

205

Ecoeficiência no Setor Produtivo de Base Florestal: uma Análise na Perspectiva DEA

Doutor/Ph.D. Robert Armando Espejo [ORCID iD¹](#), Doutor/Ph.D. Michel Constantino [ORCID iD²](#),
Doutor/Ph.D. Rildo Araújo Vieira [ORCID iD³](#), Doutor/Ph.D. Reginaldo Brito da Costa [ORCID iD²](#)

¹UFMS, Campo Grande, MS, Brazil. ²UCDB, Campo Grande, MS, Brazil. ³IFMT, Barra do Garça, MT, Brazil

Doutor/Ph.D. Robert Armando Espejo

[0000-0002-0155-4465](#)

Programa de Pós-Graduação/Course

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

Doutor/Ph.D. Michel Constantino

[0000-0003-2570-0209](#)

Programa de Pós-Graduação/Course

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

Doutor/Ph.D. Rildo Araújo Vieira

[0000-0002-8748-0080](#)

Programa de Pós-Graduação/Course

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

Doutor/Ph.D. Reginaldo Brito da Costa

[0000-0002-5677-393X](#)

Programa de Pós-Graduação/Course

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

Resumo/Abstract

A silvicultura é um setor com crescimento exponencial nos países com maior extensão territorial e produtiva do planeta, proporcionando externalidades econômicas e ambientais -as quais são objeto de pesquisa e política pública. Neste contexto, o objetivo do presente artigo é investigar a ecoeficiência das empresas que atuam no setor de papel e celulose, considerando os dados da plataforma Thomson Reuters de 1999 a 2019, de 1.038 empresas. Para a análise, empregou-se a Análise por Envoltória de Dados (DEA), a partir de diferentes modelos de fronteira, modelo de eficiência econômica, com inputs despesas operacionais e ativo total e output receita; modelo de eficiência ambiental, com inputs número de funcionários e uso de energia e output emissão de CO₂; modelo de ecoeficiência, com inputs despesas operacionais e ativo total e output emissão de CO₂ dividida pela receita. Os resultados



apontam que os anos recentes foram mais favoráveis à ecoeficiência das empresas do setor de papel e celulose, destacando-se a África do Sul e a Suécia como países mais ecoeficientes. A empresa sueca BillerudKorsnas revelou-se supereficiente em termos de ecoeficiência, em 6 dos 11 anos investigados. Conclui-se que a eficiência ambiental, atrelada à eficiência econômica, tem sido pauta de preocupação mais recente por parte das empresas do setor, e a evidenciação de variáveis ambientais torna-se um gargalo para a análise com maior amplitude das empresas de papel e celulose.

Modalidade/Type

Artigo Científico / Scientific Paper

Área Temática/Research Area

Tópicos Especiais de Contabilidade (TEC) / Special Topics in Accounting



Ecoeficiência no Setor Produtivo de Base Florestal: uma Análise na Perspectiva DEA

RESUMO

A silvicultura é um setor com crescimento exponencial nos países com maior extensão territorial e produtiva do planeta, proporcionando externalidades econômicas e ambientais - as quais são objeto de pesquisa e política pública. Neste contexto, o objetivo do presente artigo é investigar a ecoeficiência das empresas que atuam no setor de papel e celulose, considerando os dados da plataforma Thomson Reuters de 1999 a 2019, de 1.038 empresas. Para a análise, empregou-se a Análise por Envoltória de Dados (DEA), a partir de diferentes modelos de fronteira, modelo de eficiência econômica, com inputs despesas operacionais e ativo total e output receita; modelo de eficiência ambiental, com inputs número de funcionários e uso de energia e output emissão de CO₂; modelo de ecoeficiência, com inputs despesas operacionais e ativo total e output emissão de CO₂ dividida pela receita. Os resultados apontam que os anos recentes foram mais favoráveis à ecoeficiência das empresas do setor de papel e celulose, destacando-se a África do Sul e a Suécia como países mais ecoeficientes. A empresa sueca BillerudKorsnas revelou-se supereficiente em termos de ecoeficiência, em 6 dos 11 anos investigados. Conclui-se que a eficiência ambiental, atrelada à eficiência econômica, tem sido pauta de preocupação mais recente por parte das empresas do setor, e a evidenciação de variáveis ambientais torna-se um gargalo para a análise com maior amplitude das empresas de papel e celulose.

Palavras-chave: Ecoeficiência, Papel e Celulose, Análise por Envoltória de Dados.

1 INTRODUÇÃO

Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China apresentam, respectivamente, as maiores áreas florestais do mundo (FAO, 2015), evidenciando o papel da silvicultura para a economia destes países. Além disso, a produção de celulose e de papel tem se destacado como significativa fonte de exportação de diversos países (SUSILAWATI & KANOWSKI, 2020). Portugal, por exemplo, tem, nesta indústria, aproximadamente 5% do total de sua receita cambial, cuja produção escoou para mais de 140 países (FERREIRA et al., 2019).

Economicamente relevante, a silvicultura também é ambientalmente importante, pois a área plantada atua diretamente no sequestro de carbono. Contudo, as empresas deste setor também são poluidoras, por meio dos resíduos emitidos, energia consumida, proveniente de combustíveis fósseis, consumo de água e emissão de gases de efeito estufa, por exemplo. Desta forma, a eficiência econômica deve estar atrelada à eficiência ambiental, gerando a denominada ecoeficiência das empresas do setor.

Diante do contexto exposto, o objetivo do artigo em questão é investigar a ecoeficiência das empresas que atuam no setor de papel e de celulose. Apesar de artigos em âmbito nacional e internacional fazerem menção à ecoeficiência no setor da silvicultura em casos específicos (a exemplo do estudo croata de Sporic et al., 2009), esta investigação possui caráter inovador, ao abordar o conceito de ecoeficiência materializado na silvicultura, de uma perspectiva mundial e longitudinal (2009 a 2019), evidenciando comportamentos históricos e, a partir destes, destacando-se tendências nesta indústria, no Brasil e no mundo.



A preocupação ambiental tem sido assunto principal de discussões sociais no âmbito teórico e pauta de proposições por meio de acordos e normativos legais; no entanto, tal preocupação deve estar concretizada no campo prático, por meio de análises que consigam unir desempenho econômico, visando à continuidade organizacional com o respeito ao meio ambiente. Conforme Vellani e Ribeiro (2009, p. 27), a integração entre estes fatores é denominada ecoeficiência, pois instituições “que não mantêm ações para atuar sobre seus próprios resíduos não são capazes de integrar desempenho ecológico e econômico. [...] uma ação ecológica somente aumenta a sustentabilidade quando integra desempenho econômico e ecológico.”

Koskela (2015) destaca que, apesar de a integração entre desempenho ambiental e econômico estar subjacente à definição de ecoeficiência, não há um consenso a respeito da definição operacional deste conceito. No seu trabalho, englobando indústrias do ramo da silvicultura na Finlândia, e a técnica de painel Delphi, indicadores de ecoeficiência foram determinados com base em avaliação de especialistas. Como agenda de pesquisa, nesse mesmo estudo, consta a importância de comparação de empresas do ramo, não somente finlandesas, mas também do mundo todo, usando dados públicos.

Nessa vertente de resposta, encontra-se o artigo. Busca-se, com base em variáveis de ecoeficiência (relativas a desempenho econômico e ambiental), responder à seguinte questão: No setor de silvicultura no mundo, quais empresas são mais ecoeficientes? Ou num âmbito mais amplo, quais empresas do setor de silvicultura, que países e qual o período podem ser considerados mais ecoeficientes, considerando o escopo temporal de 2009 a 2019?

