

# LEI DA BALANÇA

UMA AVALIAÇÃO NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE RECOLHIMENTO DE PALHA

POR TEREZINHA DE FÁTIMA CARDOSO | JORGE M. NEVES | MATEUS F. CHAGAS

O TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR, DO CAMPO À USINA, REPRESENTA DE 10% A 15% DO CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO DA CANA. AS USINAS BUSCAM REDUZIR OS CUSTOS E ASSEGURAR SUA COMPETITIVIDADE, MEXENDO PEÇAS COMO NUM JOGO DE XADREZ EM QUE CADA MOVIMENTO É ESTRATÉGICO PARA GANHAR OU PERDER EM CIFRAS DA ORDEM DE MILHARES – ÀS VEZES MILHÕES – DE REAIS.

# LEI DA BALANÇA

## CUSTOS DE PRODUÇÃO DE CANA E DE RECOLHIMENTO DE PALHA

A cana-de-açúcar é o principal produto agrícola paulista e, segundo estimativa do Instituto de Economia Agrícola (IEA), representará aproximadamente 35% do Valor da Produção Agropecuária (VPA) de 2016 no estado de São Paulo. Na safra 2016/2017, a produção paulista respondeu por aproximadamente 57% da produção nacional

às mudanças no sistema de colheita, reduzir custos, utilizando composições de transporte com maior capacidade de carga, como os treminhões e rodotrens.

Os rodotrens canavieiros transportam, em média, 60 toneladas de cana picada (colhida mecanicamente). Contudo, é possível encontrar caminhões transportando mais de 70 toneladas de colmos.



Por *Dr. Jorge M. Neves<sup>1</sup>, Mateus Chagas<sup>2</sup> e Dra. Terezinha Cardoso<sup>3</sup>.*

para o transporte canavieiro, permitem o carregamento de 63 a 74 toneladas de **Peso Bruto Total Combinado (PBTC)** – carga + veículo – de acordo com a composição utilizada. Para estes limites há tolerância máxima de 5% do PBTC. Ou seja, tomando como exemplo o rodotrem, cujo PBTC



*Lei da Balança altera rotina de usinas, desde a colheita ao transporte (Foto: Caliandra do Serrado)*

de cana-de-açúcar.

O custo da cana-de-açúcar tem importante participação no custo total da produção do etanol, podendo ultrapassar 60%. Já o transporte da cana-de-açúcar, do campo à usina, representa de 10% a 15% do custo total de produção da cana. As usinas buscam reduzir os custos e assegurar sua competitividade, mexendo peças como num jogo de xadrez em que cada movimento é estratégico para ganhar ou perder em cifras da ordem de milhares – às vezes milhões – de reais.

O transporte da cana sofreu alterações buscando, além de se adaptar

Entretanto, a **Resolução N° 211, de 2006, do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN)**, a chamada “Lei da Balança”, regulamenta o transporte rodoviário, principalmente quanto às dimensões e capacidades máximas de carga.

O cumprimento desta medida provocará mudanças no jogo de xadrez e levará as usinas a alterarem as estratégias utilizadas. A “Lei da Balança” limita a carga transportável para as Combinações de Veículos de Cargas (CVC), de acordo com o número de eixos e estrutura dos caminhões. No caso das composições normalmente utilizadas

é de 74 toneladas, com a tolerância máxima pode-se chegar a 77,7 toneladas (rodotrem vazio – cerca de 34 toneladas + 43 toneladas de cana).

Essa redução de carga transportada por composição, em média 17 toneladas, representa aumento no custo de produção, já que com menor carga será necessário aumentar a frota de caminhões canavieiros, elevando assim os custos com combustível, mão de obra, manutenção, além de investimentos em novos caminhões canavieiros.

Para avaliar o impacto no custo de produção da cana-de-açúcar com

a restrição de carga no transporte, exigida por lei, utilizou-se o modelo **CanaSoft**, desenvolvido para a simulação da fase agrícola na **Biorrefinaria Virtual de Cana-de-açúcar (BVC)**.

