

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 18/10/2021.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ENERGIA INCORPORADA E EMISSÃO DE GASES DE
EFEITO ESTUFA NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS
PARA BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO**

**Tadeu Tomio Sudo
Engenheiro Mecânico**

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ENERGIA INCORPORADA E EMISSÃO DE GASES DE
EFEITO ESTUFA NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS
PARA BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO**

Tadeu Tomio Sudo

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

2019

S943e Sudo, Tadeu Tomio
Energia incorporada e emissão de gases de efeito estufa na fabricação de equipamentos para beneficiamento de algodão / Tadeu Tomio Sudo. -- Jaboticabal, 2019
77 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Afonso Lopes

1. Aço-carbono. 2. Ecodesign. 3. Energia elétrica. 4. Tecnologia limpa. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ENERGIA INCORPORADA E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO

AUTOR: TADEU TOMIO SUDO

ORIENTADOR: AFONSO LOPES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. LEOMAR PAULO DE LIMA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM / Campus Uberlândia/MG

Prof. Dr. EVALDO FERREZIN
FATEC / Sertãozinho/SP

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO ALVES DE OLIVEIRA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro-IFTM / Campus Uberlândia/MG

Jaboticabal, 18 de outubro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Tadeu Tomio Sudo, filho de Yutaka Sudo e Yoko Fukuda Sudo, natural de Ribeirão Preto-SP, nasceu em 16 de maio de 1970. Em janeiro de 1993, concluiu o curso de Bacharel em Engenharia Mecânica na Universidade Estadual de Campinas. Durante a vida acadêmica, participou de duas iniciações científicas. Em maio de 2001, obteve o título de Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Desde 2012, elabora e revisa os itens do Banco Nacional de Itens (BNI), do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE). Em novembro de 2013, obteve o título de Especialista em Gestão Pública pela Universidade Católica Dom Bosco, de Campo Grande - MS. Em março de 2016, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo). Em 2019, concluiu o curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

"A poluição, a ganância e a estupidez são as maiores ameaças ao planeta."

Stephen Hawking

À minha esposa, aos meus filhos, aos meus pais e às minhas irmãs.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Grace, que durante o doutorado me apoiou, incentivando e acreditando em meu sucesso.

À minha filha Yumi, pela compreensão em alguns momentos de ausência para a conclusão do doutorado.

Ao meu filho Yuki, pela compreensão em alguns momentos de ausência para a conclusão do doutorado.

Ao professor Dr. Afonso Lopes, do Departamento de Engenharia Rural, da FCAV/UNESP, pela excelente orientação, amizade, companheirismo, compreensão e confiança durante a elaboração deste trabalho.

Ao professor Dr. José Marques Júnior, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Ao engenheiro mecânico Luiz Carlos Rodrigues (Sr. Busa), proprietário da empresa BUSA Indústria e Comércio de Máquinas Agrícolas Ltda., por permitir a obtenção de dados para a realização deste trabalho, sem o qual ele não seria viável.

Aos funcionários da empresa BUSA, pelo apoio e dedicação para o auxílio na obtenção das informações para este trabalho.

Ao aluno Antônio Alves Pinto, pela cooperação e amizade.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - SP, em especial ao servidor do Departamento de Engenharia Rural, o Secretário Davi Aparecido Trevizolli, que sempre esteve disposto a contribuir para a melhoria dos trabalhos realizados.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, pela colaboração.

Ao Laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas - BIOEM, pertencente ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia - IPBEN, FCAV/UNESP/Jaboticabal – SP, pelo apoio e suporte técnico.

À equipe da Seção Técnica de Pós-Graduação.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por acreditar em meu trabalho.

Ao professor Vítório Barato Neto, pela revisão ortográfica e gramatical deste trabalho.

A todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Definição de Energia.....	4
2.2 Evolução da Geração e Consumo de Energia.....	5
2.3 Fontes de Energia	7
2.4 Energia Incorporada	8
2.5 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).....	10
2.6 Mudanças Climáticas e o Impacto do Setor Industrial	17
2.7 Processos de Fabricação	20
2.8 Produção Mais Limpa (P+L)	23
2.9 Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis (Ecodesign) e Green Lean.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5 CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

ENERGIA INCORPORADA E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO

RESUMO – Na concepção do projeto e na fabricação de equipamentos, deve-se preocupar com a energia incorporada e com a quantidade de emissão de gases de efeito estufa (GEE), de modo a atender às exigências ambientais, cada vez mais requeridas por organismos internacionais. Este trabalho teve como objetivo calcular a energia incorporada (MJ) e a emissão de GEE (kg CO₂e) na fabricação de equipamentos para beneficiamento de algodão, considerando a matéria-prima, a hora trabalhada e a energia elétrica consumida. O trabalho foi realizado na análise de três equipamentos de uma usina de beneficiamento de algodão. Os referidos equipamentos foram fabricados com tecnologia nacional por uma empresa localizada no interior do Estado de São Paulo. O primeiro equipamento, alimentador extrator automático, teve emissão de 6,57 CO₂e kg⁻¹ e energia incorporada de, 102,54 MJ kg⁻¹; o segundo equipamento, descaroador, teve emissão de 6,82 CO₂e kg⁻¹ e energia incorporada de 107,64 MJ kg⁻¹; e o terceiro equipamento, prensa hidráulica, teve emissão de 5,05 CO₂e kg⁻¹ e energia incorporada de 78,73 MJ kg⁻¹. Verifica-se a relevância dos materiais metálicos, principalmente do aço-carbono e a importância da energia elétrica consumida no cálculo de energia incorporada. O tempo homem/hora não foi relevante nos resultados de emissão de CO₂e kg⁻¹ e energia incorporada.

Palavras-chave: aço-carbono, ecodesign, energia elétrica, tecnologia limpa.

EMBODIED ENERGY AND GREENHOUSE GASES EMISSIONS IN THE MANUFACTURE OF COTTON BENEFIT EQUIPMENT

ABSTRACT – In conception of design and manufacturing equipment it must be concerned with the embodied energy and greenhouse gas emissions (GHG), in order to meet the environmental requirements, which are increasingly required by international organizations. This paper aimed to calculate the embodied energy (MJ) and the emission of GHG (kg CO₂e) in the manufacture of equipment for cotton processing, considering the raw material, the hour worked and the consumption of electric energy. The study analyzed three equipments of a plant of cotton benefit. These equipments were manufactured with national technology by a company located in the interior of the Brazilian state of São Paulo. The first equipment, automatic extractor feeder, had emission of 6.57 CO₂e kg⁻¹ and embodied energy of 102.54 MJ kg⁻¹; the second equipment, ginning machine; had emission of 6.82 CO₂e kg⁻¹ and embodied energy of 107.64 MJ kg⁻¹, and the third equipment, hydraulic press; had emission of 5.05 CO₂e kg⁻¹ and embodied energy of 78.73 MJ kg⁻¹. Then was verified the relevance of metallic materials, mainly carbon steel and the importance of consumption of electric energy in the calculation of embodied energy. The man/hour time was not relevant in the results of CO₂e kg⁻¹ emission and embodied energy.

Keywords: carbon steel, ecodesign, electric energy, clean technology.

LISTA DE ABREVIATURAS

“	Polegada (medida linear)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
cal	Caloria
CCl ₂ F ₂	CFC-12
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
CF ₄	Perfluormetano
CH ₄	Metano
CHClF ₂	HCFC-22
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
cv	Cavalo Vapor (potência)
FAO	Food and Agriculture Organization
GEE	Gases de efeito estufa
GHG	Greenhouse Gas
Gt	Bilhões de toneladas
GWP	Global Warming Potential
ha	hectare
HCS	Hidrocarbonetos
Hg	Mercúrio
IEA	International Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
kgf	Quilograma força
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MJ	Mega Joule
MME	Ministério de Minas e Energia