O estudo apresenta uma revisão sistemática para respaldar as variáveis que sustentam os conceitos de eficiência ambiental, eficiência econômica e ecoeficiência, bem como emprega a técnica de Análise por Envoltória de Dados (DEA), utilizando-se de dados secundários da Plataforma Thomson Reuters de 1.038 empresas de papel e celulose no mundo, no período 2009 a 2019; rodados no software R. Para a análise, serão aplicados três modelos (modelo de eficiência econômica, modelo de eficiência ambiental e modelo de ecoeficiência), usando como inputs variáveis como despesas operacionais, ativo total, número de funcionários e uso de energia. Como saídas, serão destacadas a receita, a emissão de CO₂ e a emissão de CO₂, ponderada pela receita.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Ecoeficiência trata-se de um conceito que combina eficiência econômica e eficiência ambiental (VELLANI e RIBEIRO, 2009). Há estudos, no setor de silvicultura, que apresentam um foco, outro, ou ambos combinados, resultando no conceito de ecoeficiência. Os tópicos a seguir revelam os estudos e variáveis existentes, relativos à eficiência ambiental, à eficiência econômica e à ecoeficiência, não somente no setor de papel e celulose, mas também provenientes de revisão sistemática de artigos mais citados nestas temáticas.

2.1 Eficiência Ambiental

Os estudos relacionados à eficiência ambiental selecionados previamente por revisão sistemática abordam, em sua maioria, estudos de caso de países específicos. Mandal e Madiiswaran (2010), por exemplo, tiveram como objetivo medir a eficiência ambiental em uma estrutura de produção conjunta de resultados desejáveis e indesejáveis, da indústria de cimento indiana. Já, Xie et al. (2012) empregaram o termo eficiência ambiental para avaliar o desempenho do sistema de energia da China, em termos ambientais.

Chang et al. (2013) desenvolveram, em estudo, uma forma de medir a eficiência ambiental do setor de transporte na China, com base nas emissões de CO₂. Ainda na China, Wang et al. (2015) investigaram os mecanismos de proteção ambiental e o desenvolvimento econômico de 211 cidades da China, a partir da perspectiva da eficiência ambiental. Na Suécia, Blomberg et al. (2012) forneceram uma avaliação empírica do potencial de melhoria da eficiência da eletricidade na indústria sueca de celulose e papel, comparando-o com o resultado das políticas de eficiência energética no país. Também na indústria de papel e celulose, Fleiter et al. (2012) avaliaram opções para melhorar eficiência energética na indústria de papel e celulose alemã, até o ano de 2035.

Os estudos investigados que empregaram Análise por Envoltória de Dados como técnica usaram inputs e outputs diversos para mapear a eficiência ambiental. Cuesta et al. (2009) relacionaram a capacidade de geração na usina, combustível homogêneo e unidade de trabalho (inputs) ao Preço médio como output. Mandal e Madiieswaran (2010) usaram como inputs mão de obra, capital (fixo), materiais, energia e como output, emissão de CO₂. Sueyoshi e Goto (2011) relacionaram total de ativos e custo do trabalho (mão de obra) como inputs e Vendas Totais e número de clientes como outputs.

Chang et al. (2013) associaram mão de obra, investimento fixo e volume de energia consumida (inputs) e Produto Interno Bruto (PIB) e emissões de CO₂, como outputs. Li et al. (2013) usaram, como inputs, número de pessoas ocupadas, investimento de capital e consumo de energia e, como outputs, PIB e poluentes emitidos. Song et al. (2018) empregaram, como inputs, consumo de eletricidade e ativos sociais fixos brutos; e como outputs, Descargas de gases de escape, águas residuais e resíduos sólidos, valor total de produção.

Para o modelo de eficiência ambiental, esse estudo usará como inputs as variáveis número de funcionários, tal como Mandal e Madiieswaran (2010); Chang et al. (2013); Li et al. (2013); Vlontzos et al. (2014); Chen e Jia (2017), dentre outros, e o uso de energia, como Mandal e Madiieswaran (2010); Chang et al. (2013); Song et al. (2018), dentre outros; e como output, a variável emissão de CO₂, à semelhança de Mandal e Madiieswaran (2010); Chang et al. (2013); Li et al. (2013); Zhou et al. (2013); Vlontzos et al. (2014), dentre outros.

2.2 Eficiência Econômica

Svyntukh (2015, p. 156) destaca, em linhas gerais, que “de uma perspectiva econômica, o uso de recursos florestais é uma organização de atividades que visa à extração e ao efetivo uso dos recursos das propriedades florestais”. Investigações têm sido realizadas no sentido de comparar eficiências econômicas entre países, respaldando investidores. A pesquisa de Brukas & Weber (2009), por exemplo, comparou a eficiência econômica de dois países, Alemanha e Suécia, que concentram esforços em práticas de manejo florestal distintas: a prática alemã foca o manejo voltado ao volume florestal; já, o enfoque escandinavo busca gerenciar o manejo para o lucro.

Os estudos que empregam eficiência econômica como temática principal e se utilizam de Análise por Envoltória de Dados como técnica usam inputs e outputs diversos. Alden, Proops e Gray (1998) relacionaram uso total direto da terra, necessário para produzir um nível desejado de produção física (input) e produção total (output). A relação entre custos para produzir produtos e serviços (input) e valor gerado pelos produtos e serviços produzidos (output) foi estudada por Ron e Padilla (1999); Svyntukh (2015); e Hongguang et al.(2017).



Kallio (2002) investigou a relação entre madeira, mão de obra e energia, e materiais que não é madeira (inputs) e preço de mercado do papel e celulose (output).

Petroni e Preti (2008) usaram mão de obra como insumo e preço local do produto como output. Brukas e Weber (2009) relacionaram custos relevantes (input) e receitas (output). Gonzalez-Benecke et al. (2014) relacionaram custo (input) e valor esperado do investimento como saída. Já, o estudo de Yiwen & Kant (2020) mediu eficiência econômica de forma qualitativa (por não ter o histórico destas informações), a partir das seguintes variáveis: capacidade de investimento e custos de gerenciamento da silvicultura, e a relação entre custo e receita, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno.

Para o modelo de eficiência econômica, esse estudo usará, como inputs, as variáveis despesas operacionais e ativo total, semelhante a Yang et al. (2015) e a Augustynczyk et al. (2018); e como output, a variável receita, a exemplo de Yang et al. (2015) e Petrov et al. (2019).

2.3 Ecoeficiência

Estudos relativos à ecoeficiência consideram eficiência econômica e ambiental. Basset-Mens et al. (2009), por exemplo, realizaram a comparação de ecoeficiência entre sistemas de produção de leite convencional e orgânico. Iribarren et al. (2011), ainda na vertente do agronegócio, tiveram como objetivo de pesquisa realizar a avaliação de ecoeficiência de um grande número de fazendas leiteiras.

Já, Frischknecht (2010) discute as duas abordagens (econômica e ambiental) de três perspectivas diferentes: (1) o tipo de conceito de sustentabilidade atendido; (2) a percepção de risco envolvida; e (3) os indicadores de ecoeficiência resultantes das duas abordagens. Guenster et al. (2011), em artigo, analisaram a relação entre ecoeficiência e desempenho financeiro, de 1997 a 2004.

As variáveis usadas como input (I) e output ou produto, nos estudos de ecoeficiência que empregam a técnica DEA, são os seguintes: relação entre (I) impactos ambientais e (P) preço de varejo (GUTIERREZ et al., 2009); relação entre (I) Diesel, Eletricidade, Água, Silagem de plástico, Silagem de milho, Concentrado, Silagem de grama, Alfafa e (P) quantidade de produto produzido (IRIBARREN et al., 2011); relação entre (I) mão de obra, capacidade instalada, energia e materiais e (P) CO₂ e quantidade de produção (OGGIONI et al., 2011); relação entre (I) sementes, nitrogênio, fósforo, pesticidas, energia e (P) vendas, subsídios associados, pagamento agroambientais, valores de eficiência (PICAZO-TADEO et al., 2011); relação entre (I) energia consumida; fertilizantes, pesticidas, mão de obra, energia, terras fixas e (P) energia fixada e exportada pela produção colhida, produção agrícola (GOMEZ-LIMON et al., 2012); relação entre (I) Pressão ambiental e (P) valor adicionado e resultado líquido (PICAZO-TADEO et al., 2012).

