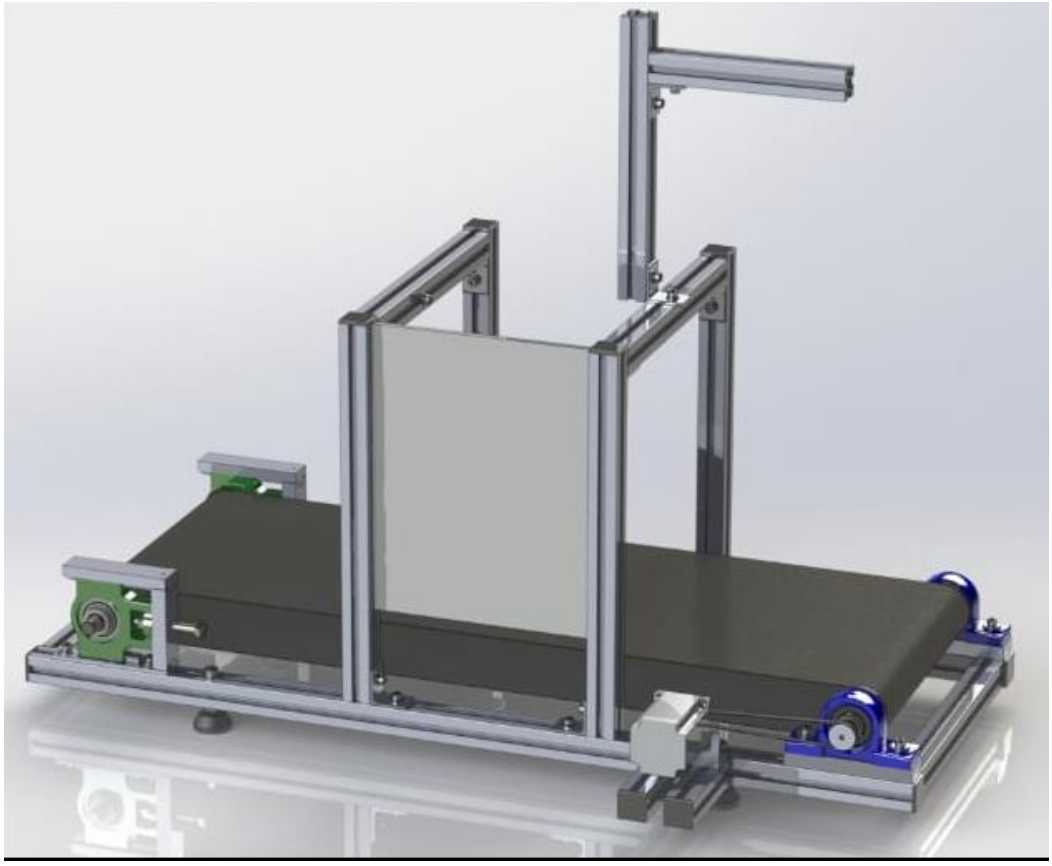
4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Projeto e implementação de adaptações mecânicas

Tendo como objetivo desenvolver um protótipo para validação de um projeto a ser implementado em uma empresa para comercialização posterior, os componentes mecânicos foram modulares para a obtenção de resultados para validação e prosseguimento da montagem de equipe para o desenvolvimento do produto final.

Para a criação da estrutura mecânica de testes foi utilizada uma esteira de transporte de policloreto de vinila (PVC), um polímero sintético de plástico, sustentada por mancais de rolamento e rolos de alumínio. Para suporte de câmera e componentes eletrônicos foram utilizados perfis estruturais de alumínio 45x45mm. Na figura 20 pode ser observado este projeto mecânico e na figura 21 pode se ver como ficou com os componentes eletrônicos, sensor, câmera, Arduino, drive para motor de passo e fonte:

Figura 20 - Projeto mecânico da esteira de prototipagem



Fonte: o Autor.

Figura 21 – Projeto mecânico desenvolvido

Fonte: o autor.

4.2 Hardware para supervisão e controle

Os dispositivos eletroeletrônicos utilizados são equipamentos de uso para prototipagem e de baixo custo, agregando motor de passo, sensor ultrassônico, microcontrolador Arduino e notebook.

Como um dos requisitos da pesquisa é desenvolver um sistema de inspeção de baixo custo, foi utilizada uma câmera Logitech comercial com software de fácil configuração de ajustes de filtros como brilho, contraste, cores e nitidez. A função da câmera é de captura de imagens da madeira em movimento para ser tratada posteriormente. A tabela 9 detalha as especificações da câmera.

Tabela 9 - Especificação da câmera.

Características	Valor
Fabricante	Logitech
Modelo	C270 HD

Resolução	1280 x 720 pixels
Taxa captura	60fps
Interface	USB

Fonte: (Logitech, 2019)

Para o funcionamento da esteira, utilizou-se um motor de passo e foi efetuado testes de velocidade até 24,92 m/min. A especificação do motor está na tabela a seguir.

Tabela 10 - Especificação do motor.

Características	Valor
Fabricante	Akyama
Modelo	AK57-H
Torque	15kgf.cm
Tensão	3V/fase

Fonte: (AKIYAMA, 2019)

A detecção da presença da madeira foi efetuada por meio de sensor que emite um sinal ultrassônico que reflete no objeto e retorna ao sensor (eco). O sinal de retorno é captado, permitindo-se deduzir a distância do objeto ao sensor tomando o tempo de trânsito do sinal. A velocidade do sinal ultrassônico é de aproximadamente 240 m/s e, se o sensor estiver a uma distância “d” do objeto, o sinal percorrerá uma distância equivalente a “2d” para sair e retornar ao sensor.” (FERNANDO K PINHEIRO, 2011). A tabela 11 descreve o sensor utilizado.

Tabela 11 - Especificação do sensor ultrassônico.

Características	Valor
Fabricante	Elecfreaks
Modelo	HC-SR04
Tensão	5V
Resolução	2cm – 400 cm
Dimensões	40 x 20 x 15mm
Interface	Sinal discreto

Fonte: (Elecfreaks, 2019)

O hardware Arduino foi utilizado para programação e validação do sistema óptico e ligação da esteira, tendo o potencial de facilitar o desenvolvimento de soluções na eletrônica, tendo como base um código aberto, ambientes e bibliotecas C/C++. No sistema o Arduíno é responsável pelas funções de avanço e retorno da esteira, recebimento de sinal do sensor e envio de mensagem para o computador com conexão serial

Tabela 12 - Especificação do arduino.

