

## Aspectos econômicos da aplicação do conceito da indústria 4.0. no consumo específico de matéria-prima para fabricação produto

Claudinei Oliveira Moraes, Matheus Adriano Godoy Ramos

**Resumo:** Este trabalho apresenta um estudo da aplicação das ferramentas da indústria 4.0 no mapeamento e otimização do consumo da principal matéria-prima para fabricação produto de uma empresa nos campos gerais. O trabalho começou com a definição do conceito de consumo específico. A partir da definição de consumo específico fez-se proposta de reestabelecimento de condições de base para medir a entrada de matéria-prima para dar confiabilidade ao número. Uma vez reestabelecido condições de base o estudo aprofundou no uso de tecnologia 4.0 para otimizar o consumo da matéria-prima com reflexos financeiros no custo e consequentemente no resultado da empresa. Ganhos indiretos como por exemplo menor percurso logístico no transporte de matéria-prima, poderão ser vislumbrados no decorrer da aplicação e aprendizado de uso das ferramentas da indústria 4.0.

**Palavras chave:** Industria 4.0, conceito específico, indicador, retorno financeiro.

## Economic aspects of the application of the industry concept 4.0. without specific consumption of wood for pulp manufacture

**Abstract:** This paper presents a study of the application of industry 4.0 tools in the mapping and optimization of the consumption of the main raw material for manufacturing a company's product in the general fields. The work began with the definition of the concept of specific consumption. From the definition of specific consumption, it was proposed to reestablish basic conditions to measure the input of raw materials to give reliability to the number. Once reestablished basic conditions, the study deepened the use of 4.0 technology to optimize the consumption of raw materials with financial consequences on the cost and consequently on the company's results. Indirect gains, such as a shorter logistic path in the transport of raw materials, can be glimpsed through the application and learning of industry tools 4.0.

**Key-words:** Industry 4.0, specific concept, indicator, financial return

### 1. Introdução

Este trabalho é o registro de um projeto executado durante a execução de uma pós-graduação 4.0 em empresa na região de Campos Gerais. A partir do entendimento da importância do conceito de indústria 4.0 e os impactos nos ambientes produtivos.

O trabalho teve como objetivo garantir a confiabilidade do consumo específico de matéria-prima e mensurar o rendimento no produto da empresa. No decorrer do trabalho fez-se necessário entender o processo de produção e as variantes que impactam no consumo específico, bem como mapear o processo de entrada de matéria-prima e os pontos crítico do processo.

Ao mapear o processo foi utilizado o conceito de visão sistêmica para melhor aproveitamento das oportunidades identificadas sobre a ótica de produção, porém com visão financeira não só no processo de fabricação de produto da unidade estudada, mas também para a organização como um todo uma vez que o conceito se aplica a mais de uma unidade da

empresa.

## 2. Consumo específico de madeira

O consumo específico de madeira (CEM) é determinado em metros cúbicos de madeira necessários para produção de uma tonelada de celulose ( $CEM = m^3/tsa$ ). Mesmo sendo de extrema importância e rotineiramente mencionado nas indústrias de celulose, o consumo específico de madeira não considera o custo da madeira, mas sim o seu consumo na fábrica (HUMBERTO, 2012).

Este parâmetro está diretamente relacionado com a densidade básica da madeira e rendimento em celulose no processo de depuração, variáveis estas que influenciam significativamente o seu valor final (MORAES, 2011).

## 3. Qualidade da madeira

A qualidade da madeira é uma variável representada pela combinação entre as características físicas, químicas e estruturais da árvore, as quais asseguram características mais ou menos favoráveis na produção de celulose, como o rendimento do processo (GOMIDE, 2010).

A variabilidade desse parâmetro é consideravelmente impactada pelo material genético de implantação, além dos diferentes tipos de solos, idade de corte, sistema de implantação e condução da floresta, ritmo de crescimento, procedências, local de implantação entre outros fatores (OLIVETTI, 2002).

Alguns parâmetros se apresentam-se bem assertivos na projeção da qualidade da madeira. É o caso do rendimento depurado, que sofre influência da composição química da madeira no processo de cozimento e da densidade básica, que é um parâmetro muito relevante de avaliação e considerado como um dos mais significativos, devido à combinação com diversos outros fatores (RUY, 1998).

Para Queiroz (2004), é imprescindível em uma fábrica de celulose a avaliação adequada da densidade básica, pois esta fornece indicações muito precisas a respeito da impregnação dos cavacos e rendimento do processo de cozimento e geralmente está correlacionada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa.

