

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS EM EMPRESAS DO SETOR AGROFLORESTAL

Robert Armando Espejo¹

Rildo Vieira de Araújo²

Reginaldo Brito da Costa³

Michel Constantino⁴

Resumo

Este artigo teve por objetivo identificar no ano de 2016 as empresas de Papel e Celulose que apresentaram eficiência relativa segundo a utilização de recursos humanos comparando com as vendas líquidas. Foram analisados os dados de 12 empresas mediante o uso do método estatístico da Análise Envoltória de Dados (DEA). O trabalho justifica-se pelo fato do setor ser uma *commodity* e ocupar um importante papel no cenário nacional e internacional, merecendo um olhar científico. No decorrer da pesquisa optou-se em trabalhar com os modelos de Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) e Banker, Charnes e Cooper (BCC) para ilustrar, dentre as empresas selecionadas, as que apresentaram melhor eficiência, destacando em um dos resultados a empresa FIBRIA-MS por ter um melhor aproveitamento dos seus recursos.

Palavras-chave: Papel e Celulose, Análise envoltória de dados, commodities.

Abstract

This paper aimed to identify in 2016 the Pulp and Paper companies that presented relative efficiency according to the use of human resources compared to net sales. Data from 12 companies were analyzed using the statistical method of Data Envelopment Analysis (DEA). The work is justified by the fact that the sector is a commodity and occupy an important role in the national and international scenario, deserving a scientific look. In the course of the research, we chose to work with the models of Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) and Banker, Charnes and Cooper (BCC) to illustrate among the selected companies those that presented the best efficiency, highlighting in one of the results the company FIBRIA-MS for better use of its resources.

Key words: Pulp and Paper, Data envelopment analysis, commodities

¹ PPG-Ciências Ambientais da UCDB e Escola de Administração e Negócios(UFMS), robert.espejo@ufms.br

² PPG-Ciências Ambientais da UCDB e Instituto Federal do Mato Grosso(IFMT), ifmt.rildo@gmail.com

³ Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), reg.brito.costa@gmail.com

⁴ Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), michel@ucdb.br

Introdução

O surgimento do papel vem do latim *papyrus*, nome utilizado no Egito, mediante a utilização de uma planta da própria região (Hayasaka e Nishida, 2018). Os egípcios inventaram o papiro, que antes se extraía fibras para a fabricação de cordas e barcos, mas foi na China que o papel tomou forma e a partir de então tem sido muito utilizado por todos os povos. O papel foi extremamente útil para se expressar a escrita e com o passar do tempo o seu formato foi aperfeiçoado por diversos povos até chegar aos dias atuais.

As indústrias se desenvolveram e há algum tempo o segmento do papel passou a ser chamado de Papel e Celulose, envolvendo uma cadeia de produtos extraídos em sua maioria por florestas cultivadas em cada território. Esse ramo se desenvolveu em vários países, tornando-se muito competitivo pelo seu potencial de demanda existente no mercado. No Brasil, a cada ano tem tido investimentos e percebe-se um aumento na sua produção, tornando um setor bastante competitivo. Segundo Castro (2014, p.2): “O Brasil apresenta vantagem competitiva no crescimento de florestas, por causa do clima, do solo e da quantidade de luz solar e também graças ao desenvolvimento de biotecnologia florestal”.

Segundo a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (2018), o setor é composto por 220 empresas com atividade desenvolvida em 540 municípios, localizados em 18 Estados do Brasil, reforçando a importância do setor.

A cadeia produtiva de celulose e papel é exemplo para a economia brasileira. Conforme Abreu, Palma e Peixoto (2015), as empresas dessa área precisam trabalhar propendendo o aperfeiçoamento das técnicas e cultura de gestão, tendo consciência que os aspectos organizacionais devem ser inseridos em busca do sucesso no mercado atual. Assim, o uso dos novos enfoques gerenciais da qualidade têm se revolido uma obrigatoriedade para as empresas inseridas nesse setor, com o desígnio de se empreitar uma certificação e uma standardização, buscando à competitividade.

Objetivo

Identificar, no ano de 2016, as empresas de Papel e Celulose que apresentaram eficiência relativa segundo a utilização de recursos humanos comparando com as vendas líquidas.