Características	Valor
Fabricante	Arduino
Tensão	6-20 V
Portas digitais	54
Portas analógicos	16
Dimensões	53 x 100 x 10mm
Interface	UBS

Fonte: (ROBOCORE, 2019)

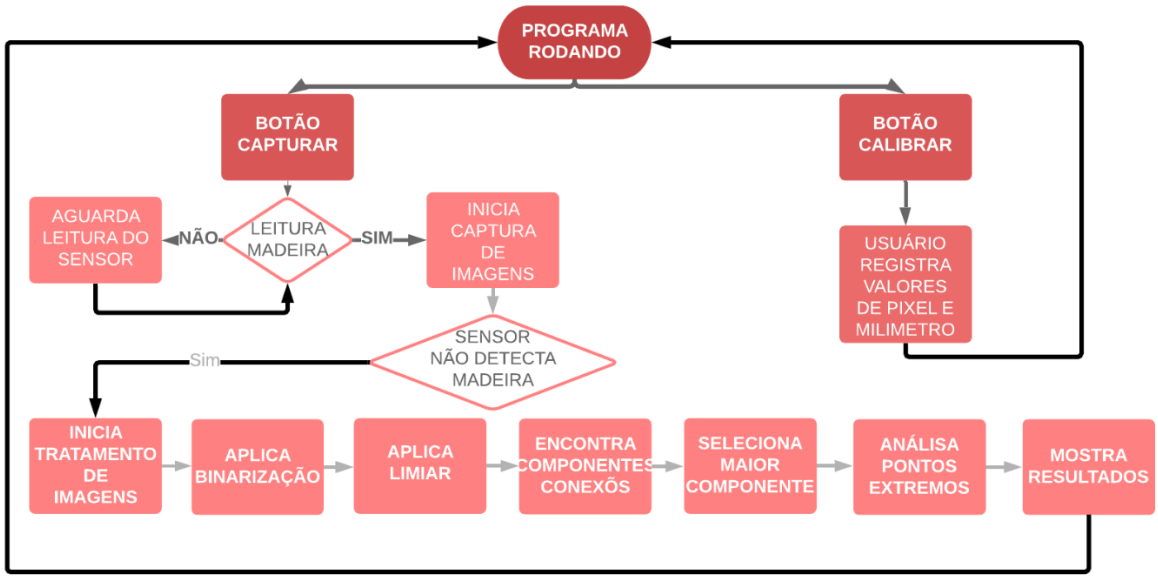
4.3 Desenvolvimento de software para gerenciamento do ensaio

Para o desenvolvimento do software do sistema de inspeção foi utilizado o ambiente de programação QT Creator e na linguagem de programação C++, já havendo ferramentas para tratamento digital de imagens aplicáveis ao projeto.

O software inicialmente foi desenvolvido sem interface gráfica, com o objetivo de obter resultados e efetuar a análise dos objetos capturados. Quando se efetua a captura das imagens, o sistema trata uma a uma, independente do número de aquisições. Inicialmente efetua-se a transformação para cinza e aplica um limiar que é a transformação dos componentes cinza em preto e branco conforme ajuste pré verificado antes da aplicação. Com a limiar aplicada, o sistema identifica os componentes próximos de mesma limiar, selecionando o maior componente que será a área de madeira de qualidade, sem cascas e resíduos. Por fim o tratamento computacional de imagem busca pontos extremos para efetuar o desenho do retângulo da peça totalmente limpa gerando o resultado em pixel e linearizando para milímetros, com isso pode-se definir as coordenadas da sua localização orientando o

corte da madeira. A representação da solução está desenhada no fluxograma a seguir (figura 22).

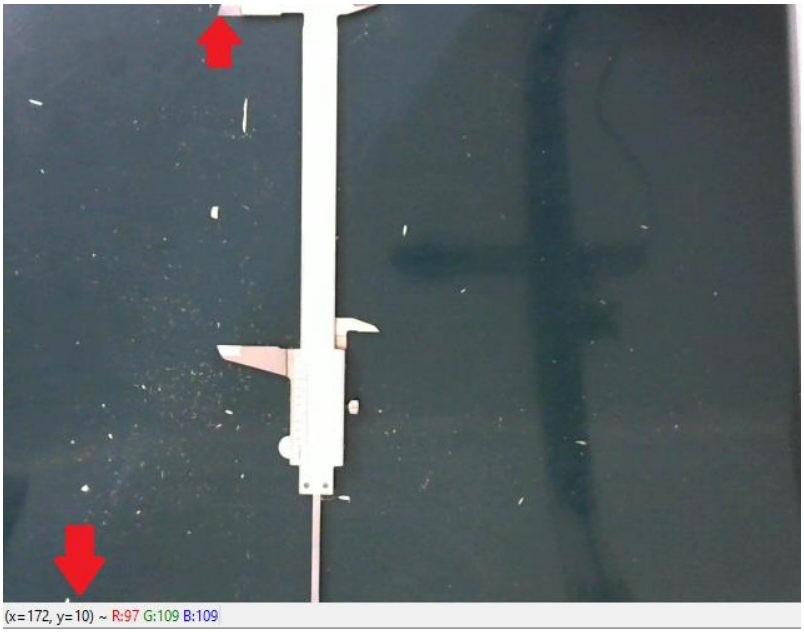
Figura 22 - Fluxograma do sistema de medição