Este modelo calcula os custos de produção a partir dos principais parâmetros que descrevem o sistema de produção de cana-de-açúcar - incluindo as operações envolvidas - desde o preparo do solo até o transporte da cana à usina, considerando o maquinário e

socioeconômicos e ambientais, de uma tecnologia em uso, ou em desenvolvimento, comparada a uma cadeia de produção de referência do setor (BONOMI et al., 2016).

Para esta avaliação, partiu-se de um caso representativo de uma usina com produção de 4 milhões de toneladas de colmos (TC), com produtividade média de 80 TC/ha, raio médio de transporte de 35 km, utilizando rodotrens para o transporte.

Considerou-se, para o cenário

colmos, resultando no aumento do custo total de produção da cana-de-açúcar. Incluindo os custos com mão de obra, combustível, manutenção e investimento em caminhões, o aumento no custo com o transporte dos colmos atinge 34%, quando o limite de peso bruto total combinado é obedecido, para as composições utilizadas atualmente. Em termos objetivos isso representa aumento de R\$ 2,15 por tonelada de cana, ou seja, aumento de R\$ 8,6 milhões de re-

DADOS	SEM RESTRIÇÃO	COM RESTRIÇÃO
<b>Caminhão utilizado</b>	<b>Rodotrem</b>	<b>Rodotrem</b>
<b>Carga de colmos (t)</b>	60	43
<b>Número caminhões por safra</b>	70	90
<b>Custo com combustível no transporte de colmos (R\$/TC)</b>	2,04	2,67
<b>Custo total de transporte de colmos (R\$/TC)</b>	6,32	8,48
<b>Custo total de produção (R\$/TC)</b>	<b>R\$ 70,84</b>	<b>R\$ 72,99</b>

*Tabela 1: Premissas adotadas e resultados da simulação dos cenários sem restrição e com restrição de carga; valores R\$ de 12/2016*

implementos envolvidos, mão de obra requerida e insumo utilizado (CARDOSO et al., 2015, CAVALETTI et al., 2016).

A **Biorrefinaria Virtual de Cana-de-açúcar (BVC)** é uma plataforma integrada de simulação computacional, em desenvolvimento pela **Divisão de Inteligência de Processos** do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) - um dos quatro Laboratórios Nacionais vinculados ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) - com o objetivo de avaliar o sucesso de desenvolvimentos tecnológicos.

Através da simulação computacional de processos agrícolas e industriais, a BVC estima os impactos

“com restrição”, a redução da capacidade de transporte para Combinações de Veículos de Cargas (CVC), em que se enquadram rodotrens canavieiros, atendendo ao limite de 74t de PBTC, considerando tolerância de 5% do PBTC, totalizando 77 toneladas. Para o cenário “sem restrição” de carga, adotou-se 60 toneladas de colmos por rodotrem, que representa a média de cana transportada desconsiderando a restrição de carga (**Tabela 1**).

Com a restrição de carga, o número de caminhões necessários para o transporte de colmos na safra aumenta em 28%, elevando o consumo de combustível e, consequentemente, o custo do transporte dos

ais para levar 4 milhões de toneladas de colmos para a usina, nas condições analisadas.

Neste contexto, foi avaliado também os impactos que o recolhimento de palha com colheita integral poderia ter com a restrição de carga, uma vez que a palha de cana-de-açúcar, com menor densidade, poderia ocupar parcialmente o espaço vazio dos caminhões que transportam colmos, respeitando o limite de carga.

**O NÚMERO DE CAMINHÕES  
NECESSÁRIOS PARA O TRANSPORTE  
DE COLMOS NA SAFRA AUMENTA EM 28%  
ELEVANDO O CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO DA  
CANADEAÇÚCAR**

## RECOLHIMENTO DE PALHA CONSIDERANDO A RESTRIÇÃO DE CARGA

Com uma produção que supera 400 milhões de toneladas de colmos, safra 2016/2017 (CONAB, 2016), e mais de 90% com colheita mecanizada de cana crua (sem queima), o estado de São Paulo

integral é realizado simultaneamente à colheita dos colmos, com a redução da velocidade de rotação dos ventiladores da colhedora.