Material e Métodos

A técnica utilizada foi de análise envoltória de dados (DEA), que trabalha com a estatística não paramétrica. Charnes (1994) | Lins e Meza (2000) descreve que a história da Análise Envoltória de Dados (DEA) teve início com a tese de Rhodes orientando de Cooper, publicada em 1978. O objetivo da tese foi desenvolver um método para comparar a eficiência de escolas públicas norte-americanas (*Decision Making Units* - DMUs), com informações baseadas em um artigo de 1957 de um autor chamado Farrel.

O DEA trabalha com Entradas (*INPUTS*) que são os recursos ou insumos consumidos pelas DMUs para obterem os resultados desejados, e atendem o critério de quanto menor, melhor (Minimizar); e Saídas (*OUTPUTS*) que são os produtos ou serviços obtidos por cada uma das DMUs, que atendem ao critério de quanto maior, melhor (Maximizar). Essa técnica não paramétrica trabalha com modelos matemáticos, e um dos modelos utilizados é denominado de CCR: O modelo CCR recebeu esse nome em homenagem aos seus autores, porém ele também é conhecido como modelo de retornos constantes a escala (*Constant Returns to Scale* - CRS); tal modelo é linearizado, tornando-se um problema de programação linear, cuja fórmula é apresentada na Figura 1 abaixo. (Gomes et al, 2003)

$$\max h_o = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}$$

sujeito a

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j$$

Figura 1 – Fronteira Eficiente Modelo CCR

Fonte: GOMES et al., 2003

Em sua formulação matemática, analisa-se que cada DMU k , $k = 1, \dots, n$, é uma unidade de produção que utiliza r *INPUTS* x_{ik} , $i = 1, \dots, r$, para produzir s *OUTPUTS* y_{jk} , $j = 1, \dots, s$. O modelo CCR, mencionado, maximiza o quociente entre a combinação linear dos *OUTPUTS* e a combinação linear dos *INPUTS*, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1. Assim, para uma DMU o , h_o é a eficiência; x_{io} e

y_{jo} são os *INPUTS* e *OUTPUTS* da DMU o ; v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para *INPUTS* e *OUTPUTS*, respectivamente.

O modelo BCC foi desenvolvido em 1984 por Banker, Charnes e Cooper e incorporava ao modelo CCR os conceitos de economia de escala. Dessa maneira, o modelo BCC pode ser intitulado como o modelo de retornos variáveis a escala (*Variant Returns to Scale-VRS*). Mostra-se a formulação do problema de programação fracionária, previamente linearizado, para esse modelo (Banker et al., 1984), onde h_o é a eficiência da DMU $_o$ em análise; x_{ik} representa o *INPUT* i da DMU $_k$, y_{jk} representa o *OUTPUT* j da DMU $_k$; v_i é o peso atribuído ao *INPUT* i , u_j é o peso atribuído ao *OUTPUT* j ; u^* é um fator de escala. (Gomes et al 2003)

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

Figura 2 – Fronteira Eficiente Modelo BCC

Fonte: GOMES et al., 2003

A Figura 3 apresenta as fronteiras DEA BCC e CCR para um modelo DEA bidimensional (1 *INPUT* e 1 *OUTPUT*). As DMUs A, B e C são BCC eficientes; a DMU B é CCR eficiente. As DMUs D e E são ineficientes nos dois modelos. A eficiência CCR e BCC da DMU E é dada, concomitantemente, por $\frac{\overline{E''E'''}}{\overline{E''E}}$ e $\frac{\overline{E''E'}}{\overline{E''E}}$. (GOMES et al. 2003).

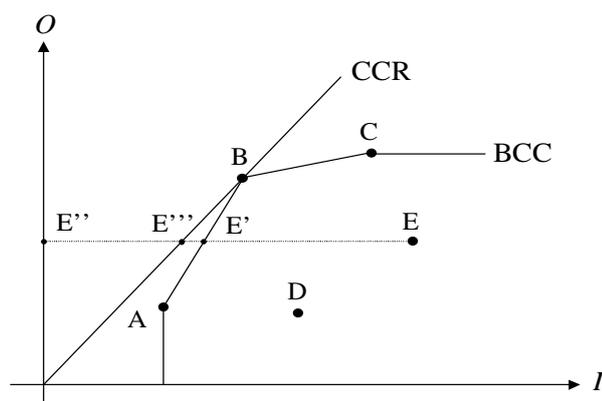


Figura 3 – Fronteiras DEA modelo BCC e CCR para o caso bidimensional.
Fonte: GOMES et al.,2003