MP	Material particulado
N ₂ O	Óxido nitroso
NO	Óxido Nítrico
NO ₂	Dióxido de Azoto ou Dióxido de Nitrogênio
O ₃	Ozônio Troposférico
°C	Grau Celsius
ONU	Organização das Nações Unidas
P+L	Produção mais Limpa
Pb	Chumbo
Ppbv	Parte por bilhão em volume
Ppm	Partes por milhão
RCE	Redução Certificada de Emissão
rpm	Rotações por minuto
SAE	Society of Automotive Engineers
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
SI	Sistema Internacional de Unidades
SMED	Single Minute Exchange of Die
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₄ ⁻²	Sulfato
STP	Sistema Toyota de Produção
tCe	Toneladas de carbono equivalente
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
TPM	Total Productive Maintenance
UNEP	United Nations Environmental Program
VSM	Value Stream Mapping

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Necessidades energéticas para várias atividades.....	7
Tabela 2. Consumo final energético no Brasil, em 2018, por setor (MME, 2019).	9
Tabela 3. Principais gases de efeito estufa (GEE) (Goldemberg e Lucon, 2012).	13
Tabela 4. Possíveis resultados tangíveis e intangíveis da implementação da P+L (Lemos, 1998).	24
Tabela 5. Componentes do equipamento E1.	33
Tabela 6. Componentes do equipamento E2.	36
Tabela 7. Componentes do equipamento E3.	41
Tabela 8. Índices de energia incorporada por insumo.....	44
Tabela 9. Comparativo dos índices de energia incorporada entre os metais, como referência o alumínio.	44
Tabela 10. Fator de emissão CO ₂ e por insumo.	45
Tabela 11. Comparativo dos fatores de emissão de CO ₂ e entre os metais, como referência o alumínio.	46
Tabela 12. Informações da massa (kg) por tipo de material dos equipamentos E1, E2 e E3.....	47
Tabela 13. Porcentagem de cada insumo na composição do equipamento.	48
Tabela 14. Porcentagem de material ferroso e não ferroso na composição do equipamento.....	49
Tabela 15. Descrição do formato do insumo (kg) por tipo de material.	50
Tabela 16. Descrição do formato do insumo por tipo de material (%).	51
Tabela 17. Valores de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E1 (tipo de material).	54
Tabela 18. Porcentagem de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E1 (tipo de material). ..	54
Tabela 19. Valores de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E2 (tipo de material).	55
Tabela 20. Porcentagem de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E2 (tipo de material). ..	55
Tabela 21. Valores de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E3 (tipo de material).	56
Tabela 22. Porcentagem de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E3 (tipo de material). ..	56
Tabela 23. Tempo de cada processo de fabricação.....	58
Tabela 24. Proporção do tempo de cada processo de fabricação.	58

Tabela 25. Total de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E1.	59
Tabela 26. Total de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E2.	61
Tabela 27. Total de kg CO ₂ e e MJ do equipamento E3.	62
Tabela 28. Comparativo da proporção de kg CO ₂ e e MJ dos equipamentos.....	64
Tabela 29. Importância dos metais ferrosos e da energia elétrica na proporção de kg CO ₂ e e MJ dos equipamentos.	65
Tabela 30. Valores de emissão de CO ₂ e e energia incorporada dos três equipamentos.	65
Tabela 31. Valores de CO ₂ e kg ⁻¹ e MJ kg ⁻¹ dos três equipamentos.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Média global de concentrações de GEE (IPCC, 2014).	12
Figura 2. Emissões antropogênicas globais de CO ₂ (IPCC, 2014).	17
Figura 3. Representação esquemática dos processos de fabricação dos materiais metálicos (Bresciani Filho et al., 1986).	21
Figura 4. Distribuição de temperatura na ponta da ferramenta de metal duro (Diniz et al., 1999).	22
Figura 5. Alimentador Extrator - grelha quadrada (vista frontal).	30
Figura 6. Alimentador Extrator - grelha quadrada (vista lateral).	31
Figura 7. Descaroador com 200 serras, com catador de piolho (vista frontal).	34
Figura 8. Descaroador com 200 serras, com catador de piolho (vista lateral).	34
Figura 9. Prensa Hidráulica para Enfardamento de Algodão (isométrico).	37
Figura 10. Prensa Hidráulica para Enfardamento de Algodão (vista frontal).	38
Figura 11. Prensa Hidráulica para Enfardamento de Algodão (vista lateral).	39
Figura 12. Gráfico de Pareto do formato do insumo do equipamento E1.	52
Figura 13. Gráfico de Pareto do formato do insumo do equipamento E2.	52
Figura 14. Gráfico de Pareto do formato do insumo do equipamento E3.	53
Figura 15. Total % do fator de emissão (kg CO ₂ e) do equipamento E1.	60
Figura 16. Total % da energia incorporada (MJ) do equipamento E1.	60
Figura 17. Total % do fator de emissão (kg CO ₂ e) do equipamento E2.	61
Figura 18. Total % da energia incorporada (MJ) do equipamento E2.	62
Figura 19. Total % do fator de emissão (kg CO ₂ e) do equipamento E3.	63
Figura 20. Total % da energia incorporada (MJ) do equipamento E3.	63