Fonte: o Autor

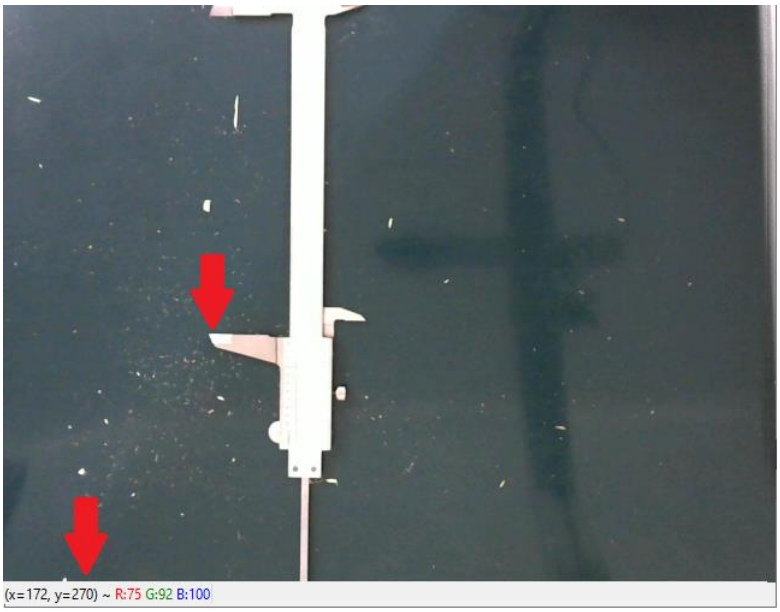
Antes de efetuar o processo de captura de imagens, a peça a ser medida deve ser alinhada na mesma direção da esteira de forma que chegue na mesma posição no final. O sistema deve calibrar a câmera e a iluminação. A calibração foi realizada em duas dimensões e utilizando-se um paquímetro. A posição 0 milímetros foi definida próximo ao início da esteira e o segundo ponto com valor de 15mm está centralizado. Na figura 23 é possível visualizar o pixel do primeiro ponto com valor 10 e na figura 24 o pixel está com valor 270, concluindo que em 260 pixels existem 15 milímetros. Com isso foi definida a relação pixel/mm necessária para a medição dimensional.

Figura 23 - Captura do primeiro pixel



Fonte: o Autor.

Figura 24 - Captura do segundo pixel



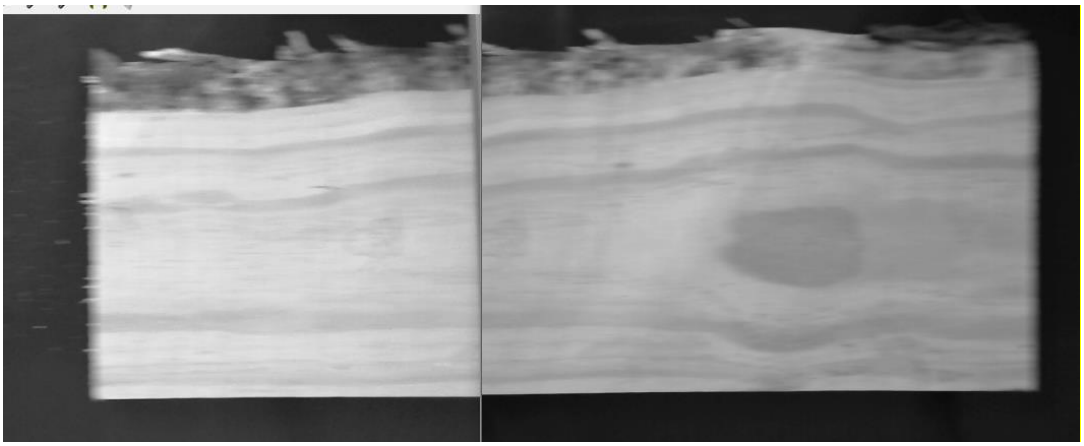
Fonte: o Autor

No primeiro processo de captura, o sinal do sensor ultrassônico indica a presença da madeira, iniciando o processo de captura de imagens da peça, formando um banco de imagens até a finalização de leitura do sensor ultrassônico.

A segunda etapa é de análise de todas as imagens, transformando os componentes coloridos em tons de cinza como mostrado na figura 25, depois aplicando a binarização, segmentação e identificação dos maiores componentes conexos (figura 26) conforme um limiar estipulado.

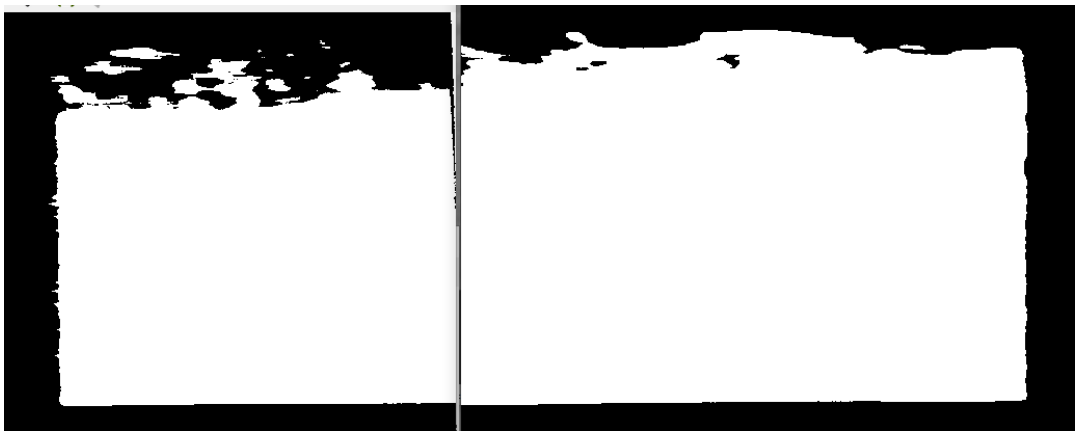
Para aplicar um limiar de forma correta, deve-se calibrar a iluminação do ambiente, evitando sombras de qualquer objeto próximo ao local afim de não ocorrer indefinição de imagem para o próximo passo que busca os componentes conexos, identificando a madeira e formando o maior retângulo inscrito na imagem como mostra a figura 27 (exemplo de peça capturada com duas fotos, determinando dois retângulos máximos inscritos).