O DEA como foi mencionado identifica as DMUs eficientes, mas também consentem medir e localizar a ineficiência e avaliar uma função de produção linear por partes, que fornece o *benchmark* para as DMUs ineficientes. Esse *benchmark* é apurado pela projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência. A forma como é feita esta projeção determina orientação do modelo: orientação a *INPUTS* (quando se deseja minimizar os *INPUTS*, mantendo os valores dos *OUTPUTS* constantes) e orientação a *OUTPUTS* (quando se deseja maximizar os resultados sem diminuir os recursos). (GOMES et al 2003).

Os dados utilizados foram obtidos da BM&FBOVESPA (2017) e empresas do setor, conforme Tabela 1, onde se buscou as seguintes variáveis: a) a quantidade de funcionários (*INPUT*); b) o resultado das vendas líquidas (*OUTPUT*); e c) relação das empresas do ramo de Papel e Celulose. Foram identificadas 15 empresas, e destas foram utilizadas 12 empresas, pois 3 não constavam informação sobre o número de funcionários. Cada empresa participante do estudo é considerada uma DMU (*Decision making unit*):

Tabela 1 –Empresas de Papel e Celulose.

Empresas 2016	Número de empregados	Vendas (R\$ milhões) 2016
Klabin-SP	13.833	7.160,20
Suzano-BA	7.747	9.331,50
Mili-PR	1.897	934,40
Eldorado-SP	4.851	2.698,90
Berneck-PR	1.740	1.339,80
Fibria-SP	4.493	5.144,20
Fibria-MS	1.212	1.777,80
Cenibra-MG	4.735	1.890,90
Penha-SP	1.035	468,00
Jandaia-SP	952	589,20
Celulose Irani-RS	2.472	786,40
Jari-PA	829	504,80

Fonte: BM&FBOVESPA e empresas do setor, 2017

Foram utilizados no estudo os modelos CCR orientado a *INPUT* e o Modelo BBC orientado a *OUTPUT*. Para o processamento dos dados foi utilizado o software R, com o pacote *benchmarking*.

Resultados e Discussão

Os índices de eficiência para as 12 empresas no modelo CCR orientação *INPUT* analisadas na pesquisa estão contidos na Tabela 2 onde é possível visualizar que a empresa que opera na escala de eficiência é a DMU G (Fibria-MS) que utiliza o recurso da melhor forma, atendendo às necessidades da empresa no quesito de produção. O modelo admite que cada unidade de produção eleja, a partir de programação linear, os pesos para cada variável, de forma a maximizar a sua eficiência, desde que esses pesos aplicados a todas as DMU's não consigam impetrar uma eficiência superior a um (Pereira, 2014).

Tabela 2 –Modelo CCR

DMUs	E	u1	v1
A - Klabin-SP	0.3528812	0.0000722909	4.92837e -05
B - Suzano-BA	0.8211786	0.0001290822	8.800071e -04
C - Mili-PR	0.3358035	0.0005271481	3.593787e -04
D - Eldorado-SP	0.3792934	0.0002061431	1.405363e -04
E - Berneck-PR	0.5249409	0.0005747126	3.918054e -04
F - Fibria-SP	0.7805507	0.0002225684	1.517341e -04
G - Fibria-MS	1.0000000	0.0008250825	5.62493e -04
H - Cenibra-MG	0.2722503	0.0002111932	1.439792e -04
I - Penha-SP	0.3082657	0.0009661836	6.586874e -04
J - Jandaia-SP	0.4219350	0.0010504202	7.16115e -04
K - Celulose Irani-RS	0.2168776	0.0004045307	2.757854e -04
L – Jari-PA	0.4151304	0.0012062726	8.223661e -04

Fonte: ESPEJO et al.,2018

A Figura 4, como foi mencionada, destaca a empresa que apresentou melhor eficiência no uso de seus recursos, sendo demonstrada na linha da fronteira eficiente. Segundo Ferreira e Gomes (2009), ela define uma produção máxima que pode ser alcançada com dado recurso tecnológico. Desta forma, a DMU que está sobre ela é eficiente; as demais, que se distribuem abaixo dela, são ineficientes.