A palha é lançada junto com os colmos no transbordo e, posterior-

diferentes quantidades de palha recolhida (**Tabela 2**).

Os cenários com recolhimento de palha com fardos são identificados pela letra F seguida da quantidade de palha recolhida, assim o cená-

	Colheita Integral							Fardos						
	I10	I20	I30	I40	I50	I60	I70	F10	F20	F30	F40	F50	F60	F70
% palha recolhida	10	20	30	40	50	60	70	10	20	30	40	50	60	70
Base seca ( $t_{bs}/ha$ )	1,1	2,1	3,2	4,2	5,3	6,3	7,4	1,1	2,1	3,2	4,2	5,3	6,3	7,4
% umidade da palha	47,4	43,3	39,6	36,4	33,6	31,3	29,6	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Base úmida ( $t_{bu}/ha$ )	2,0	3,7	5,2	6,6	7,9	9,2	10,4	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,5
Palha total ( $t_{bs}/ha$ )*	3,0	4,0	5,1	6,1	7,2	8,2	9,3	3,0	4,0	5,1	6,1	7,2	8,2	9,3
% perda colmos**	9,0	8,1	7,3	6,6	5,9	5,4	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Cana colhida (TC/ha)	80,9	81,7	82,4	83,1	83,6	84,1	84,5	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0

**Tabela 2:** Palha recolhida e colmos por hectare (\* palha recolhida + 1,9 t de impureza vegetal; \*\* perdas na colheita)

tem cerca de 50 milhões de toneladas de palha de cana-de-açúcar (em base seca) disponível. Considerando que parte deste material pode ser aproveitado na indústria, seja para produção de energia elétrica ou etanol celulósico, foram estimados os custos cenários de recolhimento de palha, considerando os dois sistemas de recolhimento mais discutidos atualmente, fardos e colheita integral (colmo + palha). No sistema de recolhimento com fardos, durante a colheita dos colmos, a palha é lançada ao solo, permanecendo sobre ele até que atinja, em média, umidade de 10% a 15%, o que corresponde a um período de 8 a 15 dias, dependendo das condições climáticas. Após este período, a palha recebe as operações de aleiramento, enfardamento, carregamento e transporte dos fardos até a usina. Assim, o enfardamento tem as operações realizadas após a colheita. Já o recolhimento de palha com colheita

integral é realizado simultaneamente, nos caminhões para transporte até a usina (CARDOSO, 2014).

Considerando estes dois sistemas de recolhimento, foram avaliadas sete quantidades diferentes de recolhimento da palha disponível, ou seja, desconsiderando 4,8% de impureza vegetal na carga dos caminhões, composta basicamente por palha aderida aos colmos que a colhedora não consegue separar durante a colheita (HASSUANI et al., 2005). A impureza vegetal da carga apresenta, em média, umidade de 52% e corresponde a 1,9 toneladas de palha, em base seca, por hectare.

Com as mesmas condições adotadas para o transporte de colmos, foram estimados os custos de produção do colmo e do recolhimento de palha. Considerou-se a produção de 140 kg de palha (em base seca) por tonelada de colmo, com restrição de carga - “Lei da Balança” - e sem restrição de carga, para

rio com 10% de palha, que ficou no campo, recolhida através de fardos é representado por **F10**. De maneira análoga, os cenários com recolhimento de palha utilizando a colheita integral são identificados pela letra I seguido do percentual de palha disponível recolhida, ou seja, o cenário I70 representa colheita integral com 70% de palha recolhida, como mostra a Tabela 2. Para viabilizar o recolhimento de palha via colheita integral, a ventilação dos extratores da colhedora é reduzida, diminuindo também a perda de colmos na colheita, alterando a quantidade de cana colhida nestes cenários (I10 a I70).