Adicionalmente, apresenta-se a relação entre (I) quantidade anual de diesel consumida, cascos de madeira e aço, construção do LCIA, fase de uso do LCIA, fase de manutenção do LCIA e (P) produtos desembarcados (AVADI, 2014); relação entre (I) poluentes ambientais e (P) valor da produção e PIB (HUANG et al., 2014); relação entre (I) consumo de energia, material, água, emissões de gases de efeito estufa, danos na camada de ozônio e (P) Indicadores de PIB, quantidade de produtos por serviços produzidos, vendas líquidas e valor agregado (YIN et al., 2014); relação entre (I) uso de eletricidade, consumo de produtos químicos, produção de lodo e (P) kg de sólidos suspensos, água tratada, PO₄ removido (LORENZO-TOJA et al., 2015).

Para o modelo de ecoeficiência, esse estudo usará, como inputs, as variáveis despesas operacionais e ativo total, à semelhança de Oggioni et al. (2011) e de Chen and Jia (2017); e como output, a variável emissão de CO₂, ponderada pela receita, tal como o estudo de Picazo-Tadeo et al. (2011).

3 METODOLOGIA

A presente investigação consubstancia-se no paradigma ontológico positivista (BURREL; MORGAN, 1979), tendo como método de pesquisa dedutivo, e abordagem com relação ao problema de pesquisa quantitativo (COOPER; SCHINDLER, 2014). Por meio de pesquisa bibliográfica (e conseqüente revisão sistemática) e análise documental das empresas da indústria da silvicultura mundial, usando dados longitudinais de 2009 a 2019, de variáveis ambientais e econômicas, dispostas na base de dados da Plataforma Thomson Reuters, realizou-se uma análise descritivo-explicativa da ecoeficiência de tais empresas.

A revisão sistemática realizada resultou em um total de 27 artigos sobre ecoeficiência, no período de 2009 a 2019, com um total de 50 ou mais citações (Quadro 1). Os estudos, ora apresentados, referem-se a pesquisas empíricas ou a modelos matemáticos que envolvem os construtos analisados, empregando o modelo DEA. O modelo DEA define inputs e outputs para estimar a fronteira de eficiência, e nas pesquisas que utilizam o DEA como metodologia, as variáveis empregadas na análise de ecoeficiência e eficiência ambiental utilizam várias formas de análise.

Quadro 1 - Artigos relacionados com DEA e suas variáveis

Year	Sources (Year)	variáveis de entrada/insumos	variáveis de saída/produtos
2009	Gutierrez, et al. (2009)	impactos ambientais	preço de varejo
2009	Cuesta, et al. (2009)	capacidade de geração na usina, combustível homogêneo e unidade de trabalho	preço médio
2009	Halkos and Tzeremes (2009)	emprego total e estoque total de capital	PIB e CO ₂
2010	Mandal and Madiieswara (2010)	mão de obra, capital (fixo), materiais, energia	CO ₂
2011	Iribarren et al. (2011)	Diesel, Eletricidade, Água, Silagem de plástico, Silagem de milho, Concentrado, Silagem de grama, Alfafa	Quantidade de produtos produzidos
2011	Oggioni et al. (2011)	mão de obra, capacidade instalada, energia e materiais	CO ₂ e produção de cimento
2011	Picazo-Tadeo et al. (2011)	sementes, nitrogênio, fósforo, pesticidas, energia	vendas, subsídios associados, pagamento agroambientais, valores de eficiência
2011	Sueyoshi and Goto (2011)	Entrada: Total de ativos; Custo do trabalho (MO)	Resultado desejável 1= vendas totais; Resul.Des.2= n.clientes
2012	Gomez-Limon et al. (2012)	energia consumida; fertilizantes, pesticidas, mão de obra, energia, terras fixas	energia fixada e exportada pela produção colhida, produção agrícola

2012	Picazo-Tadeo et al. (2012)	Pressão ambiental.	valor adicionado, resultado líquido
2012	Xie et al. (2012)	Capacidade instalada (dados de capital e equipamentos), mão de obra (ou número de funcionários), combustível e energia auxiliar	número de clientes e PIB
2012	Blomberg et al. (2012)	Insumos: quantidade e valor de mão de obra, eletricidade e óleo	produto: a produção é medida em tonelada
2013	Chang et al. (2013)	Trabalho (MO); capital (investimento fixo) e volume de energia consumida	PIB, emissões de CO ₂
2013	Li et al. (2013)	número de pessoas ocupadas, investimento de capital e consumo de energia	PIB e poluentes
2013	Wang et al. (2013b)	estoque de capital, força de trabalho e consumo de energia	PIB, dióxido de carbono(CO ₂) e Enxofre dióxido de carbono(SO ₂)
2013	Zhou et al. (2013)	mão de obra e capital(investimentos em AF) e consumo de carvão	produção líquida de energia elétrica, dióxido de carbono, dióxido de enxofre e óxido nítrico
2013	Song (2013)	consumo total de energia, o total de ativos fixos e a mão-de-obra são os principais fatores básicos para o desenvolvimento econômico	o PIB é uma saída desejável; com isso o PIB pode gerar resultados indesejáveis como : emissões, efluentes e resíduos sólidos (lixo)
2014	Avadi (2014)	quantidade anual de diesel consumida, cascos de madeira e aço, construção de LCIA, fase de uso do LCIA, fase de manutenção do LCIA	Produtos desembarcados
2014	Huang et al. (2014)	poluentes ambientais	valor da produção, PIB
2014	Yin et al. (2014)	consumo de energia, material, água, emissões de gases de efeito estufa, danos na camada de ozônio	indicadores de PIB, quantidade de produtos por serviços produzidos vendas líquidas e valor agregado
2014	Chang et al. (2014)	Consumo de combustível e número de funcionários	receita, lucros e emissões de carbono
2014	Vlontzos et al. (2014)	energia consumida, número de empregados e capital	CO ₂ , nitrogênio bruto e fósforo
2014	Wu et al. (2014)	investimento total em AF e consumo de eletricidade	PIB e dióxido de nitrogênio
2015	Lorenzo-Toja et al. (2015)	uso de eletricidade, consumo de produtos químicos, produção de lodo	kg de sólidos suspensos, água tratada, PO ₄ removido.

2015	Wang et al. (2015)	trabalho, capital e energia como variáveis de entrada; onde o trabalho é o emprego na cidade no final do ano; capital é o investimento total de ativos fixos; e energia é o consumo total de energia	desenvolvimento econômico é uma saída final importante em uma cidade; portanto, o PIB é selecionado para representar produtos desejáveis. Resultados indesejáveis geralmente se referem a poluentes ambientais, incluindo águas residuais, gases residuais e resíduos residuais. Neste artigo, o dióxido de enxofre (SO ₂) é selecionado como a saída indesejável representativa
2016	Chen and Jia (2017)	Entrada: X1: Número total de funcionários da indústria (NE), X2: Consumo total de energia (CE), X3: Investimento total em ativos fixos da indústria (FA)	Saída desejável: Y1 ^g : Produto interno bruto na região (PIB); Saídas indesejáveis: Y1 ^b : Emissões totais de dióxido de enxofre (ESD); Y2 ^b : Resíduos sólidos industriais (ISD)
2018	Song (2018)	consumo de eletricidade e os ativos sociais fixos brutos foram tomados como índices de entrada	descargas de gases de escape, águas residuais e resíduos sólidos foram consideradas índices de produção indesejáveis; e o valor total da produção foi considerado o índice de produção desejável

Fonte: Os autores (2020).

Com a realização da revisão sistemática, foi possível identificar diversas variáveis que estão sendo utilizadas para cálculos da metodologia do DEA sobre ecoeficiência. Nas pesquisas desenvolvidas, as variáveis que mais se utilizam nos trabalhos se relacionam com os seguintes itens: consumo de energia, número de funcionários, investimento em ativos fixos, PIB, produção e emissões de dióxido de carbono. Não menos importante, outras também são referências: materiais, consumo de carvão, consumo de água, fertilizantes, pesticidas, emissões de óxido de nitrato, enxofre, valor adicionado, vendas líquidas, lucro, entre outros.

A base de dados apresentou um número superior a aproximadamente 70 variáveis, embora a maioria delas resultasse em um grande número de dados faltantes. Neste sentido, os pesquisadores tomaram a decisão de selecionar variáveis que tivessem um número igual ou maior a 110 observações, gerando um total de 1.038 empresas do setor, provenientes de 80 países. Este recorte resultou em 33 variáveis, sendo 16, na perspectiva econômica; e 17, no âmbito ambiental (Quadro 2).