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial para fabricação de equipamentos agrícolas apresenta diversas dimensões, tais como: econômica, social e ambiental. Entretanto, existe amplo consenso em condição global em que ocorre o desequilíbrio dessas dimensões, o que tem alcançado escala que torna onerosa a continuidade da tecnologia industrial sem mudanças reais no processo produtivo (Reficco et al., 2018). De acordo com Hart e Milstein (1999), a sustentabilidade global requer a “destruição criativa das indústrias”.

Devido ao crescimento econômico, ocorre o aumento populacional e surgem grandes desafios, evidenciando-se a criação de novos postos de trabalho, capacitação e educação, redução das desigualdades, expansão da infraestrutura e dos serviços, aumento na eficiência de extração de recursos naturais e controle da poluição (Goldemberg e Lucon, 2012). Têm-se presenciado mudanças consideráveis no meio ambiente, causadas pela ação humana, mudanças essas denominadas antropogênicas (Beardsworth, 2018).

Com o crescimento da população mundial, eleva-se o consumo de energia per capita, aumenta-se a queima de combustíveis fósseis, necessitando de maiores fontes de energia e propiciando elevação do aquecimento global. Em princípio, regiões mais desenvolvidas consomem mais eletricidade por habitante (Goldemberg e Lucon, 2012).

De acordo com Pedroso (2015), a demanda por recursos energéticos tem sido uma das principais causas do desequilíbrio ambiental mundial. E segundo Spoto e Paulsen (2014), o acúmulo de lixo e a modificação de ecossistemas propiciam este desequilíbrio ambiental.

Em 1997, criou-se o Protocolo de Kyoto com o objetivo de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa e o consequente aquecimento global, mas de acordo com Sandler (2017), em nível global, a eficácia do Protocolo de Montreal (1989) sobre o controle das substâncias que destroem a camada de ozônio é contrastada com a ineficácia do Protocolo de Kyoto sobre a redução dos gases de efeito estufa.

O desenvolvimento do agronegócio é relevante para o processo de desenvolvimento econômico brasileiro e, portanto, é importante para o progresso das políticas econômicas (Kureski e Moreita, 2016).

No setor agrícola e em muitos outros setores, ocorre aumento da competição global como consequência da produção em massa, do aumento da tecnologia padronizada e das inovações organizacionais e gerenciais (Barth e Melin, 2018).

Tem sido realizada a análise de energia incorporada em máquinas agrícolas, porém com dados de indicadores da década de 1960 (Mantoam et al., 2016), dados que podem estar ultrapassados, principalmente por causa da alteração da tecnologia.

Devido à importância da produção agrícola na economia, a falta de índices energéticos atualizados, a inexistência de índices de emissões para máquinas agrícolas e ainda pelo fato de que as indústrias de máquinas agrícolas planejam projetar produtos cada vez mais sustentáveis, justifica-se determinar novos indicadores de energia incorporada e emissões dos gases de efeito estufa (GEE) das máquinas agrícolas que tenham maior abrangência no cenário agrícola mundial.