A crescente exigência por polpas celulósicas com propriedades específicas vem promovendo diagnósticos na busca de matéria-prima ainda mais adequadas. Fruto de programas de melhoramento genético, as características ideais de qualidade da madeira para a produção de celulose abrangem correlações entre suas propriedades físico-químicas e anatômicas, garantindo assim maiores rendimentos e menores perdas no processo de produção de celulose (LEONARDI, 2010).

### 3.1 Propriedades físicas

#### 3.1.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira é uma propriedade importante da madeira, é sem dúvida a propriedade de madeira mais importante por causa de sua forte relação com o rendimento e a qualidade, bem como por sua grande variação e alta herdabilidade (DEMUNER, 2011).

Barrichelo & Brito (1989), afirmam que a densidade básica da madeira para produção de celulose é uma propriedade física de extrema relevância, devido às suas relações com outras características da madeira, rendimentos de processos, velocidade de impregnação da madeira, refinação da celulose, propriedades das celuloses e papéis, etc.

Conforme Mokfienski (2008), a densidade básica da madeira de eucalipto possui ligação ainda mais direta com a qualidade da polpa e características morfológicas das fibras, do que com sua composição química. Queiroz et al., (2004) conclui que a densidade básica, quando avaliada corretamente, dispõe de dados muito eficazes sobre a impregnação dos cavacos e rendimento do processo, estando fortemente relacionada com as características de resistências físico-mecânicas e qualidade da polpa.

### 3.2 Propriedades químicas

A qualidade da madeira bem como a do produto final de uma indústria de celulose é influenciada pela composição química da madeira, existindo a real necessidade de sua caracterização. Em relação ao processo de polpação, a composição química da madeira afeta de modo direto o consumo de químicos no digestor, o rendimento depurado e o teor de sólidos gerados. Dessa forma, é de extrema importância compreender a natureza química da madeira para o aprofundamento de estudos relacionados a processos de produção de celulose (OLIVETTI, 2002).

A composição elementar da madeira seca é constante e apresenta os componentes químicos conforme a Tabela 1 (DEMUNER, 1970).

Composto químico	Distribuição na madeira seca
Carbono	50 %
Oxigênio	44 %
Hidrogênio	6 %
Cinzas (Material inorgânico)	0,3 %
Nitrogênio	0,1 %

Fonte: Adaptado de Demuner (2011)

Tabela 1 – Composição elementar da madeira

A partir da combinação desses elementos são formados os compostos químicos, sendo que o mais importante deles é a celulose, pois sua quantidade na madeira é a maior dentre todos os compostos químicos. Considerando em base seca, as quantidades relativas destes compostos são apresentadas na Tabela 2 (DEMUNER, 2011).

Composto químico	Distribuição na madeira seca
Celulose	40 – 45 %
Hemiceluloses	20 – 30 %
Lignina	18 – 25 %
Extrativos	3 – 8 %

Fonte: Adaptado de Demuner (2011)

Tabela 2 – Compostos químicos da madeira

#### 3.2.1 Celulose

A celulose é o principal constituinte da madeira, e em sua estrutura molecular está em todo o tempo relacionada à lignina e a hemicelulose em formas de fibras, que apresentam características de alta resistência à tração e são insolúveis em álcalis diluídos, água, ácidos e solventes orgânicos neutros, fazendo com que seja a principal matéria-prima em indústrias de

celulose e papel (BRITTO, 1989).

De acordo com Hernandez (2005) trata-se de um polissacarídeo linear, de comprimento de cadeia hábil para que possa ser insolúvel em água e álcali diluído à temperatura ambiente, formado apenas de unidades de anidroglicose unidas por ligação glucosídica  $\beta$ , e dispendo de uma estrutura bem organizada.

### 3.2.2 Hemicelulose

As hemiceluloses caracterizam-se por ser da mesma forma que a celulose, polissacarídeos da parede celular, formadas por diversos monossacarídeos, podendo-se destacar os principais: Glucose, D-xilose, D-manose, D-galactose, L-arabinose, ácido D-glucurônico, ácido 4-O-metilglucurônico, L-ramnose e L-frutose. Em função das diversas possibilidades de combinações dos monossacarídeos, as hemiceluloses são inúmeras e variam consideravelmente em estrutura (KLOCK, 2005).