Para calcular a redução da perda de colmos com a colheita integral, em função da quantidade de palha recolhida, foram adotados os dados de Hassuani et al. (2005). A velocidade do extrator primário da colhedora está diretamente relacionada com o índice de perda na colheita de cana crua, ou seja,

quanto maior a rotação do extrator, maior será a perda (HASSUANI et al., 2005; NEVES et al.,

viais, causada pelo pisoteio das soqueiras e maior compactação do solo com as operações do enfarda-

integral, a densidade de carga varia em função da quantidade de palha recolhida. A palha ocupa o lugar



*Palha no solo antes do enfardamento (Viviane Celente/CTBE)*

2004, 2006). Índices de perdas na colheita mecanizada estão associados a diversos fatores, tais como: estrutura do talhão, relevo, preparo

mento. Nos cenários com colheita integral, o recolhimento de palha e colheita de colmos são realizados simultaneamente e as perdas

antes destinado ao colmo na carga, porém com densidade menor, impactando na carga transportada (Tabela 3).

	Colmos (t)		Colmos + Palha (t)					170
	Base e Fardos	110	120	130	140	150	160	
<b>Sem restrição</b>	60	55,5	51,4	47,7	44,5	41,7	39,3	37,3
<b>Com restrição</b>	43	43	43	43	43	41,7	39,3	37,3

*Tabela 3: Carga transportada por rodotrem\* (\*colmos inclui % de impureza vegetal)*

do solo, variedade da cana, treinamento do operador da colhedora, manutenção das lâminas do corte de base e velocidade do extrator.

Para este estudo, adotou-se 10% de perdas na colheita, de acordo com Magalhães et al. (2006).

Para determinar o custo da palha, nos cenários com fardos, considerou-se a diferença de custo entre um cenário sem recolhimento e os cenários com recolhimento de palha.

Ou seja, todo o custo adicional é direcionado para a palha já que as operações são exclusivas do recolhimento de palha. Não se considerou, neste estudo, a provável perda de produtividade nos cana-

de colmos são influenciadas pela quantidade de palha recolhida.

Desta forma, a diferença de custo entre os cenários com e sem recolhimento de palha foi dividida proporcionalmente às massas de palha recolhida (base úmida) e de colmo adicional, em função da menor perda na colheita (CARDOSO et al., 2015).

Para o sistema de recolhimento de palha com fardos, por ser uma operação totalmente separada da colheita e transporte dos colmos, não há impacto nos custos com a Lei da Balança, pois a carga de fardos transportada, em média, é de 33 toneladas ficando abaixo do limite permitido. Já para a colheita

Para os cenários de colheita integral com recolhimento inferior a 50% de palha, a capacidade de carga foi reduzida para 43 t devido ao limite de carga com a Lei da Balança.

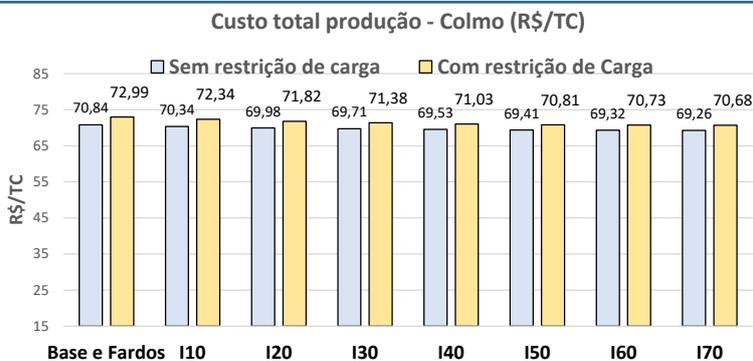
Para os cenários de colheita integral com recolhimento inferior a 50% de palha, a capacidade de carga foi reduzida para 43 t devido ao limite de carga com a Lei da Balança. A partir dessa quantidade de recolhimento de palha, a carga fica limitada pela capacidade volumétrica do rodotrem.

**VEJA  
GRÁFICOS NA  
PRÓXIMA PÁGINA**

Para os cenários de colheita integral com recolhimento inferior a 50% de palha, a capacidade de carga foi reduzida para 43 t devido ao limite de carga com a Lei da Balança. A partir dessa quantidade de recolhimento de palha, a carga fica limitada pela capacidade volumétrica do rodotrem.