Por causa da produção em massa, na concepção do projeto e na fabricação de equipamentos, deve-se preocupar com a energia incorporada e com a quantidade de emissão de gases de efeito estufa (GEE), de modo a atender às exigências ambientais, cada vez mais requeridas por organismos internacionais.

É inevitável a preocupação com o meio ambiente, e devido ao aumento do consumismo e da concorrência globalizada, a maioria dos produtos tem ciclo de vida “curto” ou obsolescência planejada (Rivera e Lallmahomed, 2016), isto é, com data para ser retirada do mercado. O destino do descarte dos produtos após o consumo, denominado como logística reversa pós-consumo, deve ser de responsabilidade do fabricante (Cline et al., 2015), mas não ocorre na prática, e não existem mecanismos para controlar o descarte final destes produtos. A inovação é o grande desafio para o planejamento estratégico das empresas.

No desenvolvimento do projeto comercializável, alguns critérios devem ser considerados, relativos à questão econômica, ambiental e social. Com relação à

questão econômica, devem-se analisar o projeto do componente, os materiais empregados e as técnicas de fabricação (Callister e Rethwisch, 2013).

As empresas devem projetar produtos e serviços em curto período de tempo, com foco no consumidor, na sustentabilidade e utilizando menos recursos financeiros, humanos e materiais (Rivera e Lallmahomed, 2016), com o objetivo de ampliar a vantagem competitiva e de projetar conforme os fundamentos do ecodesign.

O transporte também tem influência na seleção, na aquisição de materiais e na prestação de serviços, devido as distâncias continentais do Brasil, podendo inviabilizar a seleção de alguns materiais em relação à sustentabilidade energético-ambiental.

Verifica-se a importância de ações de mitigação das emissões de GEE e consumo de energia, ações necessárias para a sustentabilidade ambiental.

O objetivo deste trabalho foi calcular a energia incorporada e a emissão de GEE na fabricação de três equipamentos de uma usina de beneficiamento do algodão, considerando insumos diretos e indiretos. Considera-se insumo como todo elemento necessário no processo de produção. Com estes dados analisam-se a relevância da matéria-prima utilizada nos componentes e a influência dos processos de fabricação.

5 CONCLUSÃO

Os materiais ferrosos (aço-carbono, aço inoxidável e ferro fundido) são os tipos de material que mais influenciam os cálculos de energia incorporada MJ e da emissão de GEE CO₂e, sendo o material aço-carbono o mais importante.

Verifica-se a viabilidade custo-benefício, para alterar os tipos de material dos componentes com as maiores massas. Existem especificações de materiais metálicos que possuem maior resistência mecânica. Por exemplo, a adição do elemento químico nióbio ou boro ao aço-carbono aumenta a resistência mecânica, reduzindo a massa necessária do componente mecânico.

Importante reavaliar os cálculos estruturais e os fatores de segurança dos projetos dos componentes de aço-carbono, objetivando reduzir a massa necessária destes componentes.

A parcela referente ao trabalho humano contribui pouco para o cálculo da energia incorporada e da emissão de GEE, mas a energia elétrica consumida nos processos de fabricação é relevante.

Devem-se avaliar os processos de fabricação, reduzindo os tempos, reduzindo o consumo de energia elétrica e também reduzindo o material descartado, por exemplo, cavacos.

REFERÊNCIAS

Ablat MA, Qattani A (2018) Finite Element Analysis of Origami-Based Sheet Metal Folding Process. **Journal of Engineering Materials and Technology** 140: p.031008.

Ahanchian M, Biona JBM (2014) Energy demand, emissions forecasts and mitigation strategies modeled over a medium-range horizon: The case of the land transportation sector in Metro Manila. **Energy Policy** 66: 615-629.

Álvares Jr OM, Linke RRA (2002) **Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil** - CETESB. São Paulo.

Amato Neto J (1985) **A indústria de máquinas agrícolas no Brasil**: origens e evolução. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v. 25, n. 3, p. 57-69.