Figura 25 – Tons de Cinza



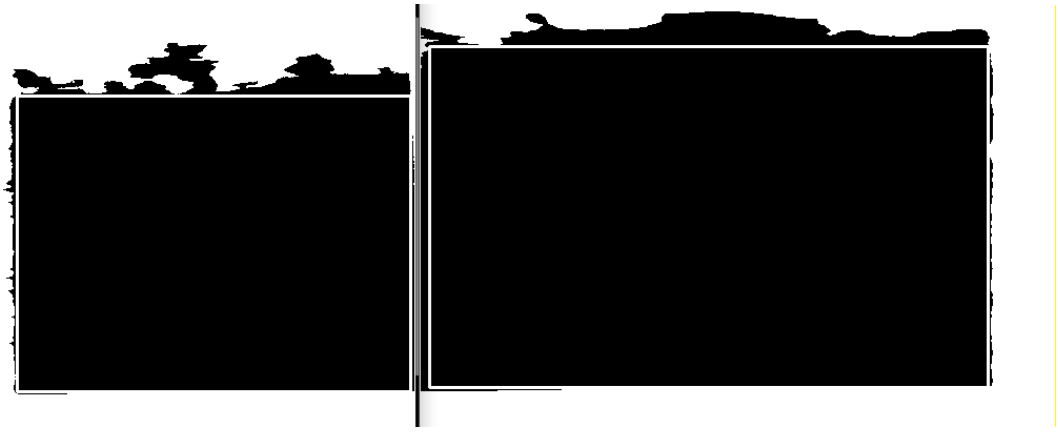
Fonte: o Autor.

Figura 26 - Binarização



Fonte: o Autor.

Figura 27 – Definição de região retangular máxima inscrita



Fonte: o Autor.

Ao final do processo, o sistema faz uma comparação entre todas as imagens e identifica a menor distância entre pixels dos retângulos buscando os dois pontos extremos para aplicar a fórmula de linearização identificando os dois pontos extremos em milímetros:

$$Linearização1 = (((\mathrm{PS1} - \mathrm{CP1})/(\mathrm{CP2} - \mathrm{CP1})) * (\mathrm{CMM2} - \mathrm{CMM1}) + \mathrm{CMM1})$$
$$Linearização2 = (((\mathrm{PS2} - \mathrm{CP1})/(\mathrm{CP2} - \mathrm{CP1})) * (\mathrm{CMM2} - \mathrm{CMM1}) + \mathrm{CMM1})$$

onde PS1 é o primeiro pixel obtido pelo retângulo, PS2 é o segundo pixel obtido pelo retângulo do software, CP1 e CP2 são os valores de pixel da calibração e CMM1 e CMM2 são os valores em milímetros obtidos na calibração.

Fazendo a linearização dos dois pontos, foram diminuídas as duas dimensões lineares obtendo o tamanho da peça sem esmoado através da seguinte fórmula:

$$Tamanho\ peça\ sem\ esmoado = Linearização2 - Linearização1$$

Com os resultados obtidos, pode-se comparar com o plano de produção e definir qual o posicionamento de serras para um aproveitamento melhor.

4.4 Integração mecatrônica e operacionalização do sistema

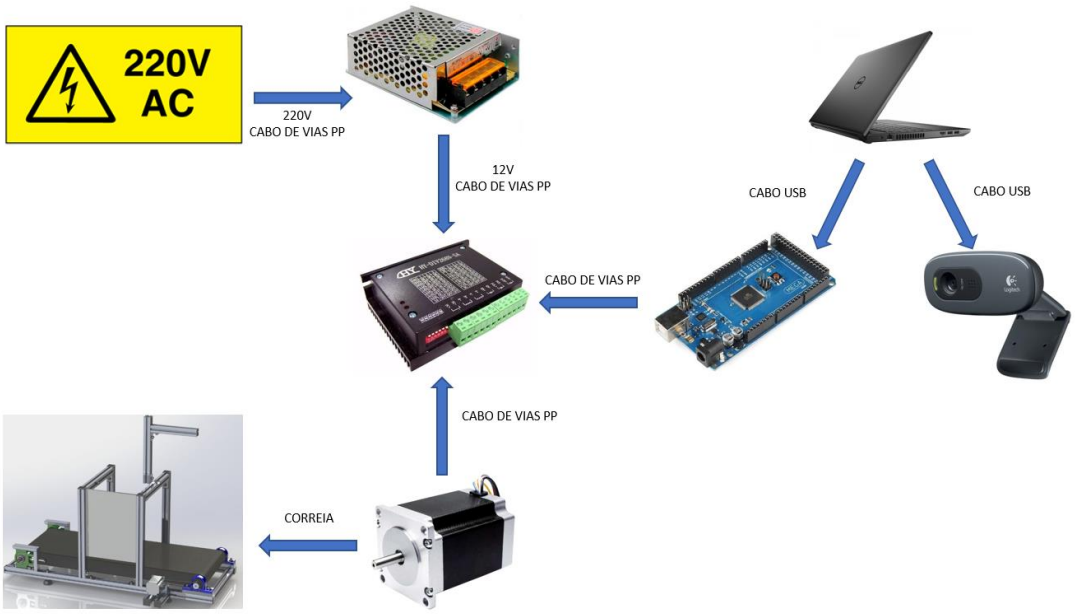
O sistema desenvolvido integra elementos mecânicos, elétricos e eletrônicos:

- A esteira com o motor de passo é mancalizada e com uma correia

- Para seu funcionamento o motor de passo é ligado por cabos de vias normais entre o drive e um controlador lógico Arduino.
- Para a alimentação do drive foi necessária uma fonte com saída 12V e 10A.
- O Arduino efetuou o acionamento do motor de passo e também o envio de informação de estado do sensor
- O notebook foi utilizado para comunicação entre todos os dispositivos e os comandos de inicialização tanto do software de inspeção quanto do acionamento da esteira.

Na figura 28 podemos visualizar os principais componentes do sistema e a integração entre cada item.