Quadro 2 - Variáveis Componentes da Base de Dados do setor de Silvicultura – 2009 a 2019

Qtd.	Variáveis Econômicas	Qtd.	Variáveis Ambientais
var1	Receita Total (USD)	var17	Total de Uso de Energia para Receita (USD)
var2	Vendas Líquidas (USD)	var18	Uso Total de Energia (gigajoules)

var3	EBIT (USD)	var19	Energia Adquirida (gigajoules)
var4	Lucro Líquido Antes dos Impostos (USD)	var20	Total de Retirada de água (cubic meters)
var5	Empregados em período integral	var21	Total de emissões de CO ₂ ou equivalentes para vendas (USD) (tonnes/US dollars)
var6	Empregados média Prd/Prd	var22	Emissão de CO ₂ ou equivalentes
var7	Despesas trabalhistas e relacionadas (USD)	var23	Emissão de Água poluída
var8	Ativo Total Reportado (USD)	var24	Energia Comprada Diretamente
var9	Passivo Total (USD)	var25	Total Estimado de CO ₂ ou equivalentes
var10	Total de Passivo e Patrimônio Líquido (USD)	var26	Redução de Emissão de óxido de enxofre e óxido de nitrogênio (SOx e NOx)
var11	Total de Passivos Correntes (USD)	var27	Emissão de óxido de enxofre (SOx)(toneladas)
var12	Total de Ativos Correntes (USD)	var28	Emissão de óxido de nitrogênio (NOx)(tonel.)
var13	EBITDA (USD)	var29	ISO 14000 ou com certificado (SEM)
var14	Total de Custos de Vendas (USD)	var30	Despesas Ambientais (USD)
var15	Total de Despesas Operacionais (USD)	var31	Provisões Ambientais (USD)
var16	Total de Despesas com Vendas, Gerais e Administrativas (USD)	var32	Iniciativas de Investimentos Ambientais
		var33	Produtos Desenhados Ecologicamente

Fonte: Os autores (2020).

Diante das referências indicadas, provenientes da revisão sistemática e da disponibilidade de dados, serão estimadas, neste estudo, eficiência econômica, eficiência ambiental e ecoeficiência, considerando-se os modelos expressos nas seguintes Equações 1, 2 e 3 (Figura 1). Tais modelos foram rodados no software R.

<p>Modelo de Eficiência Econômica: $y = x_1 + x_2$ (1)</p> <p>Onde: y= receita x1 = despesas operacionais x2 = ativo total</p> <p>Modelo de Eficiência Ambiental: $y = x_1 + x_2$ (2)</p> <p>Onde: y= emissão de CO₂ x1= número de funcionários x2= uso de energia</p> <p>Modelo Ecoeficiência: $y = x_1 + x_2$ (3)</p> <p>Onde: y= emissão de CO₂/ Receita x1= despesas operacionais x2= ativo total</p>
--

Figura 1 – Equações do Modelo

Fonte: Os autores (2020)

A técnica de Análise por Envoltória de Dados (DEA) trabalha com a estatística não paramétrica. Segundo Banker, Charnes e Cooper (1984), esta modelagem matemática é empregada para analisar a eficiência de realizações de gestão ex post facto. Pressupõe-se, para além da eficácia (alcance dos objetivos) e da produtividade (melhor utilização dos recursos para a produção), a eficiência técnica, comparando-se a produtividade apresentada com aquela que poderia ser mais adequada. Tal medida de eficiência pode ser orientada ao

insumo/input (visa à sua redução) ou ao produto/output (visa ao seu aumento), considerada uma determinada Decision Making Unit (DMU).

A técnica DEA baseia-se em modelos matemáticos. Para Dellnitz, Kleine e Rödder (2018), os mais populares é a denominada CCR (das iniciais de seus criadores Charnes, Cooper e Rhodes) ou CRS (constant return to scale – retorno constante à escala) e a BCC (das iniciais dos criadores, Banker, Charnes e Cooper) ou VRS (variable returns to scale – retornos variáveis à escala). Adotou-se o modelo BCC, a exemplo de Mello et al. (2003) e Sporcic et al. (2009). Mello et al. (2003, p. 328) destacam que este é o modelo “que considera retornos variáveis de escala e não assume proporcionalidade entre inputs e outputs”. O BCC pode ser expresso conforme a equação da Figura 2. O presente artigo empregará o modelo BCC por apresentar equivalência ao resultado do estudo de Sporcic et al. (2009). A pesquisa destes autores, cujo objetivo consistiu em avaliar a eficiência das DMUs na silvicultura da Croácia, utilizou o DEA, baseado nos dois modelos (CCR e BCC). Usando uma amostra de 48 organizações florestais croatas, 4 variáveis de input e 4 variáveis de output; o estudo apresentou como conclusão que o modelo BCC atingiu uma eficiência relativa (0,90) superior à modelagem CCR (0,82).

$$\begin{aligned} \max ho &= \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} + u^* \\ \text{sujeito a} & \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &\leq 0, \quad k = 1, \dots, s \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall x, y \\ u^* &\in R \end{aligned}$$

Figura 2 – Modelo BCC empregado na análise

Fonte: Mello et al. (2003, p. 328)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra inicial envolvendo todos os anos foi composta por 8.263 observações constatadas para variável de receita total, e à medida que eram escolhidos os modelos de pesquisas, foi necessário o tratamento e a retirada de dados incompletos. As abordagens na escolha das entradas e saídas dos três modelos especificados anteriormente foram apoiadas pelos autores Yang et al. (2015); Augustynczyk et al. (2018); e Petrov et al. (2019) (modelo econômico). Mandal e Madiieswaran (2010); Chang et al. (2013); Li et al. (2013); Vlonzos et al. (2014); Chen e Jia (2017); e Song et al. (2018) (modelo ambiental); e Picazo-Tadeo et al. (2011); Oggioni et al. (2011); e Chen and Jia (2017) (modelo de ecoeficiência).

A seguir, relata-se a estatística descritiva das variáveis a cada tipo de modelo. A estatística descritiva do modelo econômico é apresentada na Tabela 1, demonstrando-se o comportamento das variáveis, no período de 11 anos. No ano de 2012, o resultado da média sinalizou a maior queda de receitas e despesas, respectivamente, 559,87 e 517,63 (em milhões de dólares). No ano de 2009, foi registrada a maior média de valor de ativo (983,13 milhões de dólares); e o menor valor médio de investimento foi registrado no ano mais recente da análise (2019), com 756,69 milhões de dólares de ativo.

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para medição da eficiência econômica (As colunas de Receita até o Ativo total estão em US milhões)

Year	n	Desc.Stat.	Receita	Desp.Op.	Ativo
------	---	------------	---------	----------	-------

2009	806	mean	684,66	633,48	983,13
		sd	1931,14	1774,20	3109,39
2010	824	mean	670,51	610,45	901,09
		sd	1901,17	1725,32	2726,00
2011	828	mean	613,54	562,49	833,34
		sd	1752,46	1607,86	2570,76
2012	813	mean	559,87	517,63	794,60
		sd	1599,71	1492,70	2511,53
2013	792	mean	571,10	529,19	777,10
		sd	1654,60	1523,39	2436,10
2014	758	mean	631,20	592,69	811,19
		sd	1844,13	1727,57	2405,73
2015	731	mean	638,55	598,53	847,75
		sd	1884,41	1765,32	2584,86
2016	693	mean	658,60	625,09	866,69
		sd	1913,91	1838,09	2646,83
2017	666	mean	648,94	609,02	837,47
		sd	1928,69	1814,03	2515,54
2018	644	mean	605,61	558,54	788,71
		sd	1804,35	1675,34	2347,90
2019	626	mean	563,12	539,44	756,69
		sd	1704,55	1638,95	2308,50

Fonte: Os autores (2020)

Na Tabela 2, são apresentados os resultados do modelo de eficiência ambiental. A variável relacionada à quantidade de funcionários apresentou a menor e maior média, respectivamente, em 2016 e 2017, chegando à quantidade de 16.030 e 20.244 empregados. Em relação à variável de emissões equivalentes de CO₂, o menor e maior, respectivamente, foram também 2016 e 2017, 1.919.081 e 3.004.657 de toneladas. Quanto ao uso de energia, o ano de 2012 foi o período em que mais se empregou energia, chegando a 83.499.944 gigajoules. No decorrer dos anos seguintes, houve redução no consumo de energia e, em 2016, utilizaram-se 51.272.682 gigajoules, sendo o menor valor entre os períodos.

Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para medição da eficiência ambiental. As colunas de n.func. (em quantidade), CO₂ (em toneladas) e uso de energia (em gigajoules)

Year	n	Desc.Stat.	n.func.	CO ₂	ENERGIA
2009	43	Mean	16.797	2.321.588	71.968.757
		Sd	13.874	2.747.322	91.500.386
2010	39	Mean	17.532	2.362.000	73.782.345
		Sd	12.955	2.821.475	92.581.293
2011	34	Mean	16.452	2.063.155	71.264.272
		Sd	11.586	2.374.373	93.445.998
2012	27	Mean	17.790	2.779.114	83.499.944
		sd	11.955	2.823.082	99.034.546
2013	26	mean	16.603	2.314.139	75.325.393
		sd	11.196	2.328.796	90.857.472

2014	24	mean	17.975	2.252.260	70.931.785
		sd	10.967	2.234.972	93.651.264
2015	19	mean	16.909	2.274.217	54.326.416
		sd	10.501	2.427.603	56.178.812
2016	20	mean	16.031	1.919.081	51.272.682
		sd	10.063	2.211.253	71.544.168
2017	19	mean	20.244	3.004.657	83.389.520
		Sd	14.706	4.037.150	116.487.740
2018	20	Mean	16.744	2.397.420	64.584.176
		Sd	10.878	2.371.486	77.619.574
2019	17	Mean	16.572	2.245.419	65.625.828
		Sd	12.078	2.338.314	87.176.324

Fonte: Os autores (2020).

A Tabela 3 apresenta o modelo de ecoeficiência. Tomando como base o resultado da média, o ano de 2010 sinalizou a menor quantidade de ativos (6162 milhões de dólares) e o maior valor foi alcançado em 2015 (7744 milhões de dólares). A variável de despesas operacionais teve, no ano de 2009, o menor valor, 4007 milhões de dólares; e em 2017, obteve o maior valor (5600 milhões de dólares), ano este em que também se obteve a maior variabilidade dos dados, chegando a 4808 milhões de dólares, demonstrando que os dados apresentam alto distanciamento da média. A variável CO2 (toneladas) e receitas (US\$) foram relacionadas e identificou-se que, em relação às vendas realizadas em cada ano, o período que proporcionalmente mais teve emissão de CO2 foi no ano de 2012, na quantidade de 0,000471(t/US\$); e o ano em que menos se emitiu CO2 foi em 2017, com a quantia de 0,000325 (t/US\$).

Tabela 3 - Estatística descritiva(DS) das variáveis utilizadas para medição da ecoeficiência. As colunas de Despesas Operacionais e Ativo total estão em US milhões

Year	n	DS	CO2/Receita	Despesas Operacionais	Ativo
2009	81	mean	0,000446	4007,01	6261,04
		sd	0,000415	3961,39	7064,08
2010	72	mean	0,000382	4283,98	6162,31
		sd	0,000361	4036,25	6536,34
2011	62	mean	0,000363	4407,84	6367,54
		sd	0,000329	3876,96	6466,00
2012	56	mean	0,000471	4217,23	6597,35
		sd	0,000461	3642,61	6548,47
2013	52	mean	0,000397	4558,43	6761,41
		sd	0,000348	3731,58	6420,41
2014	50	mean	0,000369	5034,29	6788,36
		sd	0,00035	4213,11	5957,38
2015	45	mean	0,000353	5452,44	7744,56
		sd	0,000285	4405,79	6587,47
2016	44	mean	0,000353	5359,48	7497,53
		sd	0,000259	4580,50	6758,79
2017	38	mean	0,000325	5600,42	7325,27

		sd	0,000236	4808,80	6538,74
2018	36	mean	0,000343	5227,73	6961,33
		sd	0,00022	4539,02	6106,22
2019	31	mean	0,000361	5202,62	7046,76
		sd	0,000203	4680,17	6451,97

Fonte: Os autores (2020).

A eficiência obtida pelas empresas do setor da silvicultura é apresentada em cada modelo, nas próximas tabelas, por meio da estatística descritiva, no período de 2009 a 2019. O método utilizado foi o BCC, com orientação a output. A Tabela 4 resume a eficiência pelo modelo econômico.

Tabela 4- Estatística descritiva da eficiência – Modelo de Eficiência Econômica

Year	n.	Mean	Median	Std.Dev	Min	Max
2009	806	0,72111	0,76235	0,18830	0,0003053	1
2010	824	0,72005	0,74235	0,17360	0,0007048	1
2011	828	0,74844	0,78065	0,17073	0,0010047	1
2012	813	0,64188	0,63388	0,15486	0,0011437	1
2013	792	0,65878	0,70196	0,21084	0,0016080	1
2014	758	0,78956	0,83483	0,17492	0,0032807	1
2015	731	0,78498	0,82095	0,16264	0,0083096	1
2016	693	0,78491	0,81418	0,16027	0,0069454	1
2017	666	0,64926	0,69358	0,21331	0,0006556	1
2018	644	0,76369	0,79092	0,15852	0,0156904	1
2019	626	0,76988	0,78887	0,14755	0,0041631	1

Fonte: Os autores (2020).

A Tabela 5 expõe as pontuações de eficiência média anual para o modelo econômico, no período de 2009-2019. O ano de 2012, com 813 observações, apresentou o menor valor médio em termos de eficiência no período, a quantia de 0,64 e justamente foi a amostra que teve o menor desvio padrão (0,15) e valor mínimo de 0,0011437 de um total de 1. Concidemente, as variáveis analisadas na Tabela 1 apresentaram o menor valor de Receita e de despesas no mesmo período. Em 2014, o valor da média foi o maior dentre os períodos, alcançando o valor de 0,79 de resultado de eficiência.

Tabela 5 - Estatística descritiva da eficiência – Modelo de Eficiência Ambiental

Year	n.	Mean	Median	Std.Dev	Min	Max
2009	43	0,59162	0,59998	0,32166	0,02925576	1
2010	39	0,59169	0,61314	0,30802	0,04287722	1
2011	34	0,62745	0,63151	0,32851	0,04221301	1
2012	27	0,63901	0,65757	0,29262	0,09475356	1
2013	26	0,66222	0,68470	0,29202	0,09237580	1
2014	24	0,65592	0,69041	0,28647	0,12180442	1
2015	19	0,66386	0,68897	0,33181	0,10262117	1
2016	20	0,70458	0,75694	0,28343	0,20436300	1
2017	19	0,79119	0,86076	0,25181	0,27775781	1
2018	20	0,75906	0,76486	0,23008	0,22824930	1

2019 17 0,82743 0,88290 0,18321 0,42842643 1

Fonte: Os autores (2020).

A Tabela 6 apresenta um resumo do resultado do modelo ambiental e destaca o ano de 2009 com menor média entre os períodos, a quantia de 0,59, enquanto que a maior foi no último ano, 2019, quando se obteve o valor de 0,82, apresentando-se, no mesmo período, a menor variabilidade dos dados (0,18).

Tabela 6- Resumo da estatística descritiva do resultado da eficiência – Modelo de Ecoeficiência

Year	n.	Mean	Median	Std.Dev	Min	Max
2009	81	0,26925	0,15898	0,26136	0,00258856	1
2010	72	0,28002	0,17442	0,28586	0,00260684	1
2011	62	0,28330	0,17865	0,26437	0,00289845	1
2012	56	0,27305	0,17765	0,27095	0,00166514	1
2013	52	0,25823	0,19235	0,25009	0,00236180	1
2014	50	0,24354	0,15176	0,25794	0,00237784	1
2015	45	0,31863	0,23472	0,25764	0,00307933	1
2016	44	0,38966	0,30760	0,28393	0,02416123	1
2017	38	0,46288	0,40741	0,31289	0,03891474	1
2018	36	0,45238	0,39578	0,28523	0,04219870	1
2019	31	0,51061	0,40955	0,28416	0,04899501	1

Fonte: Os autores (2020).