ANP (2018) **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2018**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/central-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario-2018-versao-impressao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2013). **NBR 16229**: Sucata de ferro fundido e aço. Rio de Janeiro, 5p.

Barnes RM (1977) **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. 6.ed. São Paulo: Edgard Blücher.

Barth H, Melin M (2018) A Green Lean approach to global competition and climate change in the agricultural sector - A Swedish case study. **Journal of Cleaner Production** 204: 183-192.

Beardsworth SJ (2018) Renewable Energy Special Issue: Going for Green!. **Chemistry - A European Journal** 24(69): 18.134-18.136.

Berge B (2009) **The ecology of building materials**. Oxford: ELSEVIER, 2.ed. 427p.

Boustead I, Hancock GF (1979) **Handbook of industrial energy analysis**. Chichester: Ellis Horwood Publ., 422p.

Bresciani Filho E (1988) **Seleção de materiais metálicos**. 2.ed. Campinas: Editora da UNICAMP.

Bresciani Filho et al. (1986) **Conformação plástica dos metais**. 3.ed. Campinas, Editora da UNICAMP.

Caldera HTS, Desha C, Dawes L (2017) Exploring the role of lean thinking in sustainable business practice: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production** 167: 1.546-1.565.

Callister WD, Rethwisch DG (2013) **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC.

Çengel YA, Boles MA (2013). **Termodinâmica**. 7.ed. Porto Alegre: Bookman.

Chiarini, A (2014) Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. **Journal of Cleaner Production** 85: 226-233.

Cline A, LeMay S, Helms MM (2015) A framework for reverse logistics: the case of post-consumer carpet in the US. **International Journal of Commerce and Management** 25: 466-489.

Cui H, Zhou K (2018) Industrial power load scheduling considering demand response. **Journal of Cleaner Production** 204: 447-460.

De Beer JG, Worrell E, Blok K (1998) Future technologies for energy efficient iron and steelmaking. **Annual Review of Energy and Environment**. Palo Alto, 23: 123-205.

Destouni G, Frank H (2010) Renewable Energy. **AMBIO** 39:18-21.

Dias MAP (2012) **Logística, transporte e infraestrutura**: armazenagem, operador logístico, gestão via TI, multimodal. São Paulo: Atlas.

Diniz AE, Marcondes FC, Coppini NL (1999) **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo, MM Editora.

FAO (2014) **Aumentam as emissões de gases com efeito estufa provenientes da agricultura**. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/pt/item/224454/icode/>>. Acesso em: 10 set. 2017.

Farias LM, Sellitto MA (2011) **Uso da energia ao longo da história**: evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun.

Fator médio - Inventários corporativos (2018) Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 28 out. 2018.

Ferraresi D (1977) **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: EDGARD BLÜCHER.

Fluck RC, Baird CD (1980) **Agricultural energetics**. Westport: AVI Publ., 192p.

Forestry for a low-carbon future (2016) Disponível em: <www.fao.org/3/a-i5857e.pdf>. Acesso em: 17 set. 2017.

França R (2014) **Um novo fim para a sucata**. Exame, São Paulo, n. 11, 1067.ed., p. 102-105, jun.

Garza-Reyes JA, Romero JT, Govindan K, Cherrafid A, Ramanathan U (2018) A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM). **Journal of Cleaner Production** 180: 335-348.

GHG Protocol (2018) **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

Goldemberg J, Lucon O (2012) **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Gonçalves OS (2010) **Administração de Materiais**. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

Guimarães LBM (2006) A Ecologia no projeto de Produto: design sustentável, design verde, ecodesign. **Ergonomia de Produto**. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2: 5-35.

Halliday D, Resnick R, Walker J (2018) **Fundamentos de física**, volume 1: mecânica. 10.ed. Rio de Janeiro: LTC.

Hammond G, Jones C (2008) **Inventory of carbon & energy**: Bath: University of Bath, Department of Mechanical Engineering, Sustainable Energy Research Team, 64p.