O custo total de produção dos colmos está representado na **Figura 1**. Com a colheita integral, constata-se redução da perda de colmos na colheita o que reduz o custo total por tonelada de colmo com o melhor aproveitamento da cana produzida. Observando-se os custos para cenários com restrição de carga, para recolhimento de palha maior ou igual a 50%, o custo do colmo na colheita integral é igual ou inferior ao custo do colmo no cenário atual porque, além da redução de perda na colheita há também um maior aproveitamento do volume do rodotrem. O custo do recolhimento de palha é representado pela **Figura 2**.

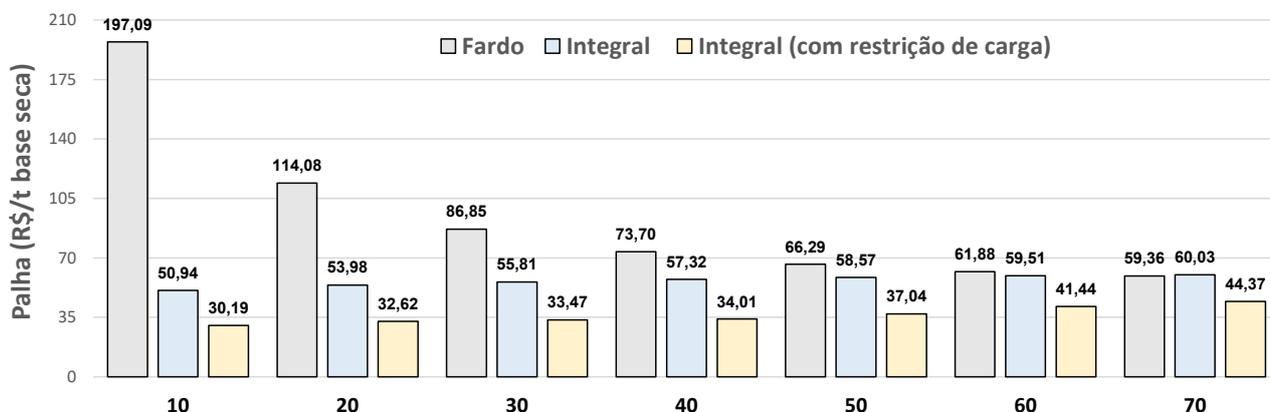
A redução de custos de recolhi-



**Figura 1:** Custo total de produção de colmos (R\$/TC) – valores em R\$ de dez/2016

Fardos, a colheita Integral com restrição de carga, obedecendo aos limites da Lei da Balança, apresenta redução nos custos que ultrapassa 80%, para recolhimento de 10% de palha. Já para recolhimento de 50% da palha, a diferença de custos entre fardos e colheita integral, considerando a lei da balança, é de 44%. Desta forma, a Lei da Balança pode ter seu impacto no custo de transporte reduzido com o recolhimento de palha com colheita integral, e servir como incentivo para a utilização deste sistema. Contudo, para que a colheita integral possa ser amplamente utilizada pelo setor sucroenergético, ainda é necessário definir as formas de pagamento para fornecedores

mento industrial não seja afetado. Neste sentido, o programa SUCRE (*Sugarcane Renewable Electricity*) busca identificar e solucionar os gargalos que possam impedir as usinas parceiras de gerarem eletricidade, de forma plena e sistemática, utilizando a palha disponível com a colheita de cana crua. Dentre os principais objetivos, o programa SUCRE se dedica em aumentar significativamente a produção de eletricidade com baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) na indústria de cana-de-açúcar, por meio do uso da palha produzida durante a colheita. A iniciativa é promovida pelo CTBE, que atuará junto a usinas parceiras para desenvolver solu-



**Figura 2:** Custo de recolhimento de palha (R\$/t base seca) – valores em R\$ de dez/2016

mento de palha no sistema com colheita Integral, devido à restrição de carga, varia entre 25% a 40%, dependendo da quantidade de palha a ser recolhida. Se comparado ao sistema de recolhimento com

de cana quando colmo e palha estão na mesma carga. Outro ponto muito importante é aumentar a eficiência de separação da palha na indústria (eficiência da estação de limpeza a seco) para que o rendi-

ções que elevem a geração à plenitude. O projeto é financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente e gerido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

## REFERÊNCIAS E LEITURAS ADICIONAIS

### AUTORES

<sup>1</sup>**Jorge Mangolini Neves**, Analista de Desenvolvimento Tecnológico no CTBE.