Figura 28 – Integração dos sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos

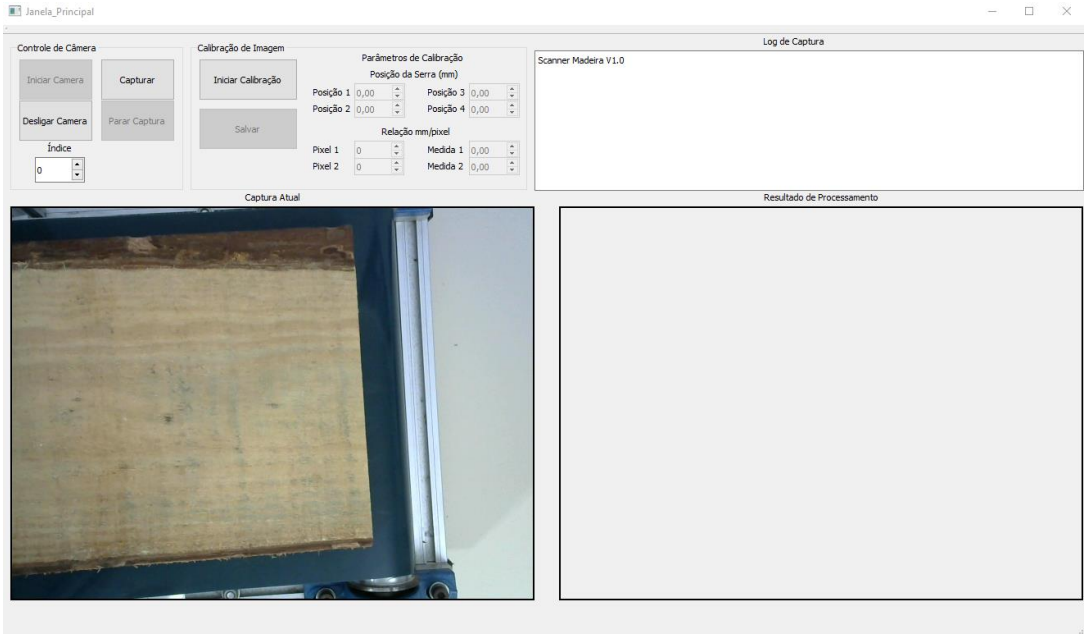


Fonte: o Autor.

Para melhor visualização dos resultados dos ensaios desenvolveu-se uma interface gráfica no software, contendo botões para interação com o usuário (figura 29) que definem uma sequência de ações. O primeiro passo para iniciar o software é acionar o botão “Iniciar Câmera”, ativando a tela de captura atual. O próximo procedimento deve-se efetuar a calibração, pressionando a tecla “Iniciar Calibração”, nesse modo o usuário informa a linearização de pixels para milímetros conforme mostrado na área “Log de Captura”.

O processo de captura de peças de madeira inicia quando o operador clica em “Capturar”. Nesse momento a esteira é acionada e aguarda a requisição da leitura do sensor ultrassônico para iniciar a captura das imagens. Quando a madeira sai da área de percepção do sensor, o software ativa o processamento das imagens.

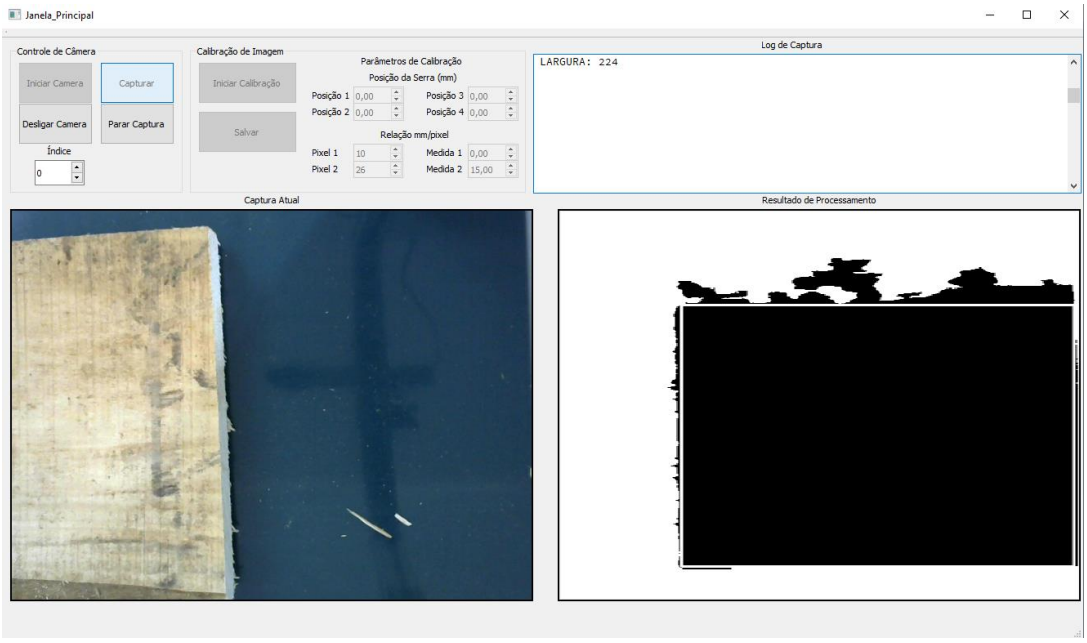
Figura 29 - Interface do usuário



Fonte: o Autor.

Na janela principal do programa são obtidos os valores finais ou cada estado de operação como “Calibração”, “Capturando”, “*Stand by*” no Log de Captura. Também foram inseridas caixas de visualização com os pixels e medidas para linearização do sistema e duas telas, uma para visualização da câmera em tempo real e outra para exibição do resultado, como na figura 29.

Figura 30 - Resultado final de uma captura



Fonte: o Autor.

5 VALIDAÇÃO OPERACIONAL E METROLÓGICA DO SISTEMA DE ENSAIO

O sistema de inspeção de madeira deste trabalho configura-se como o primeiro projeto de produto nessa área de uma empresa nacional que fabrica máquinas para madeira. A validação dos requisitos operacionais e metrológos do sistema são, assim, fundamentais para que se invista no aprofundamento futuro de um produto de baixo custo para máquinas de beneficiamento que não requeiram produção em larga escala e e também para máquinas que utilizam trabalho manual.

Neste capítulo serão apresentados os resultados do sistema, avaliando se o sistema é capaz de efetuar medições de peças de madeira com a exatidão necessária. Para atingir esses requisitos, o sistema foi testado na condição de produção de tábuas de uma pequena empresa, onde o operador da máquina tem um painel de seleção de medidas da refiladeira e a cada tábua se seleciona uma dimensão. Os dados técnicos da refiladeira podem ser verificados na tabela 13.