Hanaoka T, Akashib O, Fujiwarac K, Motokic Y, Hibino G (2014) Potential for reducing air-pollutants while achieving 2 °C global temperature change limit target. **Environmental Pollution** 195: 336-343.

Hart SL, Milstein MB (1999) Global Sustainability and the Creative Destruction of Industries. **Sloan Management Review**. 41: 23-33. Disponível em: <<https://sloanreview.mit.edu/article/global-sustainability-and-the-creative-destruction-of-industries/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

Heller MC, Willits-Smith A, Meyer R, Keoleian GA, Rose D (2018) Greenhouse gas emissions and energy use associated with production of individual self-selected US diets. **Environmental Research Letters** 13: 044.004.

Hémery Daniel, Bebie JC, Deléage JP (2018) **Uma História da Energia**. Disponível em: <<http://abnt.org.br/paginampe/biblioteca/files/upload/anexos/pdf/4ee5b810af4a3aee073ab89f0a573a1a.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2018.

IEA (2009) **Transport, Energy and CO₂**. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

IEA (2011) **World energy outlook 2011**. Paris, 659p.

IEA (2018) **Key World Energy Statistics 2018**. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/2291?filename=key_world_2018.pdf>.

Acesso em: 09 out. 2018.

Iniciativa Verde (2018) Disponível em: <<http://www.iniciativaverde.org.br/calculadora/index.php#calculadora>>. Acesso em: 29 set. 2018.

IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

Kalpakjian S (1995) **Manufacturing engineering and technology**. 3.ed. New York: Addison-Wesley Publishing Co.

Kimming M, Sundberg C, Nordberg Å, Baky A, Bernesson S, Hansson PA (2015) Replacing fossil energy for organic milk production - potential biomass sources and greenhouse gas emission reductions. **Journal of Cleaner Production** 106: 400-407.

Kroos KA, Potter MC (2015) **Termodinâmica para Engenheiros**. São Paulo: CENGAGE LEARNING.

Kureski R, Moreira VR, Veiga CP (2016) Assessment of the Economic Structure of Brazilian Agribusiness. **The Scientific World Journal** 2016: 1-10.

Leite PR (2009) **Logística Reversa**: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

Lemos ADC (1998) **A Produção mais Limpa como geradora de inovação e competitividade**: o caso da fazenda Cerro do Tigre. Dissertação (mestrado). Departamento de Administração, UFRGS. Porto Alegre.

Liker JK (2005) **O Modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman.

Macedônio AC, Picchioni SA (1985) **Metodologia para cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, Depto. de Economia Rural, 95p.

Machado AR, Abrão AM, Coelho RT, da Silva MB (2015) **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher.

Mantoam EJ, Romanelli TL, Gimenez LM (2016) Energy demand and greenhouse gases emissions in the life cycle of tractors. **Biosystems Engineering** 151: 158-170.

Martins PG, Laugeni FP (2005) **Administração da produção**. 2.ed. São Paulo: Saraiva.

Meio Ambiente (2012) **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

Ministério de Minas e Energia (2018) **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico**. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

Ministério de Minas e Energia (2019) **Balço Energético Nacional 2018**: relatório síntese ano base 2018. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

Ministério do Meio Ambiente (2017) **Ecodesign**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7654-ecodesign>>. Acesso em: 1º nov. 2017.

Ministério do Meio Ambiente (2018) **Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/emiss%C3%B5es-de-gee>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

Molion LCB (2008) **Aquecimento global**: uma visão crítica. São Paulo: Associação Brasileira de Climatologia (ABClimate), Rev. Bras. Climatologia. v. 4, n. 3 e 4, p.07-24.

Moran MJ. et al. (2013) **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Rio de Janeiro: LTC.

Mosen C, Weinert N (2015) Process chain evaluation for an overall optimization of energy efficiency in manufacturing - The welding case. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing** 34: 44-51.

Mott RL (2015) **Elementos de máquinas em projetos mecânicos**. 5.ed. São Paulo: Pearson.