Dentre os modelos até agora descritos, este foi o que apresentou menores resultados de eficiência. Conforme registro na Tabela , é possível notar que, pelo modelo de ecoeficiência, as médias tiveram todos os resultados inferiores a 0,51, com o menor resultado no ano de 2014, a quantia de 0,24. O ano com maior resultado foi 2019, chegando a 0,51. Diferentemente do modelo econômico, cujos dados são de publicação obrigatória pelas empresas de capital aberto, os modelos Ambiental e de Ecoeficiência tiveram poucas observações, pois as empresas do setor de silvicultura não têm obrigatoriedade na publicação deste tipo de informação. Portanto, não há uma padronização para divulgação dos resultados, o que impactou consideravelmente na coleta dos dados, sendo necessária análise relativa das informações aqui registradas. A Tabela 7 evidencia que, ao se comparar as empresas eficientes ambientalmente pelo modelo DEA com relação ao total de observações anuais, o ano de 2017 apresentou melhor score de eficiência (47% das empresas apresentaram eficiência ambiental).

Tabela 7: Quantidade de empresas que atingiram a eficiência(BCC-out) pelo modelo de eficiência ambiental

Eficiência Ambiental	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Empresas Eficientes	9	7	10	5	6	6	7	6	9	5	6	76
n	43	39	34	27	26	24	19	20	19	20	17	288
% de empresas eficientes	20,9	17,9	29,4	18,5	23,0	25,0	36,8	30,0	47,3	25,0	35,2	26,3
	3	5	1	2	8	0	4	0	7	0	9	9

Fonte: Os autores (2020).

A Figura 3 apresenta o mapa dos países com maiores incidências empresariais por ano de eficiência ambiental, no período em análise 2009 a 2019. Pode-se constatar que os países que mais vezes conseguiram atingir a eficiência pelo modelo ambiental foram: Japão, África do Sul e Suécia.

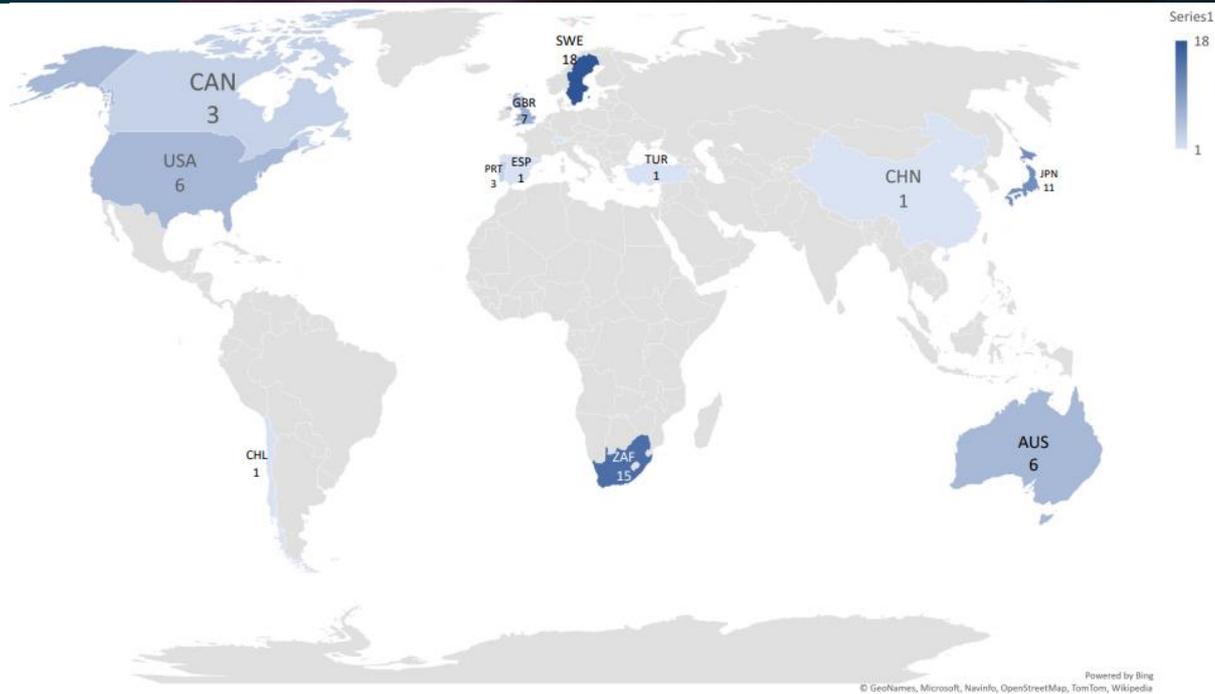


Figura 3- Mapa de eficiência ambiental das empresas do ramo de silvicultura no período de 2009 a 2019
Fonte: Os autores (2020).

A Tabela 8 destaca, por ano, os países que tiveram empresas que alcançaram a eficiência pelo modelo DEA, sendo que os escores de eficiência econômica, relativamente ao total de observações, não foram superiores a 4% (referente a 2011) ao ano em todo o período analisado.

Tabela 8- Quantidade de empresas que atingiram a eficiência (BCC-out) pelo modelo de eficiência econômica

Eficiência Econômica	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Empresas Eficientes	21	20	30	18	17	25	25	21	13	15	15	220
n	806	824	828	813	792	758	731	693	666	644	626	8181
% de empresas eficientes	2,61	2,43	3,62	2,21	2,15	3,30	3,42	3,03	1,95	2,33	2,40	2,69

Fonte: Os autores (2020).

A Figura destaca os países que mais vezes conseguiram atingir a eficiência pelo modelo de eficiência econômica no período: Canadá (21), Índia (27) e Estados Unidos da América (64). Já, na Tabela 9, ao se comparar as empresas eficientes, tanto ambiental quanto economicamente (conceito de ecoeficiência) pelo modelo DEA, com relação ao total de observações anual, os últimos três anos de análise apresentaram melhores scores (11%, 11% e 13% das observações, respectivamente). Esta melhoria, com relação ao ano de 2009, por exemplo, que apresentou apenas 4% de score de ecoeficiência, não é resultante da maior preocupação conjunta em coordenar a eficiência econômica com a ambiental, mas, sim, da menor evidência das informações pelas empresas, o que ocasionou um menor número de observações nos anos mais recentes.

sueca pode ser um indicativo positivo de um trabalho de políticas públicas de eficiência energética do país, tal como apontado por Blomberg et al. (2012). Destaca-se que o Quadro 1 foi elaborado com base na teoria da supereficiência (ZHU, 2001).

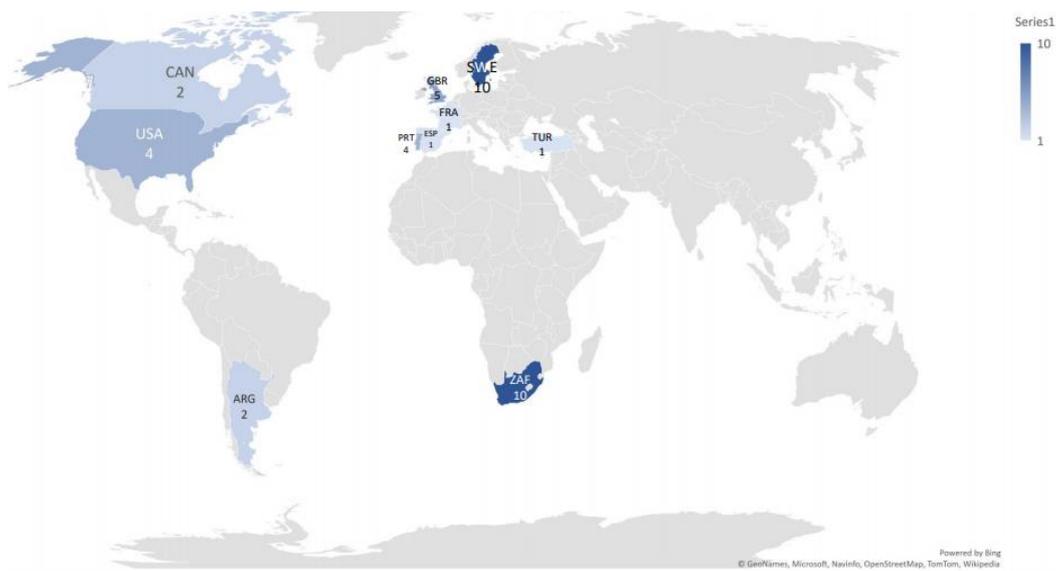


Figura 5 - Mapa de ecoeficiência das empresas do ramo de silvicultura no período de 2009 a 2019
Fonte: Os autores (2020).