Na parede celular, as hemiceluloses apresentam-se associadas juntamente à celulose e à lignina por meio de pontes de hidrogênio consistindo a estas substâncias ligações relativamente fracas, podendo ser separadas do material original (ou deslignificação) a partir da ação da água ou de soluções alcalinas tais como NaOH ou KOH (MUNIZ, 2005).

### 3.2.3 Lignina

A lignina é um composto indesejável na produção de celulose capaz de proporcionar uma projeção sobre o rendimento do processo de cozimento e o consumo de reagentes na polpação (ANTUNES, 2009).

A distribuição da lignina ocorre na parede celular e na lamela média. Na parede celular a lignina localiza-se ligada às hemiceluloses, criando uma espécie de “rede” e revestindo as microfibrilas de celulose; por outro lado, na lamela média atua como agente cimentante, mantendo as fibras unidas, dando resistência e rigidez à madeira (FENGEL, 1989).

Conforme Foelkel (1977), a lignina é um polímero tridimensional de estrutura e constituição química irregular, amorfo, predominantemente aromático e instável quimicamente. Engloba alto peso molecular com unidades de fenil-propano (C3-C6) unidas por ligações C-O-C e C-C.

### 3.2.4 Extrativos

Os extrativos são compostos de baixo peso molecular, de vários tipos, extraíveis da madeira por água e solventes orgânicos, com exceção de compostos que por definição pertençam às hemiceluloses e lignina (GOMIDE, 2010).

São resultados de alterações sofridas pelos carboidratos no processo fisiológico da árvore. Uma parcela dos extrativos efetuam atividades bastante importantes no metabolismo da árvore, ao mesmo tempo que outros não mostram nenhuma função aparente, sendo indesejáveis no processo produtivo para produção de celulose, pois podem originar problemas como corrosão, incrustação, sujeira na celulose e complicar o branqueamento da massa celulósica; no processo sulfito de madeiras com resinas, aumenta-se o aparecimento de *pitch* nos equipamentos e também na pasta celulósica (FOELKEL, 1977).

De acordo com DEMUNER (2011) os extrativos da madeira são classificados da seguinte maneira (Tabela 3):

Classificação	Extrativos
Materiais de reserva	Ácidos graxos, gorduras, óleos
Materiais de proteção	Ácidos resinosos, fenóis, ceras
Hormônios vegetais	Fitosterol, sitosterol

Fonte: Adaptado de Demuner (2011)

Tabela 3 – Classificação dos extrativos da madeira

A quantidade de extrativos presentes na madeira à base seca varia  $3 \pm 2$  %. Para extração desses elementos, há algumas técnicas, procedimentos e métodos, como a utilização de substâncias extratoras: água fria e quente, álcool etílico, éter etílico, acetona, diclorometano, mistura de álcool e benzeno na proporção de 1:2 etc (FOELKEL, 1977).

## 4. Aspectos econômicos

### 4.1 Macroeconomia

A Macroeconomia é uma área de estudo das ciências econômicas, a qual é responsável por analisar fatores do sistema econômico de determinado país ou região. Portanto, estuda a economia como um todo, analisando a determinação e o comportamento de grandes agregados, tais como: renda e produto nacionais, nível geral de preços, emprego e desemprego, estoque de moeda e taxas de juros, balança de pagamentos e taxa de câmbio (GARCIA, 2002).

Para Barbosa (2010), a Macroeconomia é a utilização da teoria econômica ao estudo do crescimento, do ciclo e da determinação do nível de preços da economia. Ela busca levar em conta os fatos observados no mundo real e construir arcabouços teóricos que sejam aptos de explicá-los. Nestes arcabouços há, em geral, dois tipos de mecanismos: impulso e propagação. Os mecanismos de impulso são as causas das mudanças nas variáveis do modelo; Os mecanismos de propagação, como o próprio nome aponta, transmitem os impulsos, ao longo do tempo, e são responsáveis pela dinâmica do modelo.

### 4.2 Microeconomia

A Microeconomia é o estudo de decisões tomadas por pessoas e empresas em relação à alocação de recursos e preços de bens e serviços. Também leva em conta impostos e regulamentos criados pelos governos (ZAVATTI, 2014).

Esse estudo concentra-se na oferta e demanda e outras forças que determinam os níveis de preços na economia. É preciso o que é chamado de abordagem de baixo para cima para analisar a economia. Em outras palavras, a microeconomia tenta entender as escolhas humanas e a alocação de recursos (VARIAN, 1992).