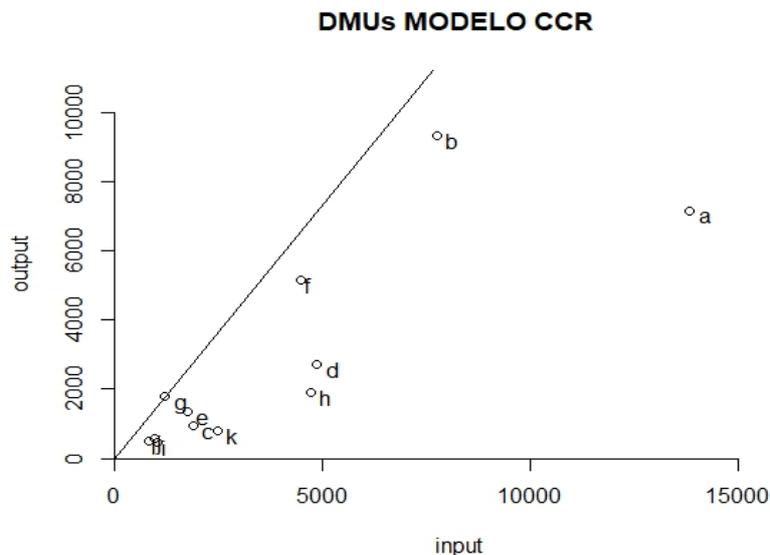


Figura 4 – Fronteira Eficiente Modelo CCR

Fonte: ESPEJO et al.,2018

De acordo com a Figura 5 a seguir, nota-se uma melhor visualização da DMU com escala de eficiência igual a 1, na ótica do *INPUT*; as demais são consideradas ineficientes, não em relação ao resultado econômico, mas sim em relação ao melhor aproveitamento do recurso de mão-de-obra.

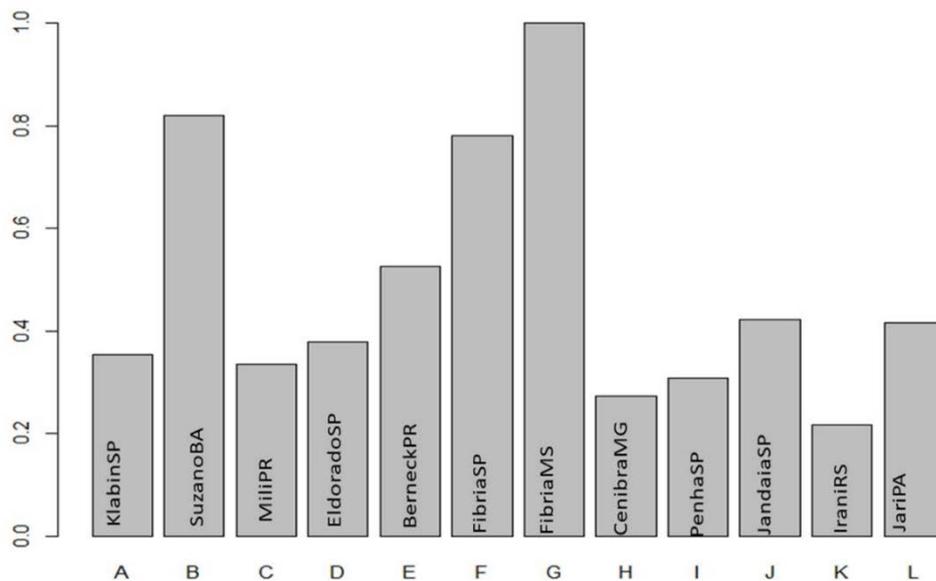


Figura 5 – Gráfico das DMU,s modelo CCR

Fonte: ESPEJO et al., 2018

Entretanto, se a empresa tiver mais facilidades de controle sobre os recursos, optará por uma avaliação orientada para *INPUTS*; caso contrário, optará por uma orientação a *OUTPUTS*. Esse modelo procura minimizar o consumo dos recursos de forma a produzir um determinado nível de produção.