Tabela 13 - Dados técnicos de uma refiladeira

Características	Valor
Fabricante	Mendes
Tábuas/min	10
Operação	Manual
Serras	2
Acionamento	Pneumáticos
Medidas	50/100/150/170/210mm

Fonte: o Autor.

5.1 Avaliação metrológica do sistema

Foram realizadas avaliações metrológicas do sistema de inspeção nos aspectos de calibração do sistema e na captura de imagens. A validação da calibração se fez necessária para a segunda avaliação. Nestes ensaios se procurou avaliar os erros sistemáticos e aleatórios. A estimativa do erro sistemático é efetuado por uma estimativa chamada tendência (Td). De acordo com Albertazzi e Sousa (2018) a Tendência é obtida por meio da equação:

$$Td = \bar{I} - VVC$$

onde $\bar{I}$ corresponde à média de finitas indicações e *VCC* é o valor verdadeiro convencional.

Com a tendência calculada, obtém-se a correção (C) que corresponde à tendência com sinal trocado.

Para a estimativa dos erros aleatórios calculou-se a precisão definida por:

$$P = \pm t \cdot s$$

onde t corresponde ao coeficiente t de *Student*, tendo seu valor tabelado e depende do número de ciclos indicados e s corresponde ao desvio padrão.

Por fim, é obtido o erro máximo das medições, que segundo Albertazzi e Sousa (2018) é o maior valor em módulo do erro que pode ser cometido pelo sistema de medição nas condições avaliadas, sendo definido por:

$$Emáx = |Td| + P$$

Para as avaliações do sistema de calibração em duas dimensões utilizou-se uma folha A4 com dimensão calibrada de 210mm de largura no ponto zero da esteira efetuando 10 ciclos e outros 10 ciclos elevando a folha 30mm da superfície da esteira, em diversas posições gerando a tabela 14 com todos os ciclos e média.

Tabela 14 - Ciclos gerados da avaliação metrológica (calibração)

Ponto	Medição	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Média
0 mm	210 mm	207,8 mm	207,09 mm	207,9 mm	206,9 mm	209 mm	209 mm	207,7 mm	207,7 mm	209 mm	208,1 mm
30 mm	210 mm	210,8 mm	210,1 mm	210,3 mm	210,9 mm	210,9 mm	210,3mm	210,1 mm	210,8 mm	210,7 mm	210,4 mm

Fonte: o Autor.

A partir da tabela 14 pode ser extraído o desvio padrão e efetuou-se o cálculo da tendência, repetibilidade e erro máximo mostrados na tabela 15.

Tabela 15 – Avaliação metrológica (calibração)

Ponto	Desv. Padrão	Tendência	Repetibilidade	Erro Máximo
0 mm	0,7	-1,9	1,7	3,6
30 mm	0,3	0,5	0,7	1,2

Fonte: o Autor.

As peças de madeira para refiladeira têm média de espessura entre 21mm e 45mm. S*canners* comerciais indicam em suas especificações precisão de 1mm para mais ou para menos. Levando em consideração que a câmera utilizada é convencional e o sistema não está em estrutura industrial, os erros são considerados baixos porém acima do esperado comparando os dois pontos de testes.

Para a avaliação do sistema de medição em funcionamento foram adquiridas madeiras de diversas larguras e espessuras com diferentes esmoados laterais e iniciado a captura em diferentes posições da esteira em movimento 10 vezes cada. Os esmoados foram medidos por um paquímetro estabelecendo uma dimensão de referência. Os resultados obtidos no sistema de visão em cada um dos ensaios podem ser avaliados na tabela 16 e os cálculos das estimativas dos erros aleatórios e sistemáticos podem ser analisados na tabela 17.

Tabela 16 – Ensaios de avaliação metrológica (peças com esmoado)

Peça	Medição	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Média
600x30 mm	60	60,79	61,03	59,5	61,39	60,27	60,84	61,04	61,98	60,39	60,80 mm
155x21 mm	155	154,84	154,24	154,82	154,52	157	155,92	153,73	155,92	155,87	155,24 mm
175x21 mm	175	174,59	176,24	176,24	176,2	176,79	177,23	175,69	175,36	174,59	175,88 mm
210x30 mm	210	210,82	211,92	210,28	210,82	211,88	211,01	210,74	210,82	211,01	210,15 mm

Fonte: o Autor.

Tabela 17 - Erros gerados da avaliação metrológica (peças com esmoado)

Peça	Medição	Desv. Padrão	Tendência	Repetibilidade	Erro Máximo
600x30 mm	60	0,71	0,80	1,61	2,42
155x21 mm	155	1,01	0,24	2,32	2,56
175x21 mm	175	0,91	0,87	2,08	2,96
210x30 mm	210	0,57	1,15	1,30	2,45

Fonte: o Autor.

A média dos resultados está similar à da dimensão de referência porém, quanto maior a espessura da tábua o erro médio aumenta. Isto é observado na tabela 17 onde a tendência é maior, porém a precisão não tem variação significativa.

5.2 Avaliação operacional do sistema

A avaliação operacional de inspeção de madeira foi realizada através dos resultados metrológicos obtidos tendo variações pequenas para um comparativo com um sistema manual. Os erros induzidos pelo operador de uma máquina em um turno de pelo menos 8 (oito) horas de trabalho com intervalo para refeição de 1 (uma) hora, podem ser diversos, como a própria habilidade, acuidade visual, técnica de medição, cuidados em geral. Em uma operação contínua de uma refiladeira é difícil identificar os esmoados em toda a extensão de uma tábua e, assume-se que um operador comete erros de até 2 (dois) centímetros no tamanho das falhas. O sistema desenvolvido mostrou-se de exatidão bem melhor, podendo auxiliar na produção isentando os erros humanos e auxiliando na segurança e saúde dos operadores.
O sistema não foi validado em ambiente industrial dadas as limitações técnicas do protótipo. O motor de passo trabalhou a 25 m/min e somente com carga leve sobre a esteira. Uma limitação identificada na câmera pois, devido à iluminação, os tons de marrom da madeira são muito parecidos e, para os testes, foi necessária uma iluminação frontal que não gerasse sombras na área de captura. Ao final das avaliações foi gerado uma tabela 18 com requisitos atingidos e propostos para trabalho futuro, indicando que existem fatores a serem melhorados e oportunizando a melhoria e continuidade do projeto.