Dessa forma, a microeconomia não busca responder ou explicar quais forças devem ocorrer em um mercado, mas sim, explicar o que acontece quando há mudanças em determinadas condições. Por exemplo, a microeconomia examina como uma empresa pode maximizar sua produção e capacidade para diminuir os preços e competir melhor em seu setor. Muitas informações microeconômicas podem ser obtidas nas demonstrações financeiras (GARCIA, 2002).

O estudo envolve vários princípios fundamentais, incluindo (ZAVATTI, 2014):

- Demanda, Oferta e Equilíbrio: os preços são determinados pela teoria da oferta e demanda. De acordo com essa teoria, os fornecedores oferecem o mesmo preço exigido pelos

consumidores em um mercado perfeitamente competitivo. Isso cria equilíbrio econômico;

- Teoria da produção: este é o estudo da produção;
- Custos de produção: Conforme essa teoria, o preço de bens ou serviços é determinado pelo custo dos recursos usados durante a produção.
- Economia do trabalho: esse princípio examina trabalhadores e empregadores e visa entender o padrão de salários, emprego e renda.

As regras da microeconomia fluem de um conjunto de leis e teoremas compatíveis, em vez de começar com um estudo empírico.

## 5. Indústria 4.0

A concepção de Indústria 4.0 surgiu na Alemanha no ano de 2011, propondo desenvolver uma nova ideia de política econômica alemã baseada em estratégias de alta tecnologia. A junção da digitalização à atividade industrial originou a caracterização de Indústria 4.0. Baseada na integração e controle da produção por meio de sensores e equipamentos conectados em rede, e, associada ao surgimento de tecnologias avançadas, trouxe novas oportunidades que afetam a forma de produção e gerenciamento nas empresas (GONÇALVES, 2016).

Este conceito vai além da integração dos processos relacionados à produção e distribuição, pois envolve todas as etapas desempenhadas por uma organização, entre elas o desenvolvimento de novos produtos, testes e até mesmo a simulação das condições de processo (COSTA, 2017).

Portanto, a Indústria 4.0 possibilita a constituição de valor nos mais diversos níveis da empresa, pois o impacto vai além da digitalização, passando por uma maneira muito mais crítica de inovação fundamentada na combinação de múltiplas tecnologias, que obrigará as organizações a repensar o método como administram os seus negócios e processos (COELHO, 2016).

### 5.1 Machine learning

O *machine learning* termo em inglês que significa “aprendizado automático” ou “aprendizagem de máquina”, é um campo da ciência da computação que está relacionado ao estudo de reconhecimento e da teoria do aprendizado em inteligência artificial. O aprendizado automático analisa o estudo e estruturação de algoritmos que podem aprender a partir de seus erros e fazer previsões sobre as informações levantadas. Alguns segmentos do aprendizado automático estão profundamente relacionados à estatística computacional; um ensino que tem por objetivo determinar como realizar previsões através do uso de computadores, com pesquisas sobre as propriedades dos métodos estatísticos e sua complexidade computacional (MCAFEE, 2014).

O aprendizado automático é usado para diversas funções computacionais nas quais criar e programar algoritmos explícitos é irrealizável. De acordo com Esteves (2011), exemplos de aplicabilidades incluem filtragem de spam, reconhecimento ótico de caracteres (OCR), processamento de linguagem natural, motores de busca, diagnósticos médicos, bioinformática, reconhecimento de fala, reconhecimento de escrita, visão computacional e locomoção de robôs.

De acordo com Russel (2003), o *machine learning* desenvolveu-se a partir da procura pela

inteligência artificial. Ainda no início da IA (inteligência artificial) como matéria acadêmica, estudiosos já tinham interesse em preparar máquinas para aprenderem a partir de dados. Eles buscaram levantar esse tema desde vários métodos simbólicos, assim como com o que foi então nomeado de "rede neural artificial"; estes eram majoritariamente *perceptrons* e outros modelos que mais tarde foram compreendidos como reinvenções de modelos lineares generalizados de estatística. A lógica probabilística também foi usada, especialmente em diagnósticos médicos automatizados.

## 5.2 Tecnologia RFID

A tecnologia RFID, do inglês, *Radio Frequency Identification* que significa Identificação por Radiofrequência, é uma tecnologia de comunicação sem fio utilizada para capturar dados, que pode estar vinculada a diferentes atributos de identificação (número de série, posição, cor, data da compra, etc) de entidades portadoras de etiquetas RFID (tags) (HUANG, 2007).