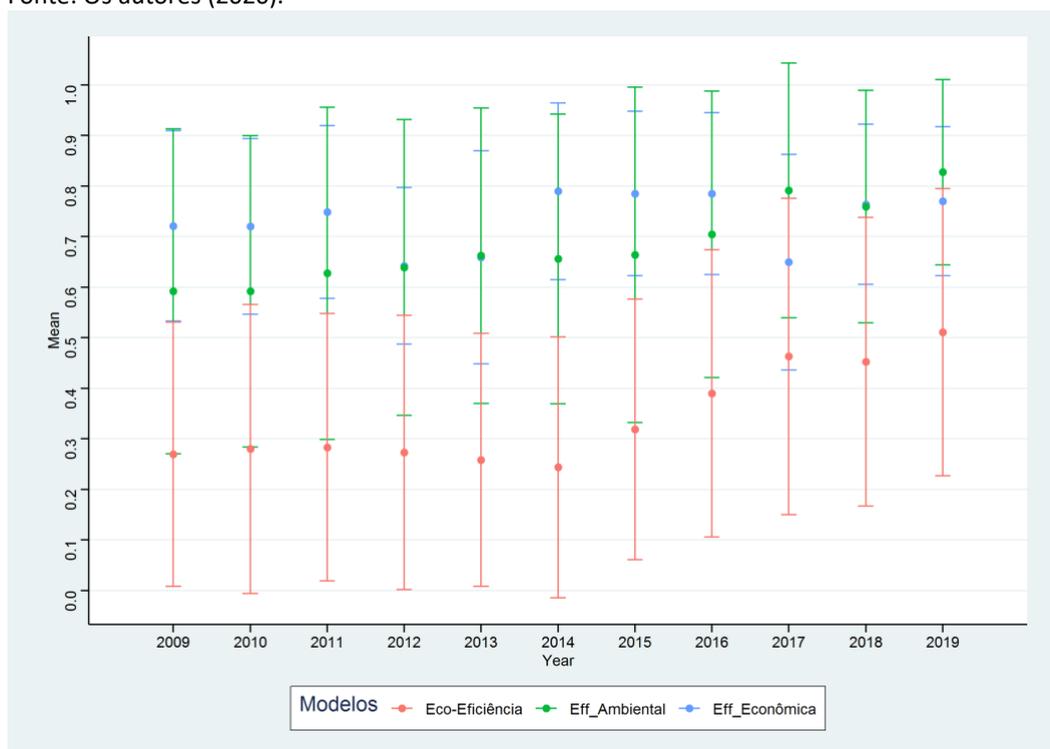


Figura 6 - Comparação entre os modelos de eficiência ambiental, econômica e ecoeficiência no período 2009 a 2019 das empresas do ramo de silvicultura
Fonte: Os autores (2020).

Quadro 1 - Empresas consideradas supereficientes em termos de ecoeficiência no setor de papel e celulose – período 2009 a 2019

Ano	Company	eff	vrs_Super
2019	BillerudKorsnas AB (publ) - PPackaging - Sweden	1	1,596666
2018	BillerudKorsnas AB (publ) - PPackaging - Sweden	1	1,719659
2017	BillerudKorsnas AB (publ) - PPackaging - Sweden	1	2,06265
2016	Sappi Ltd - PProducts - South Africa	1	1,210919
2015	BillerudKorsnas AB (publ) - PPackaging - Sweden	1	1,074353
2014	BillerudKorsnas AB (publ) - PPackaging - Sweden	1	1,8555
2013	BillerudKorsnas AB (publ) - PPackaging - Sweden	1	1,497816
2012	Mpact Ltd - PPackaging - South Africa	1	2,468332
2011	Mpact Ltd - PPackaging - South Africa	1	1,713441
2010	Oeneo SA - FWP – France	1	2,073133
2009	Anadolu Cam Sanayii AS - NPCP - Turkey	1	1,788239

Fonte: Os autores (2020).

5 CONCLUSÕES

O presente artigo objetivou mapear as indústrias e avaliar sua estrutura produtiva relacionados à receita, produção e ambiente. Trata-se de uma resposta à agenda de pesquisa proposta por Koskela (2015), de ampliação de estudos relativos à ecoeficiência, no setor de papel e celulose no mundo. Pôde-se constatar, por meio da análise de 1.038 empresas do ramo, no período de 11 anos (2009 a 2019), que os anos recentes foram mais favoráveis à ecoeficiência e à eficiência ambiental, podendo significar o resultado do compromisso firmado em Paris, em 2015, pelas empresas do setor.

Os países considerados mais ecoeficientes no setor de papel e celulose foram África do Sul e a Suécia, por apresentarem maior número de observações de empresas ecoeficientes no período. Coerentemente, as empresas consideradas mais ecoeficientes pertencem à Suécia, África do Sul, França e à Turquia, destacando-se a empresa sueca BillerudKorsnas por ter sido considerada supereficiente durante 6 anos, dos 11 anos investigados.

O estudo apresenta como limitações o número restrito de observações de variáveis ambientais disponíveis na base de dados que subsidiou a pesquisa, consideradas importantes para os modelos tratados. Tal limitação torna a análise relativa às empresas que disponibilizaram os dados referentes às variáveis econômicas, ambientais e de ecoeficiência.

Como sugestões para futuras investigações, é importante destacar a relevância de se realizar estudos qualitativos em empresas consideradas ecoeficientes, a fim de se compreender as estratégias utilizadas que as tornam destaque em tal quesito. Estudos de caso em profundidade nas empresas em evidência podem revelar ações importantes de instituições que não visam somente ao lucro, mas também buscam o atendimento ao bem comum, a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- Alden, D. M., Proops, J. L., & Gay, P. W. (1998). Industrial hemp's double dividend: a study for the USA. *Ecological Economics*, 25(3), 291-301.
- Augustynczyk, A. L. D., Yousefpour, R., Rodriguez, L. C. E., & Hanewinkel, M. (2018). Conservation Costs of Retention Forestry and Optimal Habitat Network Selection in Southwestern Germany. *Ecological Economics*, 148, 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.02.013>



Avadí, Á., Vázquez-Rowe, I., & Fréon, P. (2014). Eco-efficiency assessment of the Peruvian anchoveta steel and wooden fleets using the LCA+ DEA framework. *Journal of Cleaner Production*, 70, 118-131.

Banker RD, A Charnes and WW Cooper (1984). "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis." *Management Science* 30(9): 1078-1092.

Barba-Gutiérrez, Y., Adenso-Díaz, B., & Lozano, S. (2009). Eco-efficiency of electric and electronic appliances: a data envelopment analysis (DEA). *Environmental Modeling & Assessment*, 14(4), 439-447.

Basset-Mens, Claudine; Ledgard, Stewart; Boyes, Mark. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological economics*, v. 68, n. 6, p. 1615-1625, 2009.

Blomberg, Jerry; Henriksson, Eva; Lundmark, Robert. (2012) Energy efficiency and policy in Swedish pulp and paper mills: a data envelopment analysis approach. *Energy Policy*, v. 42, p. 569-579.

Brukas, V., & Weber, N. (2009). Forest management after the economic transition—at the crossroads between German and Scandinavian traditions. *Forest policy and economics*, 11(8), 586-592.

Burrell, G.; Morgan, G. (1979). *Sociological Paradigms and organisational Analysis - Elements of the Sociology of Corporate Life*. Sociological Paradigms and organisational analysis.