Tabela 18 – Requisitos atingidos e trabalhos futuros

REQUISITOS	ATINGIDO	TRABALHOS FUTUROS
Erro de medição	3mm	1mm
Identificação de esmoado	somente superior	ambos os lados
Utilização de iluminação	frontal	encapsulado
Tranportador	correia com alinhamento manual	corrente com alinhamento automático

Tempo de processamento	3210ms	2000ms
Calibração (câmera)	não considerando parametros intrisecos	considerar distorção radial
Economico	inferior a sistemas comerciais	manter baixo custo

6 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema de visão computacional com o objetivo de identificação e medição da dimensão de esmoados em tábuas de madeira. Em serrarias de pequeno porte este trabalho é realizado manualmente através da inspeção visual dos operadores, com erros de até 2 cm na dimensão e posição das falhas nas madeiras. Essa incerteza acarreta imperfeições nas ações de corte das madeiras e todos os custos econômicos e financeiros decorrentes.

No desenvolvimento do trabalho foram analisadas várias opções de solução, optando-se por aquelas que reunissem o melhor potencial de sucesso com custo e praticidade de implementação, para futura implementação em serrarias de pequeno porte. Dessa análise foi escolhida a inspeção das madeiras através da captura e processamento digital de imagens em tempo real dentro do processo de beneficiamento da madeira.

O sistema foi desenvolvido com base em tecnologias abertas e de baixo custo, empregando elementos mecânicos, ópticos e eletrônicos disponíveis comercialmente. Isso contribuiu para compor uma solução de custo bastante atrativo. Sistemas de inspeção óptica disponíveis no mercado, todos importados e com tecnologia fechada, têm custos típicos de R$ 200.000,00 a R$ 800.000,00 enquanto o sistema de inspeção por imagens desenvolvido neste projeto tem custo aproximado de R$ 2500,00 (protótipo).

O desempenho metrológico do sistema desenvolvido foi calibrado e depois posto em operação para avaliar falhas em madeiras. Na condição mais desfavorável o erro máximo ficou em 3 mm, superior aos sistemas comerciais (erro máximo de 1 mm) mas bem melhor do que a inspeção visual dos operadores. Este resultado indica muito bom potencial de aplicação do conceito de solução para testes industriais. Devido às características do protótipo não foi possível a sua aplicação neste ambiente.

Para a identificação dos esmoados e cascas laterais das tábuas que entram em uma refiladeira para corte o sistema adquire imagens sincronizadas com a posição da madeira. Estas imagens são processadas binarizando a captura, aplicando segmentação e identificação dos maiores pontos conexos, aplicando filtros de tratamento e identificando as duas extremidades do material a ser cortado.

O software do sistema foi dividido em duas áreas, calibração e captura. Na etapa de calibração é feita uma linearização selecionando os dois pontos de um instrumento de precisão no plano zero da esteira transformado esses pontos reais conhecidos em pixels.

Como principais dificuldades técnicas que limitaram a exatidão dos resultados considera-se a baixa rigidez mecânica do sistema de transporte da madeira e de fixação da câmera que provocaram vibrações e, consequentemente, variações nos resultados das medições. Outra limitação foi a resolução da câmera empregada. O uso de uma câmera industrial de melhor resolução permitirá reduzir erros de detecção de borda e assim potencializar melhor exatidão na inspeção.

Em relação à velocidade, na área de captura do sistema os resultados são processados em 3210ms após a leitura da peça a uma velocidade de 25 m/min, velocidade máxima atingida para o motor empregado. Para a utilização em uma serraria de pequeno porte estas condições dinâmicas são plenamente aceitáveis. Isto indica que mesmo empregando componentes ópticos e eletrônicos de baixo custo o sistema apresenta-se potencialmente capaz de atender os requisitos do produto.

Validado o sistema de medição, a recomendação para trabalhos futuros e a sequência do projeto é a utilização de uma câmera industrial com custo médio de R$10.000,00 e um controlador industrial. O software, porém, é eficaz e atende a necessidade de uma serraria de pequeno porte em termos de precisão e velocidade, além do software ser aberto podendo também ser melhorado ou adaptado para novas condições técnicas.

Comparando o sistema proposto no projeto com scanners já comercializados, podemos notar as seguintes diferenças que validam a continuidade do projeto e a potencialidade de utilização do sistema de inspeção por pequenas serrarias: custo de implantação de um scanner comercial em 2019, parte de um valor médio de R$ 200.000,00 do sistema mais simples até R$800.000,00 para os sistemas com mais scanners, exatidão centesimal e redução do tempo de resposta para cada solução chegando a uma velocidade para 40 peças por minuto. Todos esses scanners disponibilizam o equipamento com câmeras, sensores e o software para geração de soluções com relatório de produção. Com os protocolos de comunicação universais entre dispositivos, atualmente pode-se gerar relatórios em banco de dados direto de um controlador lógico que a máquina já utiliza enviando para a nuvem através de um

computador. Nessa condição não se justifica a compra de equipamentos de alto custo para máquinas de baixa produção, pois o retorno investido é muito a longo prazo.

Para ocorrer a comercialização do sistema de visão computacional para otimização de corte de madeira em máquina refiladeira, terá início a construção do produto na empresa Mendes no ano de 2020. Com o objetivo de ofertar ao mercado um sistema nacional de visão computacional de madeiras, a partir de 2020 a empresa Mendes tem em seu escopo construção de sistemas para integração com suas máquinas, visando a operação em linhas de produção para pequenas serrarias.

Este trabalho de mestrado profissional foi fundamental para o teste e a validação de conceitos de soluções deste sistema de visão permitindo analisar opções, experimentar tecnologias, avaliar soluções e mostrar a direção para o desenvolvimento de uma solução de inspeção nacional com grande potencial de sucesso comercial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTAZZI JUNIOR, Armando. SOUSA, André. **Fundamentos de metrologia científica e industrial.** Manole, 2018.

ALIGLERI, Lilian. ALIGLERI, Luiz Antônio. KRUGLIANSKAS, Isalk. **Gestão Industrial e produção sustentável.** São Paulo: Saraiva, 2016.