O processo de coleta de dados é baseado na troca de ondas eletromagnéticas entre etiquetas RFID e interrogadores RFID (leitores). Essa tecnologia de identificação automática e captura de dados é capaz de fornecer maior granularidade de identificação quando comparada a códigos de barras e tecnologias anteriores de Auto-ID. Com o RFID, por exemplo, é possível alocar códigos de identificação diferentes para itens semelhantes e diferentes níveis de identificação, permitindo melhor visibilidade e rastreabilidade nos processos logísticos e de fabricação (CHOW, 2007).

## 6. Resultados

### 6.1 Mapeamento de processo

O consumo específico de matéria-prima para fabricação de produto foi um tema eleito para estudo durante o período da pós-graduação Indústria 4.0. Este trabalho teve como objetivo estudar o consumo específico e seu impacto no rendimento do produto da organização.

Durante a fase de levantamentos de dados foi necessário estruturar a fórmula de consumo específico em função do mapeamento do processo de recebimento e estocagem de matéria-prima no preparo de matéria-prima da unidade.

O primeiro ponto importante foi a necessidade de estruturar uma fórmula para cálculo de consumo específico sobre a ótica de unidade de massa. Nesta mesma formula foi necessário estabelecer pontos de tomada de dados uma vez que o processo de entrada de matéria-prima apresentou em algumas fases imprecisão nos registros de dados. Uma vez estabelecido o método de cálculo foi estruturado uma forma de apresentação dos resultados do cálculo do consumo específico utilizados na unidade.

A partir da existência de um número de consumo específico foi comparado como um *benchmarking* e o número ficou abaixo do esperado. Em uma primeira análise as diferenças de números se deu por que o mercado usa na base de consumo específico a unidade de volume e a empresa de estudo trabalha com unidade de massa. Por outro lado, o número não poderia ter fugido muito da referência. A partir desta diferença, fez-se necessário um maior aprofundamento do estudo com o mapeamento do processo. Foram visualizadas oportunidade de aumentar a confiabilidade do consumo específico considerando: Entrada de matéria-prima na unidade para consumo imediato e entrada de matéria-prima na unidade para estoque. A confiabilidade do número foi imprescindível para o uso do *machine learning* conforme descrito em 6.3.

## 6. 2 Uso de ferramentas balança e RFID

Para os pontos mapeado com pesagem de matéria-prima foram apresentadas as seguintes alternativas.

Uso da tecnologia RFID no processo de pesagem, assim através do uso desta tecnologia possibilitaria retirar o gargalo de tempo do sistema de pesagem da empresa. A tecnologia permite para o mesmo recurso de balança existente pesar 100% dos caminhões que entram com matéria-prima na unidade próprios e terceiros.

A empresa conta com 4 unidade de pesagem distribuídos da seguinte forma: três unidades de pesagem para dar vazão a entrada de matéria-prima e 1 unidade de pesagem para saída de caminhões após descarga. Tal diferença entra o número de balança na entrada e na saída não permitia a execução da pesagem para 100% dos caminhões que efetuava descarga na unidade. Para garantir o fluxo apenas os caminhões que transportavam matéria-prima de terceiros (comprada no mercado) eram pesados, caminhões da própria empresa ou trabalhando em seu nome são aferidos por “tara” uma vez ao mês. Esta definição de não pesar caminhões da empresa ou que trabalham em nome dela contribui para reduzir a confiabilidade do número de consumo específico.

## 6. 3 Uso de balança com tecnologia de transferência de dados

Para o ponto mapeado como estocagem que na situação inicial compunha o número de consumo específico com uma estimativa com base em volume (convertido para massa) fonte de erro, foi sugerido emprego de balança na garra da máquina utilizada para descarga de matéria-prima com transmissão de dado via Wi-Fi eliminação do erro da conversão de unidade de volume em massa.

## 6. 4 Uso de Inteligência artificial Machine learning

Foi apresentado a empresa como base nos estudos realizados pelo trabalho o uso de machine learning após o reestabelecimento das condições de base. O uso desta tecnologia deve acontecer em duas etapas:

Primeira etapa o uso da machine learning antes da mesa do preparo de matéria-prima. Usar *machine learning* na entrada da mesa permite ao supervisor da área destinar a matéria-prima recebida para estoque e/ou mesa de consumo em função da informação que a tecnologia lhe sugerir.