Chang, Young-Tae et al. (2013). Environmental efficiency analysis of transportation system in China: A non-radial DEA approach. *Energy policy*, v. 58, p. 277-283.

Chen, Liang; Jia, Guozhu. (2017). Environmental efficiency analysis of China's regional industry: a data envelopment analysis (DEA) based approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 846-853.

Cooper, D. R.; Schindler, P. S. (2014). *Business research methods*. 12. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin.

Cuesta, Rafael A.; Lovell, Ca Knox; Zofío, José L. (2009). Environmental efficiency measurement with translog distance functions: A parametric approach. *Ecological Economics*, v. 68, n. 8-9, p. 2232-2242.

Dellnitz, A., Kleine, A. & Rödder, W. CCR or BCC: what if we are in the wrong model?. *J Bus Econ* 88, 831–850 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11573-018-0906-8>

FAO (2015), MMA (2016), IBÁ (2016), compilado por STCP. Área com Floresta Nativa e Plantada Brasil. Disponível em <http://www.remade.com.br/banco-dados/149/silvicultura/area-com-floresta-nativa-e-plantada-brasil>. Acessado em 09 de março de 2019.

Ferreira, I. D. A., de Castro Fraga, M., Godina, R., Souto Barreiros, M., & Carvalho, H. (2019). A Proposed Index of the Implementation and Maturity of Circular Economy Practices—The Case of the Pulp and Paper Industries of Portugal and Spain. *Sustainability*, 11(6), 1722.

Fleiter, Tobias et al. (2012) Energy efficiency in the German pulp and paper industry—A model-based assessment of saving potentials. *Energy*, v. 40, n. 1, p. 84-99.

Frischknecht, Rolf. (2010). LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 15, n. 7, p. 666-671.



- Gómez-Limón, J. A., Picazo-Tadeo, A. J., & Reig-Martínez, E. (2012). Eco-efficiency assessment of olive farms in Andalusia. *Land Use Policy*, 29(2), 395-406.
- Gonzalez-Benecke, C. A., Susaeta, A. I., Martin, T. A., Jokela, E. J., & Carter, D. R. (2014). Balancing Revenue and Nutrient Removals in *Pinus elliottii* Engelm. Stands Managed for Pinestraw and Wood Production. *Forest Science*, 60(1), 109-118. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-144>
- Guenster, Nadja et al. (2011). The economic value of corporate eco-efficiency. *European Financial Management*, v. 17, n. 4, p. 679-704.
- Halkos, George Emm; Tzeremes, Nickolaos G. (2009). Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. *Ecological Economics*, v. 68, n. 7, p. 2168-2176.
- Hongguang, L., Xinlin, H., Jing, L., Fadong, L., Ping, G., Jie, Z., & Guang, Y. (2017). Effects of water-fertilizer coupling on root distribution and yield of Chinese Jujube trees in Xinjiang. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(6), 103-114.
- Huang, J., Yang, X., Cheng, G., & Wang, S. (2014). A comprehensive eco-efficiency model and dynamics of regional eco-efficiency in China. *Journal of Cleaner Production*, 67, 228-238.
- Iribarren, Diego et al. (2011). Benchmarking environmental and operational parameters through eco-efficiency criteria for dairy farms. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 10, p. 1786-1798.
- Koskela, Marileena. (2015). Measuring eco-efficiency in the Finnish forest industry using public data. *Journal of Cleaner Production*, v. 98, p. 316-327.
- Li, Hong et al. (2013). Regional environmental efficiency evaluation in China: Analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 58, n. 5-6, p. 1018-1031
- Lorenzo-Toja, Y., Vázquez-Rowe, I., Chenel, S., Marín-Navarro, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2015). Eco-efficiency analysis of Spanish WWTPs using the LCA+ DEA method. *Water research*, 68, 651-666.
- Mandal, Sabuj Kumar; Madheswaran, Subramaniam. (2010) Environmental efficiency of the Indian cement industry: an interstate analysis. *Energy Policy*, v. 38, n. 2, p. 1108-1118.
- Mello, J. C. C. B. S. D., Meza, L. A., Gomes, E. G., Serapião, B. P., & Lins, M. P. E. (2003). Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, 23(2), 325-345.
- Oggioni, G.; Riccardi, R.; Toninelli, R. (2011). Eco-efficiency of the world cement industry: a data envelopment analysis. *Energy Policy*, v. 39, n. 5, p. 2842-2854.
- Petrone, A., & Preti, F. (2008). Suitability of soil bioengineering techniques in Central America: a case study in Nicaragua. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(5), 1241-1248. <https://doi.org/10.5194/hess-12-1241-2008>
- Petrov, V. N., Katkova, T. E., & Karvinen, S. (2019). Trends in the Development of Forestry in Russia and Finland. *Economic and Social Changes-Facts Trends Forecast*, 12(3).
- Picazo-Tadeo, A. J., Beltrán-Esteve, M., & Gómez-Limón, J. A. (2012). Assessing eco-efficiency with directional distance functions. *European Journal of Operational Research*, 220(3), 798-809.



Picazo-Tadeo, A. J., Gómez-Limón, J. A., & Reig-Martínez, E. (2011). Assessing farming eco-efficiency: a data envelopment analysis approach. *Journal of environmental management*, 92(4), 1154-1164.

Ron, J., & Padilla, J. E. (1999). Preservation or conversion? Valuation and evaluation of a mangrove forest in the Philippines. *Environmental and Resource Economics*, 14(3), 297-331.

Song, Malin et al. (2018). Better resource management: An improved resource and environmental efficiency evaluation approach that considers undesirable outputs. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 128, p. 197-205.

Sporcic, M., Martinic, I., Landekic, M., & Lovric, M. (2009). Measuring efficiency of organizational units in forestry by nonparametric model/Ocjena efikasnosti organizacijskih jedinica u sumarstvu neparametarskim modelom. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 30(1), 1+.

Sueyoshi, Toshiyuki; Goto, Mika. (2011). Methodological comparison between two unified (operational and environmental) efficiency measurements for environmental assessment. *European Journal of Operational Research*, v. 210, n. 3, p. 684-693

Susilawati, D., & Kanowski, P. (2020). Cleaner production in the Indonesian pulp and paper sector: Improving sustainability and legality compliance in the value chain. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119259>

Svyntukh, M. (2015). Directions for effective use of forest resources in Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*, 1, 154-159.

Vellani, C.; Ribeiro, M. (2009). Sistema contábil para gestão da ecoeficiência empresarial. *Revista Contabilidade & Finanças*, v. 20, n. 49, p. 25-43, 1 abr.

Vlontzos, George; Niavis, Spyros; Manos, Basil. (2014). A DEA approach for estimating the agricultural energy and environmental efficiency of EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 40, p. 91-96.

Wang Qunwei et al. (2015). Have Chinese cities achieved the win-win between environmental protection and economic development? From the perspective of environmental efficiency. *Ecological indicators*, v. 51, p. 151-158.

Xie, Bai-Chen; Fan, Ying; Qua, Qian-Qian. (2012). Does generation form influence environmental efficiency performance? An analysis of China's power system. *Applied Energy*, v.96, p. 261-271.

Yang, J., McKenney, D. W., & Weersink, A. (2015). Should climate change make us think more about the economics of forest management? *Forestry Chronicle*, 91(1), 23-31. <https://doi.org/10.5558/tfc2015-007>

Yin, K., Wang, R., An, Q., Yao, L., & Liang, J. (2014). Using eco-efficiency as an indicator for sustainable urban development: A case study of Chinese provincial capital cities. *Ecological Indicators*, 36, 665-671.

Yiwen, Z., & Kant, S. (2020). Partitioning Commons and Devolving Them from Communal to Sub-Communal Groups: Evidence from China's Community Forest Management Organizations. *International Journal of the Commons*, 14(1), pp. 44-60.

Zhou, Yan et al. (2013). Environmental efficiency analysis of power industry in China based on an entropy SBM model. *Energy Policy*, v. 57, p. 68-75.

Zhu, J. (2001). Super-efficiency and DEA sensitivity analysis. *European Journal of operational research*, 129(2), 443-455.