ALVES, Ricardo Ribeiro. Certificação florestal na indústria: Aplicação prática da certificação de cadeia de custódia. Baurueri-SP: Manole, 2015.

BARBOSA FILHO, Antônio Nunes. **Segurança do trabalho e gestão ambiental.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2019. BRASIL.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial:** controle do movimento e processos contínuos. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013.

CARPINETTI, Luiz César Ribeiro. **Gestão da qualidade:** conceito e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CERQUEIRA, A.; NETO, B.P. **Gestão da qualidade princípios e métodos.** São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1991.

CHIAVENATO, I. Gestão de pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

COSTA, Carlos Alexandre Gehn. **Contabilidade Ambiental:** Mensuração, evidenciação e transparência. São Paulo: Atlas, 2012.

FAGUNDES, Hilton Albano Vieira. **Produção De Madeira Serrada E Geração De Resíduos Do Processamento De Madeira De Florestas Plantadas No Rio Grande Do Sul.** Porto Alegre: PPGEC/UFRGS – 2003.

IBÁ. **Industria da madeira obtém bons resultados em 2018 e gera expectativa positiva para 2019.** Pub. 18 dez. 2018. Disponível em: <https://www.iba.org/industria-da-madeira-obtem-bons-resultados-em-2018-e-gera-expectativa-positiva-para-2019>. Acesso em: 23 jun. 2019.

LATORRACA, J. V. F. **Processamento mecânico da madeira.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004.

LEHFELD, Lucas de Souza. CARVALHO, Nathan Castelo Branco. BALBIM, Leonardo Isper Nassif. **Código florestal comentado e anotado (artigo por artigo).** 3 ed. São Paulo: Método, 2015.

LOBO, Renato Nogueirol. **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Érica, 2010.

LONGENECKER, J.; MOORE, C.; PETTY, J.W. **Administração de pequenas empresas.** São Paulo: Makron Books, 1997.

MASSETTO, Giovana. Colheita de Madeira. Pub. 24 jul. 2014, Disponível em: <https://colheitademadeira.com.br/noticias/maquinas-de-colheita-corte-e-extracao-no-sistema-full-tree/> Acesso em: 23 jun. 2019.

NATALE, Ferdinando. **Automação industrial** 10 ed. São Paulo: Érica, 2008.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade:** teoria e prática. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

REVISTA DA MADEIRA. **Gestão de resíduos sólidos na indústria da madeira.** 77ª ed. Novembro 2003.

SILVA, Rui Corrêa da. **Mecanização Florestal:** da fundamentação dos elementos do solo a operação de máquina e equipamentos. 1. Ed. – São Paulo: Érica, 2015.

STEVAN JUNIOR, Sergio Luiz. SILVA, Rodrigo Adamshuk. **Automação e instrumentação industrial com arduino:** teoria e projetos. São Paulo: Érica, 2015.

VITAL, Benedito Rocha. **Planejamento e operação de serrarias.** Viçosa, MG, Ed. UFV, 2008.

WIECHETECK, Marcelo. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos.** Curitiba, PR. 2009.

DAWSON-HOWE, K. **A practical introduction to computer vision with OpenCV**. 1.ed ed. Dublin: Wiley, 2014.

GONÇALVES, M. F. **Integração de um sistema de visão a um robô manipulador para caracterização de formas tridimensionais**. IFSC, 2018.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GRASSI, M. V. **Desenvolvimento e aplicação de um sistema de visão para robô industrial de manipulação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3.ed ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

MARCEL, Lucas. **Saiba o que é visão computacional e como ela pode ser usada.** Aliger, 16 mai, 2018. Disponível em: <https://www.aliger.com.br/blog/saiba-o-que-e-visao-computacional/> Acesso em 14 ago. 2019.

NOVAES, A. L. T., **Desenvolvimento de um Sistema Mecânico para a Limpeza e Classificação de Ostras**, Dissertação Mestrado Engenharia Mecânica, UFSC, 2005.

OLIVEIRA, B. CASIMIRO F. **Desenvolvimento de sistemas de visão computacional para medição e inspeção de estatores**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

OLIVEIRA, Emerson Pereira de. **Um pouco sobre visão computacional.** 18 jun. 2018. Disponível em: <https://medium.com/@emersonhaw/um-pouco-de-vis%C3%A3o-computacional-8b19e4c04839> Acesso em: 14 ago. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, O. **Método local de correção da distorção da lente aplicado à visão estereoscópica**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

POINT GREY. **Selecting a lens for your camera**. Disponível em: <http://www.ptgrey.com/tan/10694>, Acesso em: 08 mai. 2019.
QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de. GOMES, Herman Martins. **Introdução ao processamento digital de imagens.** RITA, Volume VIII, 2001. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/graduacao/vc-2014.1/Rita-Tutorial-PDI.pdf> Acesso em: 17 ago. 2019.

ROZENFELD, H., FORCELLINE, F., AMARAL, D., TOLEDO, J., SILVA, S., ALLIPRANDINI, D., SCALICE, R., **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**, Ed. Saraiva 1a Edição, 2006.

SAS. **Visão computacional.** Disponível em: <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/computer-vision.html> Acesso em 14 ago. 2019.

SCURI, Antônio Escaño. **Fundamentos da Imagem digital.** Tecgraf/PUC. Rio de Janeiro. 2002.

STIVANELLO, M. E. **Desenvolvimento de uma biblioteca para sistemas de visão estereoscópia para robótica móvel**. UFSC, 2008.

SÁ, S. R. L., Notas de Aula da Disciplina DPM-3092, Mestrado Profissional em Mecatrônica, IFSC campus Florianópolis, 2017.

STIVANELLO. M. E., POSSAMAI. G. G., VALMÓRBIDA. A. D., Visage – Sistema de Inspeção de Produtos por Visão

STIVANELLO. Mauricio. Edgar., Medição 3D por Metrologia Óptica, Trabalho realizado como parte dos requisitos para a obtenção dos créditos da disciplina EMC6426 - Fundamentos de Metrologia para Área de Petróleo e Gás, UFSC campus Florianópolis, 2008.

ZHANG, Z. **A flexible new technique for camera calibration.** IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, v. 22, n. 11, p. 1330–1334, 2000.