<sup>2</sup>**Mateus F. Chagas**, Analista de Desenvolvimento Tecnológico no CTBE.

<sup>3</sup>**Terezinha Cardoso**, Analista de Desenvolvimento Tecnológico no CTBE.

### CONTRIBUIÇÕES

**Antonio Bonomi**, Coord. da Divisão de Inteligência de Processos; **Henrique Coutinho**, Coord. da Divisão Agrícola do CTBE; **João Nunes**, Pesquisador no CTBE; **Manoel Regis**, Pesquisador no CTBE; **Otávio Cavalett**, Pesquisador no CTBE.

### REVISÃO

**Erik Nardini**, Jornalista, Especialista em Jornalismo Científico, Analista de Comunicação no CTBE.

### SOBRE

O Boletim CTBE é uma realização do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, integrante do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).

### BIBLIOG. CONSULTADA

BONOMI, A.; CAVALETT, O.; DA CUNHA, M. P.; LIMA, M.A.P. (Eds.). Virtual Biorefinery: An Optimization Strategy for Renewable Carbon Valorization. Series: Green Energy and Technology, Springer International Publishing, 1st ed. 2016, XL, 285 p.

DOI: 10.1007/978-3-319-26045-7\_16-17.pdf.

CARDOSO, T.F.; CHAGAS, M.F.; RIVERA, E.C.; CAVALETT, O.; MORAIS, E.R.; GERALDO, V.C.; BRAUNBECK, O.; CUNHA, M.P.; CORTEZ, L.A.B.; BONOMI, A. A vertical integration simplified model for straw recovery as feedstock in sugarcane biorefineries. Biomass and Bioenergy. Volume 81, 216–223, 2015.

CAVALETT, OTÁVIO; CHAGAS, MATEUS F.; MAGALHÃES, PAULO S.G.; CARVALHO, JOÃO L.N.; CARDOSO, TEREZINHA F.; FRANCO, HENRIQUE C.J.; BRAUNBECK, OSCAR A.; BONOMI, ANTONIO (2016). The Agricultural Production Model. In: Antonio Bonomi, Otávio Cavalett; Marcelo Pereira da Cunha; Marco Aurélio Pinheiro Lima. (Org.). Virtual Biorefinery: An Optimization Strategy for Renewable Carbon Valorization–Green Energy and Technology. 1ed.Switzerland: Springer International Publishing, 2016, v. 1, p. 13-51.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v3, (Safra 2016/2017) –Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-74, dezembro 2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_12\\_27\\_16\\_30\\_01\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-3o\\_lev\\_-](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_27_16_30_01_boletim_cana_portugues_-3o_lev_-)

IEA - Instituto de Economia Agrícola. [www.iea.sp.gov.br/](http://www.iea.sp.gov.br/)

HASSUANI, S.J.; LEAL, M.R.L.V.; MACEDO, I.de C.. (Eds.); “Biomass power generation. Sugar cane bagasse and trash.” Published by UNDP-UN and Centro de Tecnologia Canavieira-CTC, Piracicaba, Brazil, 2005 (ISBN 85-99371-01-0). Disponível em: [http://www.sucree-thique.org/IMG/pdf/CTC\\_energy\\_-\\_biomass\\_1\\_.pdf](http://www.sucree-thique.org/IMG/pdf/CTC_energy_-_biomass_1_.pdf).

MAGALHÃES, P. S. G.; MILAN, M.; MOLIN, J. P.; SOUZA, Z. M.; VOLPATO, C. E.; SIMÕES, J. Colheita de cana-de-açúcar e palha para a produção de Etanol. In: WORKSHOP - COLHEITA, TRANSPORTE E RECUPE- RAÇÃO DE PALHA, 2., 2006. Anais... Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 19 p, 2006.

NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTA, W.M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.764-770, 2004.

NEVES, J.L.M. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.3, p.787-94, 2006.