Segundo a metodologia DEA, e usando o modelo BCC orientação *OUTPUT*, as eficiências BCC são maiores ou iguais que as eficiências CCR. Pode-se verificar na Tabela 3 que a empresa G (Fibria-MS) é eficiente no modelo CCR e também eficiente no modelo BCC, porém outras duas empresas: B (Suzano-BA) e L(Jari-PA) deixaram de ser ineficientes no modelo CCR, para se tornarem eficientes no modelo BCC pressupondo que as DMU's avaliadas apresentem retornos variáveis de escala (*Variant Returns to Scale-VRS*).

Tabela 3 –Modelo BCC

DMUS	E	u1	v1
A - Klabin-SP	0.4242409	0.0000722909	6.254167e -05
B - Suzano-BA	1.0000000	0.0001290822	1.116741e 04
C - Mili-PR	0.5051403	0.0005271481	1.585999e -04
D - Eldorado-SP	0.4141166	0.0002061431	1.783424e -04
E - Berneck-PR	0.6208170	0.0005747126	1.729104e -04
F - Fibria-SP	0.9179621	0.0002225684	1.925526e -04
G - Fibria-MS	1.0000000	0.0008250825	2.482377e - 04
H - Cenibra-MG	0.2766309	0.0002111932	1.827115e - 04
I - Penha-SP	0.8009662	0.0009661836	0.000000e+00
J - Jandaia-SP	0.8974716	0.0010504202	3.160337e -04
K - Celulose Irani-RS	0.3696292	0.0004045307	1.217088e -04
L - Jari-PA	1.0000000	0.0012062726	0.000000e+00

Fonte: ESPEJO et al., 2018

A Figura 6, como foi mencionada, destaca as empresas que apresentaram melhor eficiência no uso de seus recursos no modelo BBC, sendo demonstrado na linha da fronteira eficiente. Segundo Ferreira e Gomes (2009), ela define uma produção máxima que pode ser alcançada com dado recurso tecnológico. Desta forma, a DMU que está sobre a linha da fronteira é eficiente; as demais, que se distribuem abaixo dela, são ineficientes.

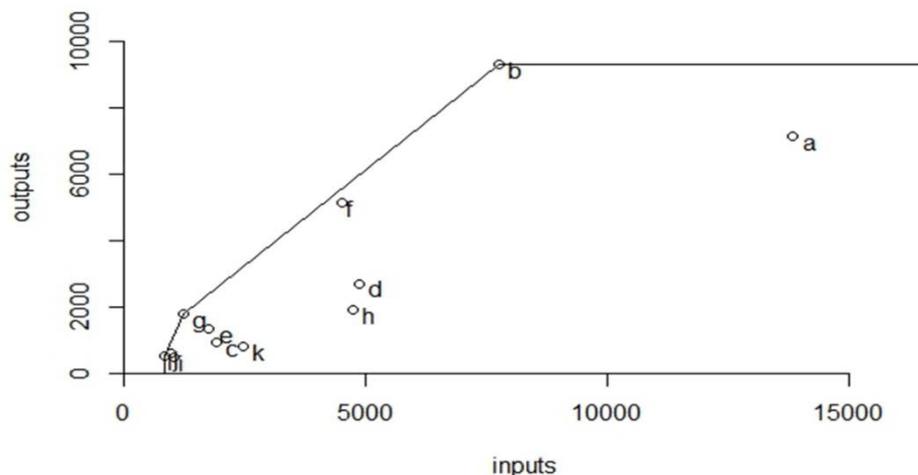


Figura 6 – Gráfico das DMU,s modelo BCC

Fonte: ESPEJO et al.,2018

De acordo com a Figura 7 a seguir, nota-se uma melhor visualização das DMU's com escala de eficiência igual a 1, na ótica do *OUTPUT*; as demais seriam consideradas ineficientes de acordo com o método DEA.

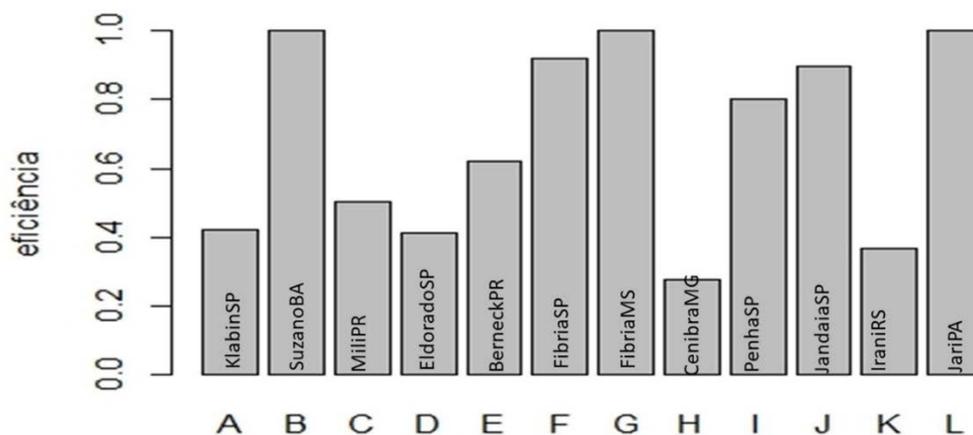


Figura 7 – Gráfico das DMU,s modelo BBC

Fonte: ESPEJO et al., 2018

Segunda Pereira (2014): averigua-se que pelo bom emprego do modelo BCC, as empresas alcançam empreender melhor os *INPUTS* e *OUTPUTS*, pois um aumento ou diminuição nos *INPUTS* provocará um aumento ou diminuição maior do que o proporcional, o que poderá influenciar o seu nível de eficiência dentro do grupo em análise. Quando as rentabilidades são variáveis, as empresas que atuam com baixos valores de *INPUTS* podem ter retornos crescentes, o que pode influenciar que incidam de uma conjuntura de ineficientes (pelo modelo CCR) para eficientes (no modelo BCC), conforme o exemplo das DMU,s: Suzano-BA e Jari-PA , que pelo modelo CCR eram consideradas não eficientes,

pois o índice de eficiência não atingia os 100%, e quando analisadas pelo modelo BCC conforme figura 7, com os mesmos níveis de *INPUTS* e *OUTPUTS*, elas se tornam eficientes .

Conclusão

Conclui-se que foi possível com o estudo da análise envoltória de dados (DEA) demonstrar dentre as 12 empresas as que obtiveram um melhor aproveitamento dos recursos, destacando-se pelo método (*Constant Returns to Scale* - CRS) que a empresa com melhor eficiência foi a DMU G (Fibria-MS). Pelo método BCC intitulado como o modelo de retornos variáveis a escala (*Variant Returns to Scale-VRS*) as empresas que apresentaram melhor eficiência foram as seguintes :G (Fibria-MS) ,B (Suzano-BA) e L (Jari-PA).

O estudo realizado evidencia sua importância ao demonstrar o uso da aplicação do programa R apresentado e principalmente a utilização do método estatístico DEA como fonte de geração de informação para tomada de decisão, podendo atender as necessidades científicas e profissionais nas diversas áreas.

Referências

- ABREU, Matheus Vink; PALMA, Juliana B.T. e PEIXOTO, Maria G.M. **Gerenciamento da rotina no setor de papel e celulose:** Um estudo de caso em uma indústria situada no Mato Grosso do Sul. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza-CE, 13-16 de outubro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). Disponível na internet. <<http://www.abtcp.org.br>> Acesso em 22/03/2018.
- BM&FBOVESPA. Dados financeiros das empresas. Disponível na internet. < <http://www.bmfbovespa.com.br>> Acesso em 21/03/2018.
- CASTRO, Natalia V.C. **Avaliação de Empresas do Setor de Papel e Celulose através do Modelo CFROI.** XIV Congresso USP de Controladoria e Contabilidade. Novas perspectivas na pesquisa contábil. São Paulo, 21-23 de julho de 2014.
- CHARNES, A.; Cooper, W. W.; RHODES, E. **Measuring The E-ciency Of Decision Making Units.** European Journal Of Operational Research, Piotrowo, V. 2, N. 3, P. 429- 444, 1978.
- FERREIRA, Carlos M.C. e GOMES, Adriano P. **Introdução à análise de envoltória de dados:** teoria, modelos e aplicações. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.
- GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B. S.; ASSIS, A.S.; et al. **Uma medida de eficiência em segurança pública.** Niterói: Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção, v. 3, n. 7, p. 1-15, 2003. Disponível em <www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume32003/relpesq_303_07.doc> Acesso em 21/03/2018.
- HAYASAKA, Enio Yoshinori e NISHIDA, Silvia M. **Dados sobre a história do papel.** Disponível na internet. <http://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Origami/Documentos/indice_origami_papel.htm> Acesso em 21/03/2018.

LINS, Marcos Pereira Estellita; MOREIRA, Maria Cristina Bessa. **Implementação com Seleção de Variáveis em Modelos de DEA**. In: LINS, Marcos Pereira Estellita; MEZA, Lúcia Ângulo (org.). *Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no Ambiente de Apoio à Decisão*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. Cap. III, p.38 - 52.

PEREIRA, Vanessa A.M. Dissertação de mestrado: **A contabilidade de gestão e a Data Envelopment Analysis**: Análise de desempenho organizacional. Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa-PT. ISCAL. 2014.

Anexo

```
\bigskip
\item EXEMPLO PRÁTICO - MODELO CCR-ORIENTAÇÃO INPUT

library(Benchmarking)
x <- matrix(c(13833,7747,1897,4851,1740,4493,1212,4735,1035,952,2472,829),ncol=1)#INPUT
y <- matrix(c(7160.2,9331.5,934.4,2698.9,1339.8,5144.2,1777.8,1890.9,468,589.2,786.4,504.8),ncol=1)
#OUTPUT
e_crs <- dea.dual(x,y,RTS='crs', ORIENTATION="in")#Eficiência
eff(e_crs)#RESULTADO DAS DMU'S
dea.plot(x,y,RTS="crs",ORIENTATION="in-out",txt=letters[1:length(x)],main="DMUs MODELO CCR ",xlab =
"INPUT",ylab = "OUTPUT")#GRÁFICO COM INPUT E OUTPUT

cbind(E=e_crs$eff,e_crs$u,e_crs$v)#PESOS
summary(e_crs)
#Resumo das eficiências
#A tecnologia é crs e eficiência orientada a entrada
#Número de empresas com eficiência == 1 são 1
#Eficiência média: 0,655
names(e_crs$eff)<-c("A","B","C","D","E","F","G","H","I","J","K","L")
names(e_crs$u)

barplot(e_crs$eff,names.arg=names(e_crs$eff), main="Gráfico das DMUs, Modelo CCR,Escala 0 a 1 ")
z<-c(e_crs$eff)
y<-c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12)
y2<-data.frame(y)

#GRÁFICO DA FROTEIRA DE EFICIÊNCIA
dea.plot(y,z,RTS="crs",ORIENTATION="in-out",txt=letters[1:length(x)], main="Medidas das Eficiências das DMUs
MODELO CCR ",xlab = "Insumos", ylab = "Eficiência") #GRÁFICO COM INPUT E OUTPUT
\bigskip
\item \textbf{EXEMPLO PRÁTICO BCC}

library(Benchmarking)
x <- matrix(c(13833,7747,1897,4851,1740,4493,1212,4735,1035,952,2472,829),ncol=1)#INPUT
y <-
matrix(c(7160.2,9331.5,934.4,2698.9,1339.8,5144.2,1777.8,1890.9,468,589.2,786.4,504.8),ncol=1)#OUTPUT
e_vrs <- dea.dual(x,y,RTS='vrs', ORIENTATION="in") #Eficiência
eff(e_vrs) #RESULTADO DAS DMU's EFICIENTES
cbind(E=e_vrs$eff,e_vrs$u,e_vrs$v) #PESOS
summary(e_vrs)
dea.plot(x,y,RTS="vrs",ORIENTATION="in-out",txt=letters[1:length(x)], main="Modelo BCC para análise de
eficiência das DMUs", xlab = "INPUTS", ylab = "OUTPUTS") #GRÁFICO COM INPUT E OUTPUT
names(e_vrs$eff)<-c("rildo","rrrr","campo","grande","Ekkkkkkkkkkkkk","F","G","H","I","J","K","L")
names(e_vrs$u)
barplot(e_vrs$eff,names.arg=names(e_vrs$eff), main="Modelo BCC para análise de eficiência das DMUs", ylab =
"eficiência") #GRÁFICO FRONTEIRA DE EFICIÊNCIA
z<-c(e_vrs$eff)
y<-c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12)
y2<-data.frame(y)
dea.plot(y,z,RTS="vrs",ORIENTATION="in-out",txt=letters[1:length(y)], main = "Fronteira de Eficiência", xlab =
"Insumos", ylab = "Eficiência")
@
```