Segunda etapa, uso do *machine learning* no preparo de matéria-prima levando em consideração os dados do próximo processo. Permite aos processos envolvidos serem otimizados com base em aprendizado da inteligência artificial. Tal inteligência otimiza o uso de matéria-prima na unidade e /ou entre unidades da empresa na região, potencializado o uso da ferramenta.

## 7. Conclusões

A partir do início dos estudos deste trabalho de pós-graduação permitiu a empresa revisar o processo de recebimento de matéria-prima, discutir e eliminar barreiras divisórias entre unidades e assumir juntos a discussão do tema com ganhos financeiros potenciais para o negócio. Esta discussão conjunta proporcionada pela liderança da unidade permitiu ganhos de aprendizado, processo e conseqüentemente financeiros. Dados estimados em uma conjectura pessimista mostraram que um investimento da ordem de aproximadamente R\$

800.000,00 permite aumentar a confiabilidade do processo e obter um ganho financeiro potencial no consumo de matéria-prima na casa de 1.2% no resultado anual. No caso do ramo específico impacto financeiro no uso de matéria-prima reflete diretamente no resultado do negócio da empresa estudada.

### Referências

- ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies Acacia crassicarpa, Acacia mangium, Eucalyptus nitens, Eucalyptus globulus e Populus tremuloides.** 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- BARRICHELO, L.E.G. & BRITTO, J.O. - Química da Madeira - Manual Didático - Centro Acadêmico “Luiz de Queiroz”. USP - Piracicaba. 1989.
- BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies.** WW Norton & Company., p. 420–421, 2014.
- COELHO, Pedro M. N. N. **Rumo à Indústria 4.0.** Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra: 2016.
- COSTA, Cesar da. **Indústria 4.0: O Futuro da Indústria Nacional.** São Paulo: IFSP, 2017.
- DEMUNER, W. P. **Predição do Impacto da Madeira em Fábrica Kraft de Eucalipto.** Universidade Federal do Espírito Santo – Departamento de Engenharia Florestal.
- ESTEVES, M.A.; SILVA, J. E. **Utilização de Machine Learning em uma Estação de Tratamento de Efluentes.** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011.
- FENGEL, D. & WEGENER, G. - **Wood. Chemistry.** Ultrastructure. Reactions. Walter de Gruyter. Berlin, 1989.
- FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da madeira: teoria.** 5. ed. Belo Oriente: [s.n.], 1977.
- GOMIDE, J. L. et al. **Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de Eucalyptus do Brasil.** Revista Árvore, Viçosa, v. 29, n. 1, p.129-137, 2005.
- GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. **Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft.** Revista Árvore, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, mar./abr. 2010.
- GONÇALVES, F. M. P. **Análise Organizacional dos Requisitos da Indústria 4.0 com base em Métodos Multicritérios.** Curitiba: UTFPR, 2016
- HERNANDEZ, J. A; KLOCK, H.; MUNIZ, G. I.B. **Química da Madeira.** Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2005.

LEONARDI, L. O futuro e a competitividade do setor. O Papel, São Paulo, ano 71, n. 9, p. 4-5, set. 2010..

MORAES, F. A. B. **Modelo para avaliação do consumo específico de madeira e insumos energéticos no processo de produção de celulose e papel.** 2011. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-C

OLIVETTI NETO, A. **Qualidade de Cavacos de Eucalipto para Obtenção de Celulose Kraft.** In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2., 2002, Campinas. Anais... Campinas: Unicamp, 2002. 1 CD-Rom

QUEIROZ, S. C. S. et al. **Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake.** Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

ROBLEK, V. A Complex View of Industry 4.0. Slovenia, 2016. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2158244016653987>. Acesso em Setembro de 2019.

RUSSEL, Stuart; NORVING, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach** 2 ed. [S.l.]: Prentice Hall, (2003 [1995]).

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de Eucalyptus urophylla S.T. BLAKE da Ilha de Lores, Indonésia.** 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SILVA, J. et al, **Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil.** Revista de madeira, Curitiba, p.90-92, set. 2001. Suplemento especial.

STOJKIĆ, z. et al. **A Concept of Information System Implementation within Industry 4.0.** Vienna, Áustria: DAAAM International, 2016.

THIERSCH, C. R. et al. **Uso de modelos matemáticos na estimativa da densidade básica da madeira em plantios de clones de Eucalyptus sp.** Revista Cerne, Lavras, v. 12, n. 3, p. 264-278, jul./set. 2006.