National Research Council (2011) **Climate stabilization targets: emissions, concentrations, and impacts over decades to millennia**. Washington: National Academic Press, 286p.

Norton RL (2013) **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman.

Ohno T (1997) **O Sistema Toyota de Produção – Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman.

Oliveira JFG, Alves SM (2007) **Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental**. *Produção*, v. 17, n. 1, p. 129-138, jan./abr.

Parthiban A, Ravikumar R, Abdul Zubar H, Duraiselvam M (2014) Experimental investigation of CO2 laser cutting on AISI 316L sheet. **Journal of Scientific & Industrial Research** 73: 387-393.

Pedroso GM (2015) **Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE) de Sistemas de Vedação de Habitações**. 226f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - UNB, Brasília.

Reficco E, Gutiérrez R, Jaén MH, Auletta N (2018) Collaboration mechanisms for sustainable innovation. **Journal of Cleaner Production** 203: 1.170-1.186.

Rivera JL, Lallmahomed A (2016) Environmental implications of planned obsolescence and product lifetime: a literature review. **International Journal of Sustainable Engineering** 9: 119-129.

Royston S, Selby J, Shove E (2018) Invisible energy policies: A new agenda for energy demand reduction. **Energy Policy** 123: 127-135.

Sandler T (2017) Environmental cooperation: contrasting international environmental agreements. **Oxford Economic Papers** 69(2): 345-364.

SEEG (2018) **Contexto**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/contexto/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

Serra GE, Heezen AM, Moreira JR, Goldemberg J (1979) **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 86p.

Sharma A, Yadava V (2018) Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials – A review. **Optics and Laser Technology** 98: 264-280.

Simons D, Zokaei K (2005) Application of lean paradigm in red meat processing. **British Food Journal** 107:4: 192-211.

Singer S F (2003) Letter to the Editor. **Science** 301: 595-596.

Singh D, Chattopadhyaya S (2015) Numerical and Infrared Mapping of Temperature in Heat Affected Zone during Plasma Arc Cutting of Mild Steel. **International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering** 9: 1375-1380.

Slack N et al. (2018) **Administração da produção**. 8.ed. São Paulo: ATLAS.

Souza EG, Milanez LF (1996) Conservação de energia no uso de tratores na agricultura. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 19, 1996, Piracicaba. Anais... Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 712-726.

Sposto RM, Paulsen JS (2014) Energia Incorporada em Habitações de Interesse Social na Fase de Pré-uso: o caso do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil. **Oculum Ensaios** 1: 39-50.

Tavares V, Lacerda N, Freire F (2019) Embodied energy and greenhouse gas emissions analysis of a prefabricated modular house: The “Moby” case study. **Journal of Cleaner Production** 212: 1.044-1.053.

Tavares SF (2006) **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis.

Tercio R (2002) **Eficiência energética de um sistema eólico isolado**. UNICAMP, Campinas: 2002. Disponível em <<https://www.feagri.unicamp.br/energia/agreener2002/jdownloads/pdf/0100.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

Transportes 2017 (2017) **Anuário Estatístico de Transportes**. Disponível em: <http://www.infraestrutura.gov.br/images/BIT_TESTE/Publica%C3%A7oes/Transportes_2017.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

Transportes 2018 (2018) **Anuário Estatístico de Transportes**. Disponível em: <http://www.infraestrutura.gov.br/images/BIT_TESTE/Publica%C3%A7oes/Transportes_2018.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

Trent EM (1991) **Metal Cutting**. 3.ed. England: BUTTERWORTH HEINEMANN.

Valor Econômico (2017) **Preço do carbono tem de saltar para cumprir acordo do clima**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/internacional/4984338/preco-do-carbono-tem-de-saltar-para-cumprir-acordo-do-climadiz-estudo>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

Veiga JPS, Romanelli TL, Gimenez LM, Busato P, Milan M (2015) Energy embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 6, p.471-477.

Womack JP, Jones DT, Roos D (1990) **Machine that Changed the World**. Simon and Schuster.

Yu CM (2004) **Sequestro de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume.