

ROTAS DE RECOLHIMENTO DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

PROJETO SUCRE

NOVEMBRO DE 2019



SOBRE O PROJETO SUCRE

O Projeto SUCRE (*Sugarcane Renewable Electricity*) tem como objetivo principal **aumentar a produção de eletricidade com baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) na indústria de cana-de-açúcar, por meio da palha disponibilizada durante a colheita da cana-de-açúcar.** Para tanto, a equipe trabalha na identificação e solução dos problemas que impedem as usinas parceiras de gerarem eletricidade de forma plena e sistemática. Com início em junho de 2015, são ao todo cinco anos de projeto, com financiamento do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF, da sigla em inglês para *Global Environment Facility*) de cerca de US\$ 7.5 milhões e contrapartida do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) de mais de US\$ 3 milhões. No setor privado, o recolhimento e uso da palha para produção de eletricidade alavancou um investimento de cerca de US\$ 160 milhões pelas usinas parceiras (grande parte já realizada com a instalação de estações de limpeza a seco, reforma ou compra de caldeiras, turbogeradores, enfardadoras e outros equipamentos). A iniciativa é gerida em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e implementada pelo Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR), que integra o CNPEM.

SOBRE O LNBR

O Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia Inovação e Comunicações (MCTIC). O LNBR emprega a biomassa e a biodiversidade brasileiras para resolver desafios relevantes para o País por meio de soluções biotecnológicas que promovem o desenvolvimento sustentável de biocombustíveis avançados, bioquímicos e biomateriais. O Laboratório possui diversas Instalações Abertas a Usuários, incluindo a Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos, estrutura singular no país para escalonamento de tecnologias.

SOBRE O CNPEM

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) é uma organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Localizado em Campinas-SP, gerencia quatro Laboratórios Nacionais – referências mundiais e abertos às comunidades científica e empresarial. O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) opera a única fonte de luz síncrotron da América Latina e está, nesse momento, finalizando a montagem do Sirius, o novo acelerador de elétrons brasileiro; o Laboratório Nacional de Biociências (LNBio) atua na área de biotecnologia com foco na descoberta e desenvolvimento de novos fármacos; o Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) pesquisa soluções biotecnológicas para o desenvolvimento sustentável de biocombustíveis avançados, bioquímicos e biomateriais, empregando a biomassa e a biodiversidade brasileira; e o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) realiza pesquisas científicas e desenvolvimentos tecnológicos em busca de soluções baseadas em nanotecnologia. Os quatro Laboratórios têm, ainda, projetos próprios de pesquisa e participam da agenda transversal de investigação coordenada pelo CNPEM, que articula instalações e competências científicas em torno de temas estratégicos.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	04
O DESEMPENHO DAS ROTAS DE RECOLHIMENTO DE PALHA.....	04
INÍCIO DAS OPERAÇÕES: ALEIRAMENTO DA PALHA.....	04
ROTA 1: FORRAGEIRA.....	05
ROTA 2: ENDARDAMENTO.....	07
ROTA 3: COLHEITA INTEGRAL (CANA+PALHA).....	08
QUAL É A MELHOR ROTA?.....	10
RECOLHIMENTO DE PALHA TRITURADA NO CAMPO: UMA NOVA VIA.....	11
RESULTADOS: DENSIDADE DE CARGA.....	13
RECEPÇÃO E PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA.....	14
EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE LIMPEZA A SECO COM PALHA TRITURADA.....	16
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE APOIO À INOVAÇÃO.....	17

EXPEDIENTE

DIRETOR-GERAL DO CNPEM

Antonio José Roque da Silva

DIRETOR DO LNBR

Eduardo do Couto e Silva

GESTÃO DO PROJETO SUCRE

Manoel Regis Lima Verde Leal | Diretor Nacional
Thayse Aparecida Dourado Hernandez | Coordenadora

REALIZAÇÃO | TEXTOS | ESQUEMAS

Douglas Forchezatto
Jorge Neves

DIAGRAMAÇÃO

Viviane Celente

REVISÃO

Maria Livia Ramos Gonçalves

FOTOGRAFIA

Projeto SUCRE



APRESENTAÇÃO

Com o avanço da proibição da queima da cana-de-açúcar para a quase totalidade das áreas mecanizáveis, a palha surge como resíduo passível de ser utilizado como combustível gerador de energia, pela queima direta em caldeiras, já que esta prática de colheita resulta em uma grande quantidade de material remanescente no campo.

Esta cartilha descreve as rotas de recolhimento da palha, antes relacionada com impurezas vegetais, atualmente vista como um coproduto da cana de açúcar, com destaque para o processamento de palha triturada, em que foi realizado o aprimoramento dos equipamentos envolvidos nesta rota, através das técnicas de prototipagem virtual, com modelamento da biomassa, especialidade da equipe do Projeto SUCRE (*Sugarcane Renewable Electricity*).

Durante o Projeto SUCRE, como os ensaios de campo foram realizados sob circunstâncias específicas de algumas usinas, tais como: condições do canavial, variedade de cana-de-açúcar, textura do solo, implementos e máquinas agrícolas, os dados coletados neste trabalho não podem ser usados como regra geral, pois eles podem não representar outros ambientes de produção de outras usinas do setor sucroenergético nacional.



ESCANEE O QR CODE

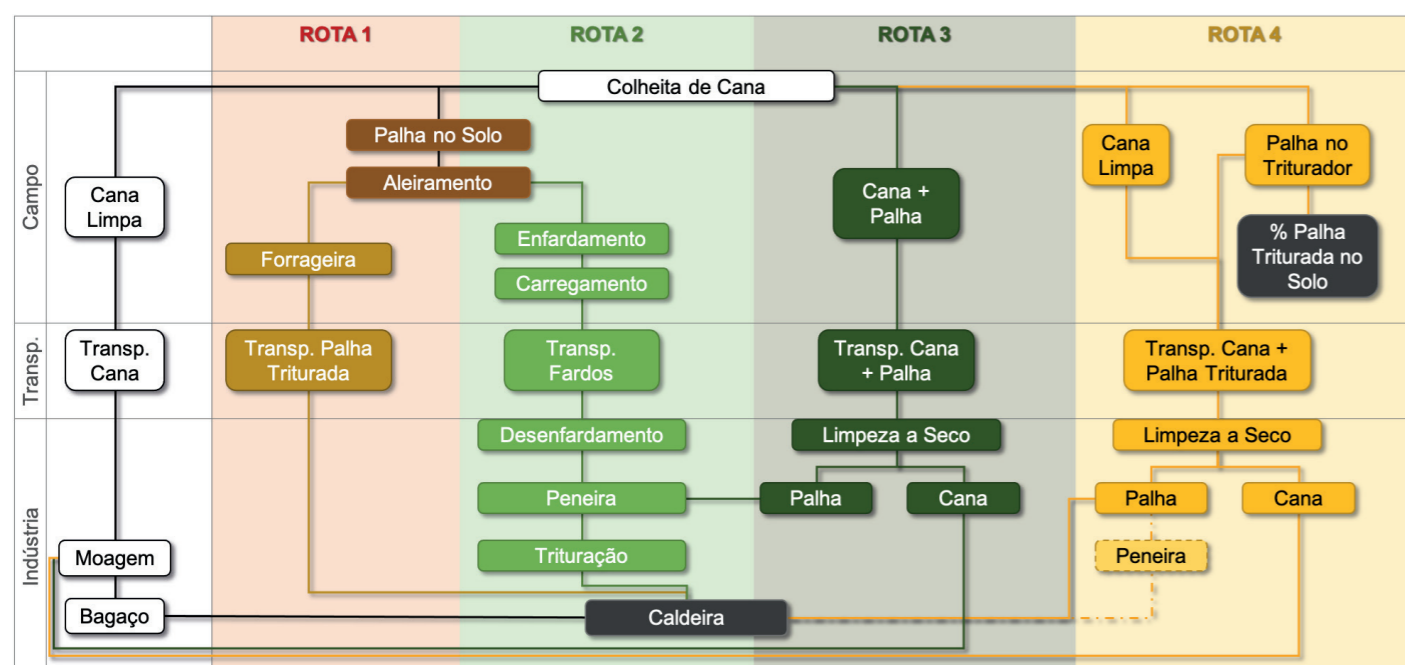
ACIMA OU ENTRE NO LINK
[HTTP://BIT.LY/PROJETOSUCRE](http://bit.ly/projetosucres)
 PARA LER MAIS SOBRE O
PROJETO SUCRE



Operação de aleiramento da palha no campo

O DESEMPENHO DAS ROTAS DE RECOLHIMENTO DE PALHA

ROTAS DE RECOLHIMENTO DA PALHA NO CAMPO



Durante o Projeto SUCRE foram utilizadas e analisadas as quatro rotas de recolhimento da palha no campo apresentadas acima.

INÍCIO DAS OPERAÇÕES: ALEIRAMENTO DA PALHA

Após a colheita da cana e antes da operação de aleiramento, a palha é mantida no campo em um intervalo entre 4 a 10 dias. Antes disso, a palha possui uma umidade muito elevada para ser carregada até a indústria e após o décimo dia, as operações mecanizadas de manejo da cana são priorizadas, frente ao recolhimento da palha.

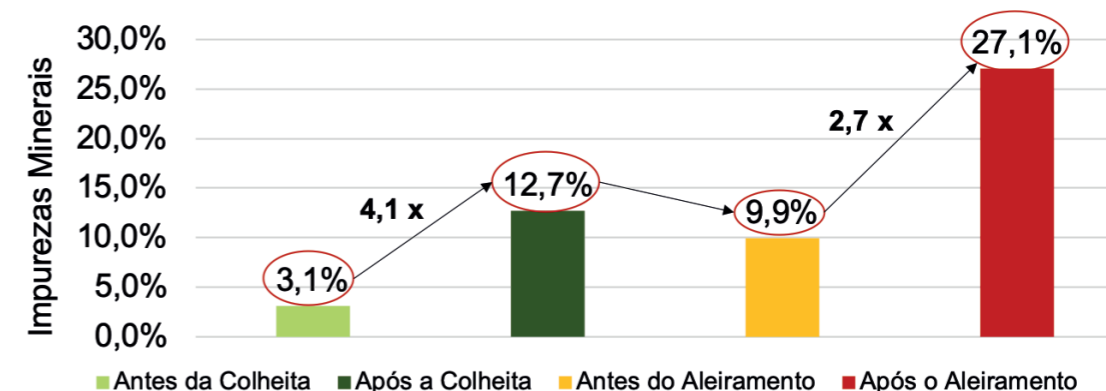
O aleiramento é do tipo triplo, que conta com três passadas do ancinho aleirador para a formação de uma única leira. Com duas passadas são formadas

duas leiras adjacentes e a terceira passada une as duas, formando uma única leira.

Entretanto o processo incorpora impurezas minerais (terra) à biomassa, o que causa graves custos de manutenção na indústria. A fim de melhor compreender esse fenômeno, o Projeto SUCRE avaliou o caminho da impureza mineral incorporada à biomassa não advém somente do aleiramento, mas que a colhedora também contamina a biomassa.

Como pode ser notado na Figura 3, na colheita de cana picada convencional a quantidade de terra aumenta em até 4 vezes, para em seguida ter um acréscimo de quase 3 vezes na operação de aleiramento da palha no campo.

AUMENTO DA IMPUREZA MINERAL NAS OPERAÇÕES DE COLHEITA DE CANA E ALEIRAMENTO DE PALHA



ROTA 1: FORRAGEIRA

Após o aleiramento da palha, a máquina forrageira trafega sobre a leira, e realiza as operações de coleta, picagem e transferência da palha nos caminhões com reboque transbordo, que se movimentam ao lado da forrageira. Os caminhões descarregam essa palha diretamente no estoque de bagaço da usina, formando uma mistura de palha a granel e bagaço, conforme mostram as próximas imagens.

Esta rota tem como capacidade de campo 16,8 t/h; consumo de combustível de 3,3 l/t; densidade de carga de 93,04 kg/m³; além de uma eficiência de recolhimento de 31%, deixando 42% da palha residual na leira; e um índice de impureza minerais de 25% na palha carregada.

Operação da forrageira no campo



Operação da mistura da palha com o bagaço



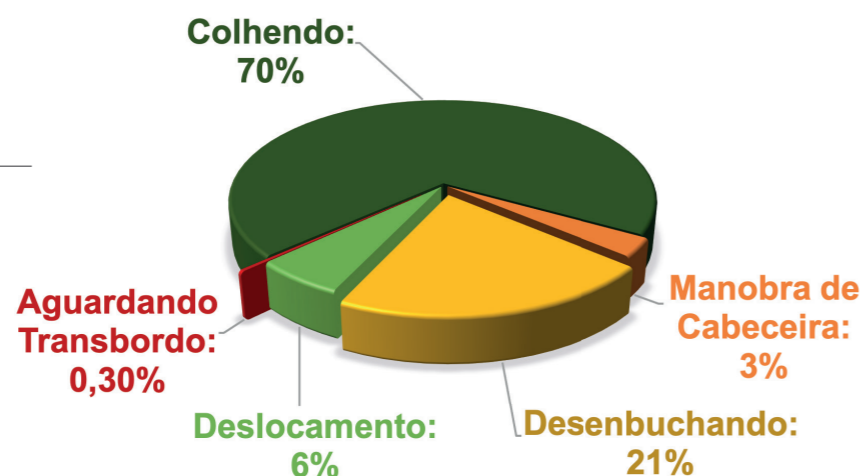
Mistura da palha com o bagaço de cana



Quanto à eficiência operacional, a forrageira opera a 70% do tempo colhendo, mas fica parada por desembuchamento 21% da jornada, conforme gráfico abaixo, pois essa máquina foi originalmente desenvolvida para trabalhar colhendo feno, cultura muito menos agressiva que a cana-de-açúcar. Desse modo sugere-se que esse equipamento deva ser adaptado para melhorar seu desempenho no campo.

A rota de recolhimento de palha a granel, por máquinas forrageiras, possui como principal característica a baixa necessidade de investimentos no âmbito industrial. Como a trituração dessa biomassa é realizada no campo, a palha que chega na usina não precisa passar por um triturador para reduzir o tamanho das partículas para ser utilizada nas caldeiras.

GRÁFICO COM TEMPOS (%) DE OPERAÇÃO DA FORRAGEIRA



ROTA 2: ENFARDAMENTO

A operação de enfardamento tem início após o aleiramento, quando a enfardadora recolhe a palha contida na leira, a adensa e amarra com barbantes longitudinais para transformá-la em fardos prismáticos.

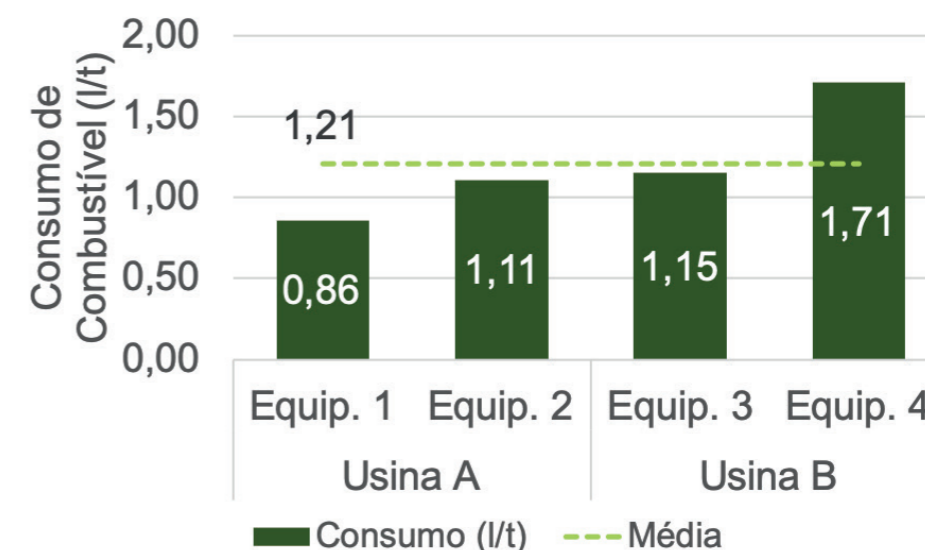
A próxima operação consiste no recolhimento do material compactado, que é realizado pela carreta recolhadora de fardos. A carreta agrupa os fardos em pilhas e os transfere até o carreador, de onde os fardos são carregados no rodotrem com o apoio de uma empilhadeira, para serem entregues na recepção da

planta de processamento de fardos na indústria.

Os ensaios de campo demonstraram (conforme mostram os gráficos seguintes) que as enfardadoras tem em média uma capacidade de campo de cerca de 40 t/h, com uma palha de quase 9% de umidade, com um consumo de combustível de 1,21 l/t, incorporando na palha perto de 18% de terra, para uma eficiência máxima de recolhimento de 46%, deixando 76% da palha residual sobre a região de onde estava a leira de palha, reduzindo a homogeneidade no talhão com impactos agrônômicos na futura soqueira.

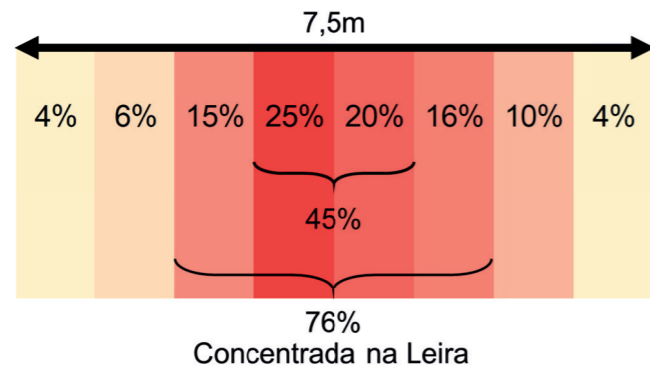
DESEMPENHO DAS ENFARDADORAS

Usina/ Enfardadora	Peso dos fardos (kg em bs)	Capacidade potencial (t/h)	Umidade da palha (%)	Impurezas minerais (%)
A / Equipamento 1	492	43,1	7,4%	12,22
A / Equipamento 2	504	45,5	6,6%	9,72
B / Equipamento 3	538	44,0	11,0%	24,59
B / Equipamento 4	481	34,0	10,4%	24,95
Média	503	41,7	8,9%	17,87



EFICIÊNCIA DE RECOLHIMENTO E LOCALIZAÇÃO DA PALHA RESIDUAL NO ENFARDAMENTO

	Palha potencial (t/ha)	Palha enfardada (t/ha)	Palha residual (t/ha)	Eficiência de recolhimento (%)
Usina A (arenoso)	14,58	6,73	7,85	46,17
Usina B (argiloso)	13,11	4,51	8,59	34,42



Outro ponto a ressaltar é o perfil de distribuição da palha no campo, após a operação de recolhimento, seja ela por fardos ou forrageira. Essa não homogeneidade na distribuição da palha compromete os benefícios agrônômicos da manutenção desta, e é claramente decorrente do processo, uma vez que este concentra a biomassa na leira mas não têm capacidade de processar todo o material.

para a carga juntamente com a cana. As vantagens são a eliminação de todas as operações subsequentes para colheita da palha, seja por fardos ou granel (forrageira), a diminuição das impurezas minerais pelo fato da palha não ter mais contato com o solo e a liberação imediata da área de colheita para as operações de trato culturais, além da independência com relação ao clima, não precisando mais de 4 – 10 dias de sol.

ROTA 3 - COLHEITA INTEGRAL (CANA + PALHA)

A rota 3 dispensa o processo de aleiramento por não recolher a palha do solo. Ao invés disso, durante a operação de colheita a palha não é removida pelos extratores da colhedora, sendo direcionada

Entretanto, tem como pontos críticos a baixa densidade da carga (imagens abaixo) entregue na usina, maior necessidade de equipamentos na frota de colheita, em especial transbordos, com o consequente maior custo por tonelada transportada.



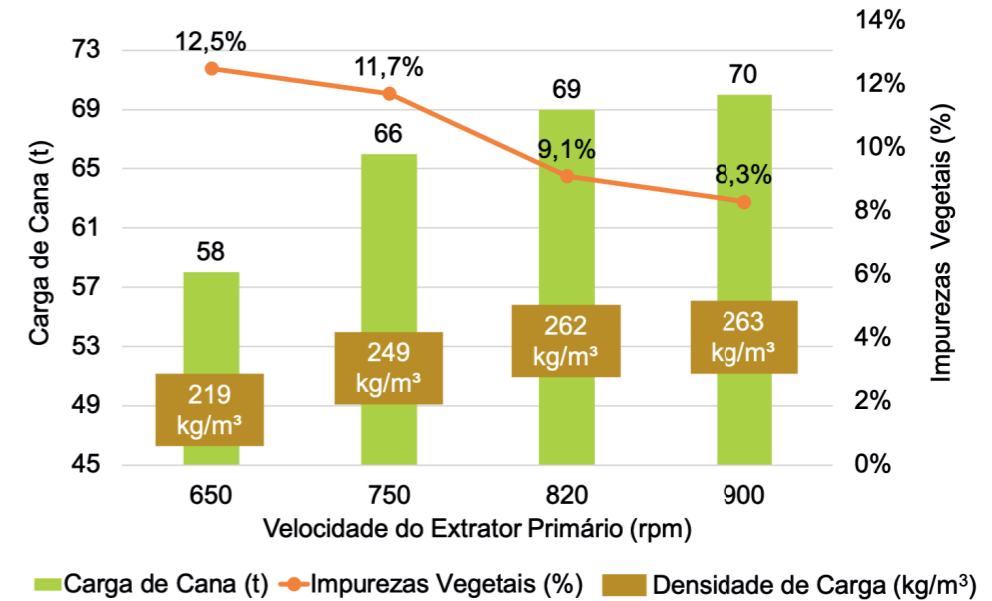
Carga de cana mais palha na rota de colheita integral

Com o objetivo de avaliar os impactos da colheita parcial nos indicadores técnicos do corte, transbordo e transporte, foram realizados testes de influência da velocidade da rotação do extrator primário da colhedora de cana-de-açúcar picada, na quantidade de impurezas vegetais e minerais aderidas à carga, nas perdas visíveis, no consumo de com-

bustível e na capacidade potencial de campo da colhedora (gráficos a seguir).

No gráfico da figura abaixo percebe-se que 4 p.p.(%) de palha na carga, entre velocidades extremas do ventilador, aumenta de 20% na densidade da carga, resultando em 12 t adicionais no peso transportado.

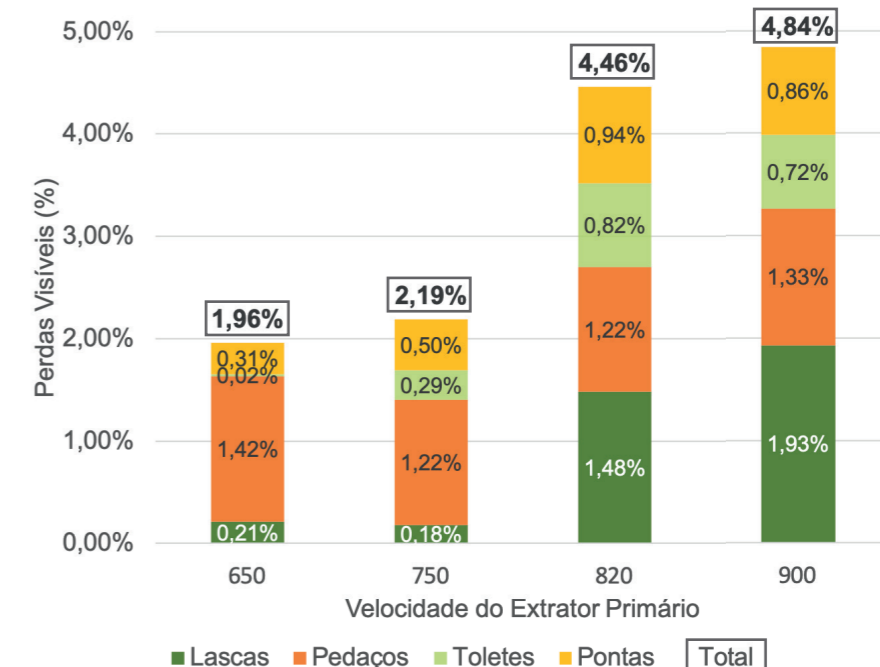
CARGA DE CANA VERSUS IMPUREZAS VEGETAIS



PERDAS VISÍVEIS

No gráfico a seguir, nota-se que as velocidades maiores do extrator resultam em 2,5 vezes mais perdas visíveis no campo que com as velocidades menores.

PERDAS VISÍVEIS VARIANDO A RPM DO EXTRATOR PRIMÁRIO

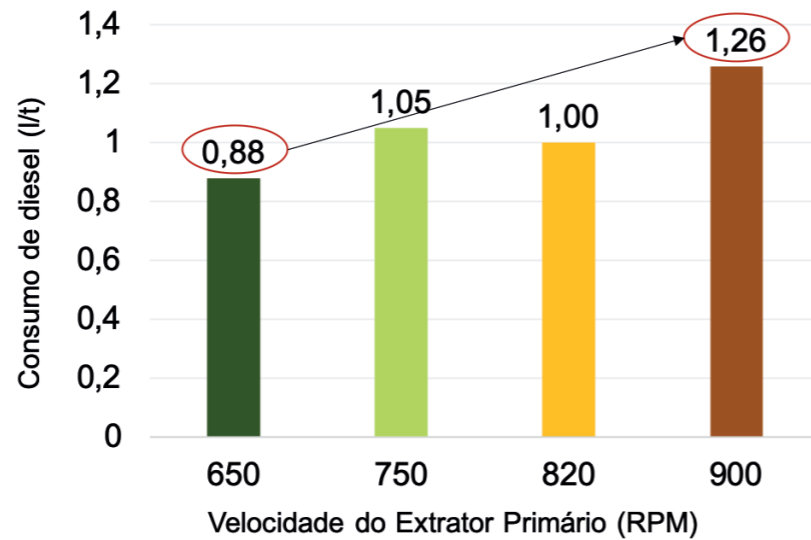


CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

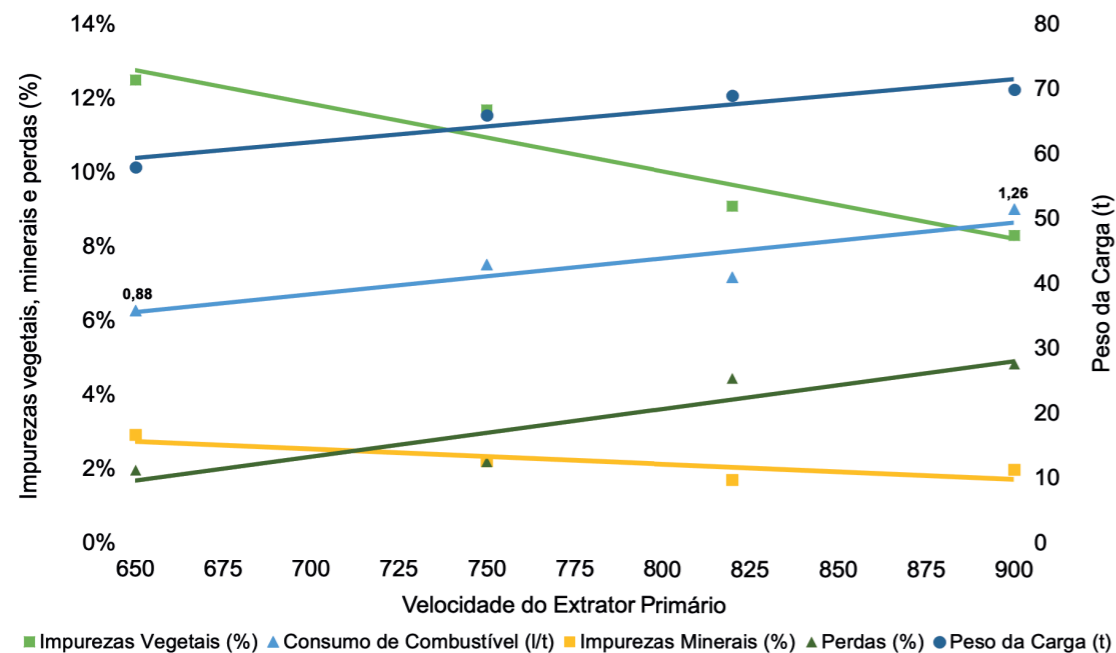
O consumo (gráfico ao lado) de óleo diesel (l/t) foi 40% maior na rotação maior em relação a menor RPM. A figura abaixo revela o resumo do ensaio com todas as variáveis levantadas no campo associadas a cada velocidade do extrator primário.

A redução da velocidade do extrator primário para 650 RPM na colhedora de cana permite uma maior quantidade de palha a ser transportada com os toletes de cana, mas essa estratégia aumenta o custo de transporte devido à redução da densidade. Por outro lado, essa configuração diminui as perdas visíveis de toletes de cana-de-açúcar em 2,8 pontos percentuais quando comparada com a rotação de 900 RPM.

CONSUMO DE DIESEL VARIANDO A RPM DO EXTRATOR PRIMÁRIO



EFEITO DA VARIAÇÃO DA RPM DO EXTRATOR PRIMÁRIO EM CADA VARIÁVEL DE CAMPO



QUAL É A MELHOR ROTA?

No estudo de caso do gráfico acima, realizado com a ferramenta CanaSoft/BVC, considerou-se:

- Moagem de 3Mi t (usina média);
- Recolhimento de 2,6 t/ha de palha (26%);
- Raio médio de 27km;
- Produtividade de 80 TCH (tonelada de cana por hectare);
- 10t de palha/ha (base seca) remanescente pós-colheita.

Obeve-se que, no comparativo das rotas de recolhimento, a rota 3 de Cana Integral (cana+palha) apresentou um custo 39% menor que a rota 1 de palha a granel (Forrageira) e, 47% menor que a rota 2 de (Enfardamento).

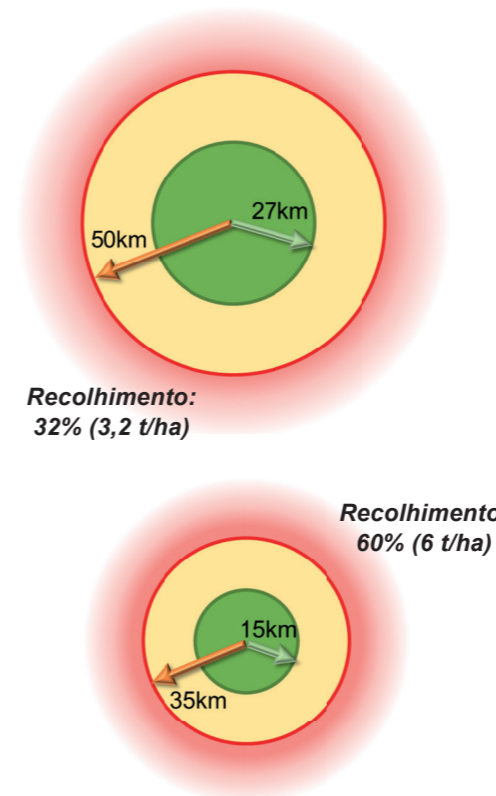
COMPARATIVO DOS CUSTOS DE RECOLHIMENTO

Na mesma usina foi feita uma análise de sensibilidade (figuras a seguir) em relação à distância da

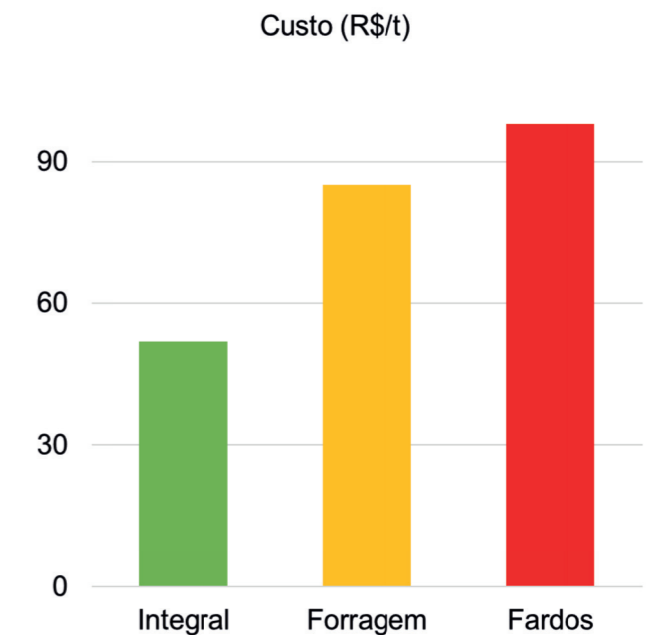
indústria, considerando-se o recolhimento de 32% (3,2 t/ha) e de 60% (6,0 t/ha) da palha.

Como em todas as rotas há prós e contras, a única maneira de avaliar qual rota é mais vantajosa é através da viabilidade econômica, e mesmo através da viabilidade houve a necessidade de incluir na análise o fator distância, uma vez que os custos de transporte, que são os mais impactados, respondem diretamente à essa variável.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS ROTAS EM RELAÇÃO À DISTÂNCIA DA INDÚSTRIA



COMPARAÇÃO ENTRE AS ROTAS DE RECOLHIMENTO DE PALHA



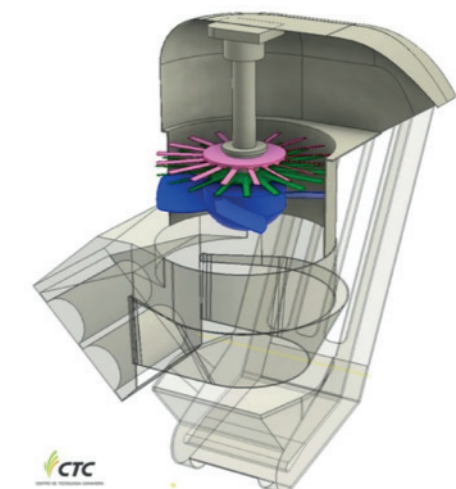
Dessa maneira, observa-se que a estratégia de recolhimento varia de acordo com a distância entre a biomassa e a usina. Para áreas próximas, a colheita integral é a que apresenta melhores resultados, a uma distância média, a viabilidade aponta para a rota 1, com uso de forrageira, e finalmente para distâncias maiores a solução de recolhimento por fardos é a melhor estratégia.

Dito isso, cabe a cada usina avaliar seu perfil e optar pela solução que melhor a atende.

RECOLHIMENTO DE PALHA TRITURADA NO CAMPO: UMA NOVA VIA

O Projeto SUCRE instaurou a Rota 4 de palha triturada no recolhimento, visando reduzir os itens críticos presentes na rota 3 (Colheita Integral), ou seja, a baixa densidade da carga entregue na usina, maior necessidade de equipamentos na frota de colheita, em especial transbordos e baixa eficiência do Sistema de Limpeza à Seco (SLS) na indústria.

A Rota 4 prevê a implementação de um Triturador de Palhas (imagem ao lado), que através de dois conjuntos rotores de facas/contra-facas rotativas, picam todo o material vegetal que passar pelo extrator primário da colhedora de cana.



Triturador de Palhas, rotores de facas/contra-facas rotativas (verde e rosa), instalado no extrator primário da colhedora comercial de cana picada

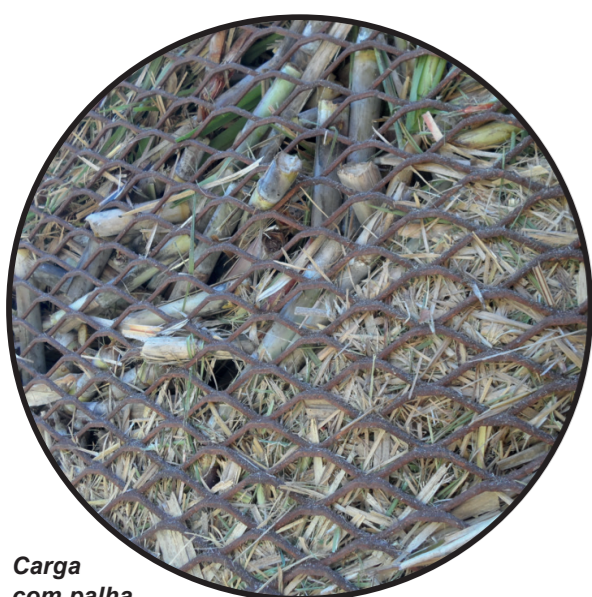
O LNBR/CNPEM, com a anuência do Centro de Tecnologia Canaveira (CTC), construiu um protótipo do conjunto do Triturador de Palha/CTC, com o objetivo de avaliar o efeito da picagem da palha na densidade de carga, no custo de transporte e, principalmente, o impacto na eficiência de um sistema industrial de limpeza a seco de cana-de-açúcar, atualmente no máximo em 38%, segundo testes realizados pelo Projeto SUCRE.

O novo componente foi montado junto ao extrator primário de uma colhedora de cana picada comercial marca Case A7700 (imagem abaixo) de usina parceira do Projeto SUCRE.

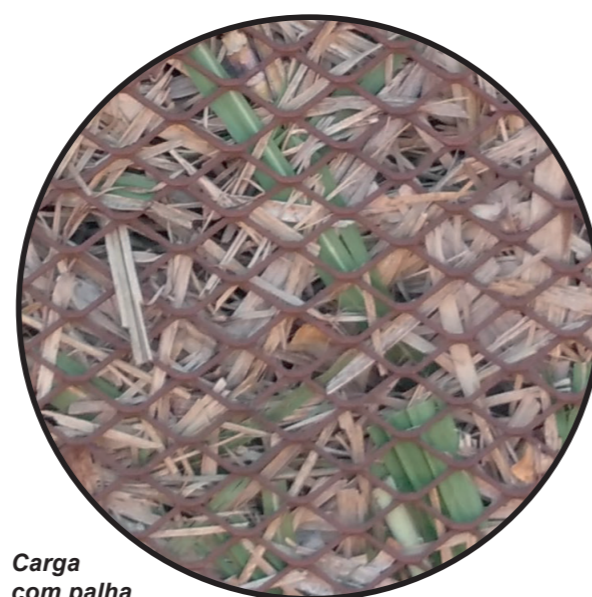
Com a palha triturada, direcionando 50% da biomassa na carga e mantendo 50% no solo (imagem abaixo), mais palha é transportada, com uma maior densidade de carga, reduzindo custo de transporte.



Montagem do triturador de palha/CTC em colhedora comercial de usina parceira, e operando no campo



Carga com palha triturada



Carga com palha picada

RESULTADOS: DENSIDADE DE CARGA

Durante os primeiros testes, quando foi transportada para a usina toda a palha disponível no canavial (100% da quantidade de palha na carga), houve um aumento de 41% na densidade da carga, de 209 para 294 kg / m³, com diferença de 2 pontos percentuais na impureza vegetal, de 16,9 a 18,4%, conforme mostra a figura abaixo.

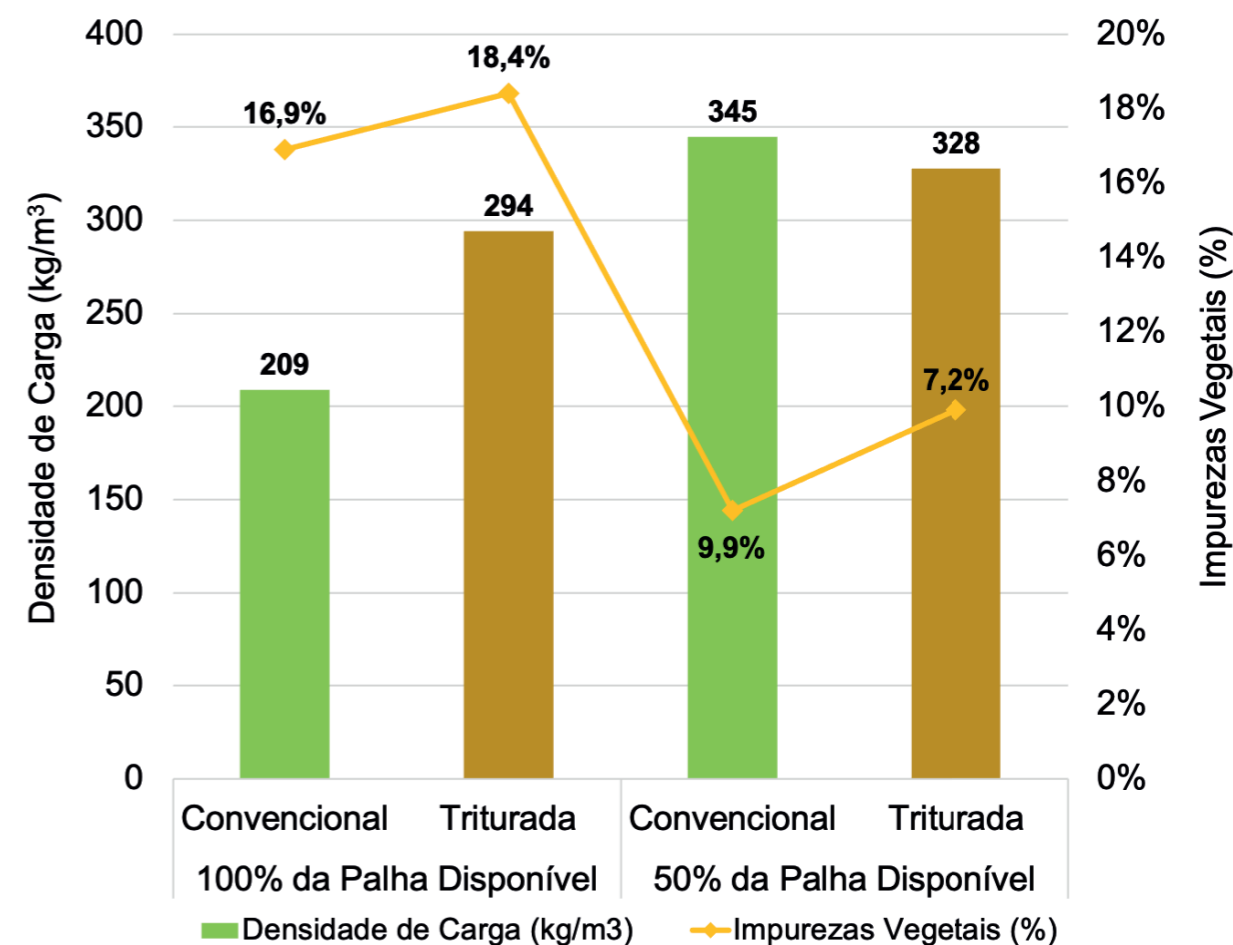
No caso da coleta de 50% da palha disponível no canavial, ou seja, quando a quantidade de palha na carga foi reduzida em 50%, embora a densidade

da carga tenha sido reduzida em 5%, de 345 para 328 kg / m³, verificou-se que as impurezas vegetais aumentaram 38,8%, passando de 7,2 para 9,9%.

Percebe-se no gráfico abaixo:

- 100% Palha triturada : + 9% palha (1,5%) com mais 41% de peso, no mesmo volume (m³) transportado;
- 50% Palha triturada : + 37% palha (2,7%) com apenas menos 5% de peso, no mesmo volume (m³) transportado.

DENSIDADES DE CARGA COM DIFERENTES PORCENTAGENS (%) DE PALHA TRITURADA E CONVENCIONAL (PALHA PADRÃO PROCESSADA POR COLHEDORA DE CANA PICADA CONVENCIONAL)



RECEPÇÃO E PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA

De acordo com cada rota há, na chegada da biomassa na usina, um pré-processamento a ser realizado antes do material estar em condições de seguir com o bagaço para a caldeira.

Se a biomassa chega pela Rota 1 – forrageira –, já está em granulometria próxima à do bagaço e em condições de seguir para armazenamento ou uso na caldeira. Vindo da Rota 2 – enfardamento –, há a necessidade do processo de desenfundamento, peneiramento e trituração, em uma planta específica. Finalmente, se oriunda da Rota 3 – integral, ou da Rota 4 – Integral triturada, há a necessidade de

separação da palha da carga de cana + palha, o que ocorre no Sistema de Limpeza a Seco (SLS). Após a separação, a palha, caso tenha vindo da Rota 3, passa por peneiramento e trituração.

O Projeto SUCRE fez levantamento de campo das eficiências dos SLS existentes, conforme tabela abaixo, que indica que a maior eficiência dos SLS existentes foi de 38%

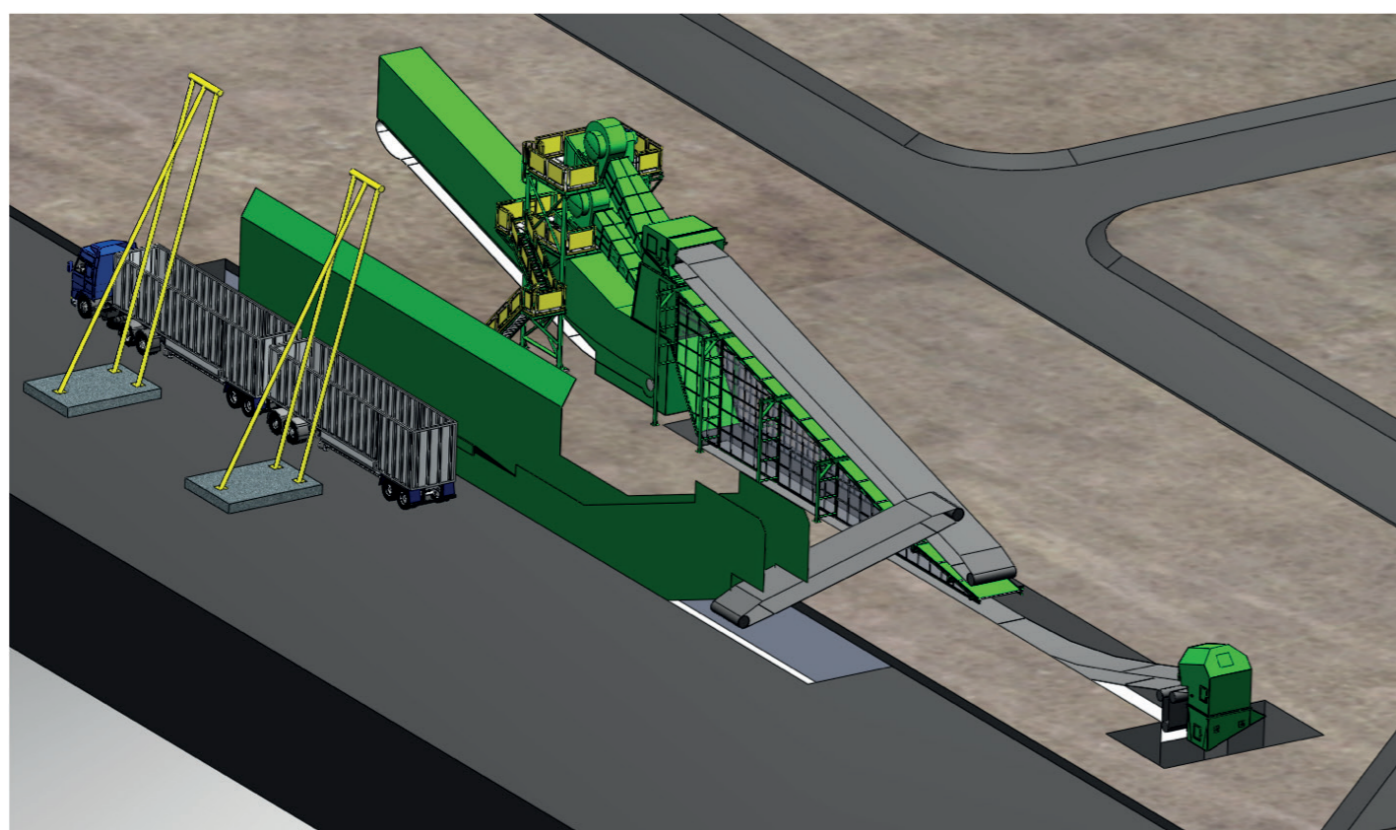
Os layouts demonstram os sistemas de pré-processamento e inclusive uma planta mista, que permite operar com ambos os sistemas, fardos e integral.

EFICIÊNCIA DO SLS COM PALHA PICADA CONVENCIONAL

Usina	Processamento de cana durante o teste (t/h)	Palha na estrada (%b.u.)	Palha separada durante o teste (t/h)	Eficiência de separação de palha (%b.u.)
1	706	5,5	6,9	18
2	555	12,0	17,6	24
3	740	13,0	23,5	25
4	380	12,4	14,4	31
5	157	7,9	2,9	32
6	1051	4,0	14,2	38



Planta industrial de Sistema de Processamento de Fardos



Planta industrial de Sistema de Limpeza a Seco (SLS)



Planta industrial Mista, Sistema de Limpeza a Seco e/ou Sistema de Processamento de Fardos

EFICIÊNCIA DO SLS COM PALHA TRITURADA

A avaliação de impacto na eficiência do Sistema de Limpeza a Seco (SLS) foi realizada comparando-se duas condições. A primeira com o recolhimento de 100% da palha disponível em campo e a segunda com o recolhimento de 50% da palha disponível. Em ambos os tratamentos foram realizados comparativos entre a palha triturada e a palha picada (na granulometria oriunda da colheita convencional).

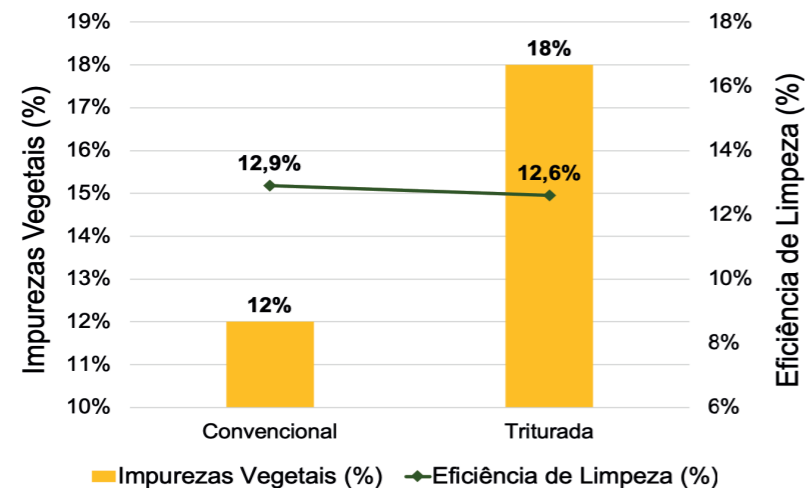
A figura a seguir mostra os resultados de eficiência, bem como a quantidade de impurezas vegetais medidas na entrada, antes de passar pelo SLS.

Na configuração para remover 50% da palha disponível no campo da cana-de-açúcar, os resultados preliminares do teste na usina parceira demons-

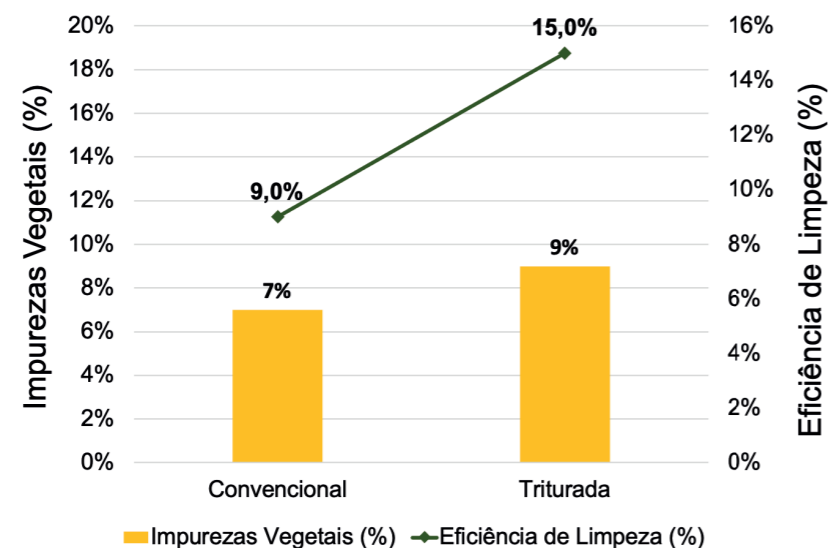
traram que o SLS teve um aumento na eficiência de limpeza de cerca de 67%, operando com palha triturada (de 9 para 15%) Cabe ressaltar que o percentual de palha na carga foi 27% maior, passando de 7% para 9% de impureza vegetal, em palha convencional e triturada, respectivamente. Devido à baixa eficiência do SLS testado, esse resultado deve ser considerado apenas como indicação de tendência e não como um valor representativo.

Por sua vez, para remover 100% da palha disponível no campo da cana, os resultados preliminares do teste na usina parceira demonstraram que o SLS teve a mesma eficiência de limpeza, de cerca de 13%. No entanto, vale ressaltar que o percentual de palha na carga foi 50% maior, passando de 11,8% para 17,6% de impureza vegetal.

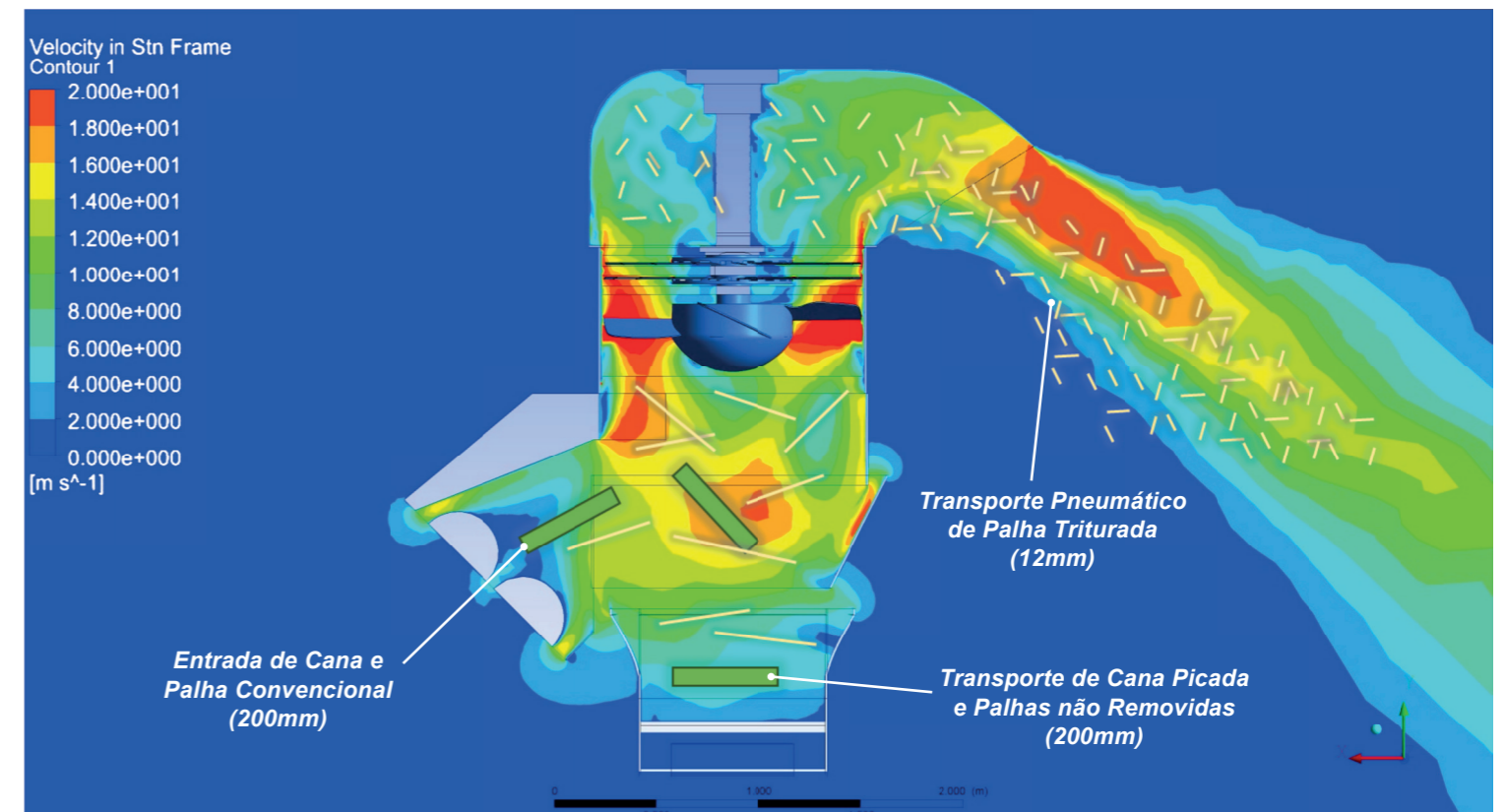
EFICIÊNCIAS DO SLS E PORCENTAGENS (%) DE PALHA NA CARGA, NA COLHEITA DE APROXIMADAMENTE 100% DA PALHA DISPONÍVEL NO CANAVIAL



EFICIÊNCIAS DO SLS E PORCENTAGENS (%) DE PALHA NA CARGA, NA COLHEITA DE 50% DA PALHA DISPONÍVEL NO CANAVIAL



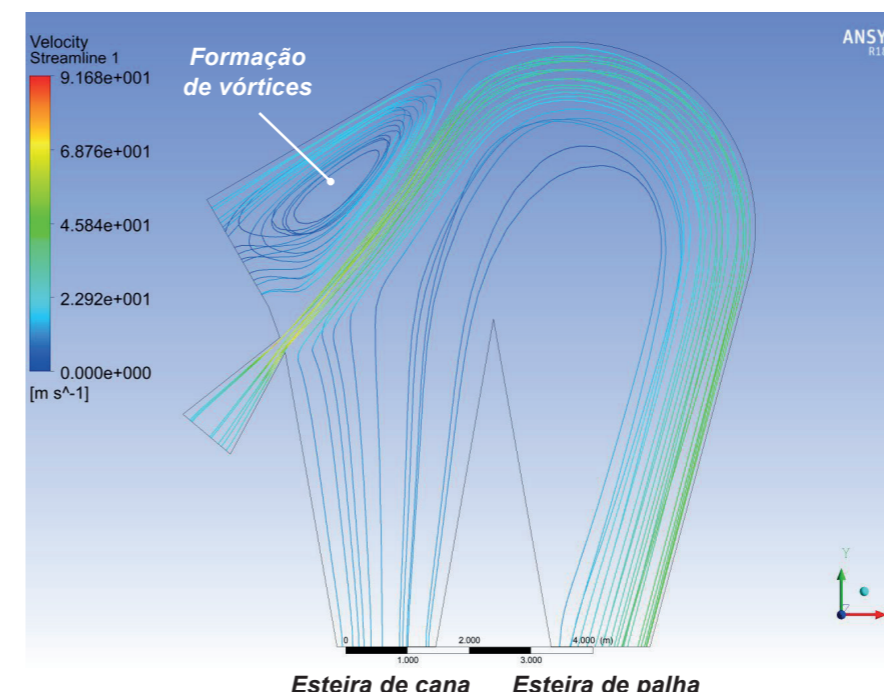
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE APOIO À INOVAÇÃO



Outro legado do Projeto SUCRE é a indicação de aprimoramentos necessários nos equipamentos de processamento da palha, visando o aumento do desempenho destes componentes no futuro, com o seu desenvolvimento pelos fabricantes, indicado pela prototipagem virtual (simulação computacional), elaborada pelos especialistas do Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR/CNPEM).

TRITURADOR DE PALHAS (FIGURA ACIMA)

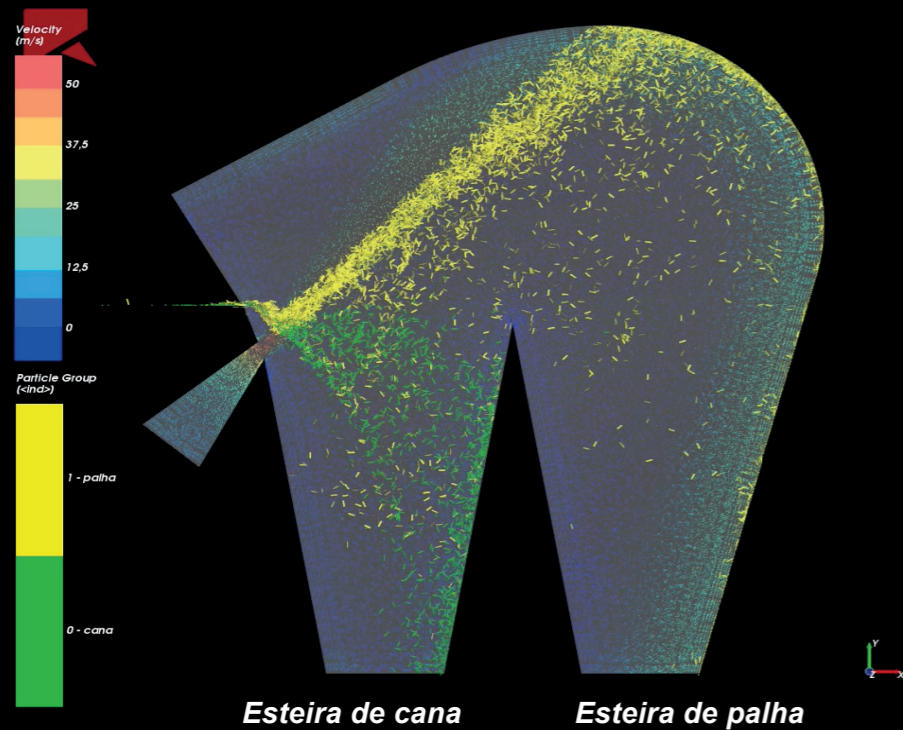
Aprimoramento do Projeto, retirando vórtex e aumentando a eficiência de operação do equipamento. Triturador de Palhas no CFD (Fluido Dinâmica Computacional), com Simulação da condição de operação recomendada – Rotações 1000-1000-1000



SLS - MODELO PADRÃO

Aprimoramento do Projeto, retirando vórtex e aumentando a eficiência de operação do equipamento. SLS no CFD (Fluido Dinâmica Computacional). (Figura ao lado)

Separação de Palha na SLS, Acoplamento de CFD e DEM (Discrete Element Method): SLS modelo padrão, simulação computacional, velocidade média do ar ~ 30 m/s. (Figura da próxima página)



**PROTOTIPAGEM VIRTUAL:
SLS – ANÁLISE DE CFD + DEM, CENÁRIO 1**

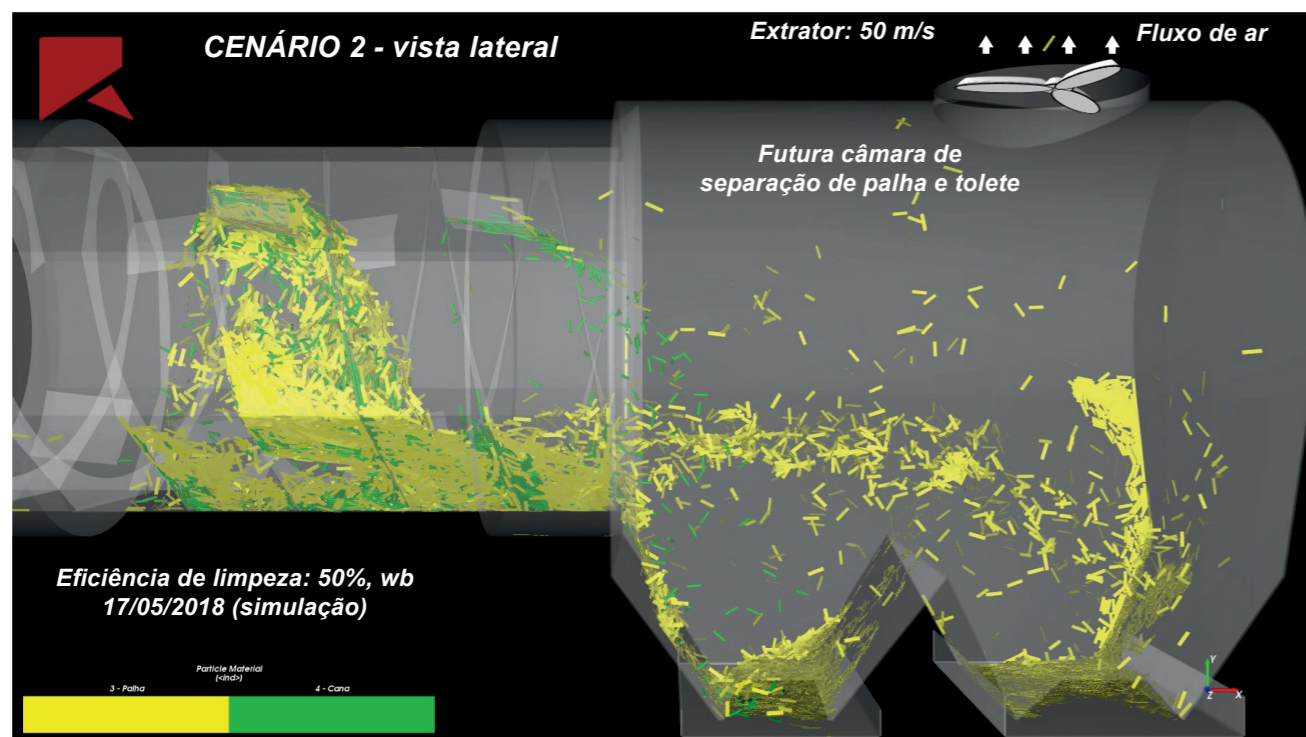
Uma análise da separação da palha (cor amarela) e dos toletes de cana (cor verde), sob influência de um extrator com velocidade de 50m/s.

Um segundo cenário foi feito com o extrator posicionado a 90° em relação ao centro do Cilindro Octogonal (“tubulão”), uma vez que objetiva-se que as palhas fossem separadas e transportadas para a segunda esteira.

**PROTOTIPAGEM VIRTUAL:
SLS – ANÁLISE DE CFD + DEM, CENÁRIO 2**

Para finalizar o estudo com o objetivo de melhorar a eficiência de limpeza do SLS alternativo, foi simulado um outro cenário, com o extrator alinhado com o fluxo da massa de cana + palha (biomassa) e velocidade de 50m/s.

Observando-se a vista diagonal/longitudinal do equipamento, percebe-se que existe um acúmulo de palhas sobre a esteira de palha, meta do traba-



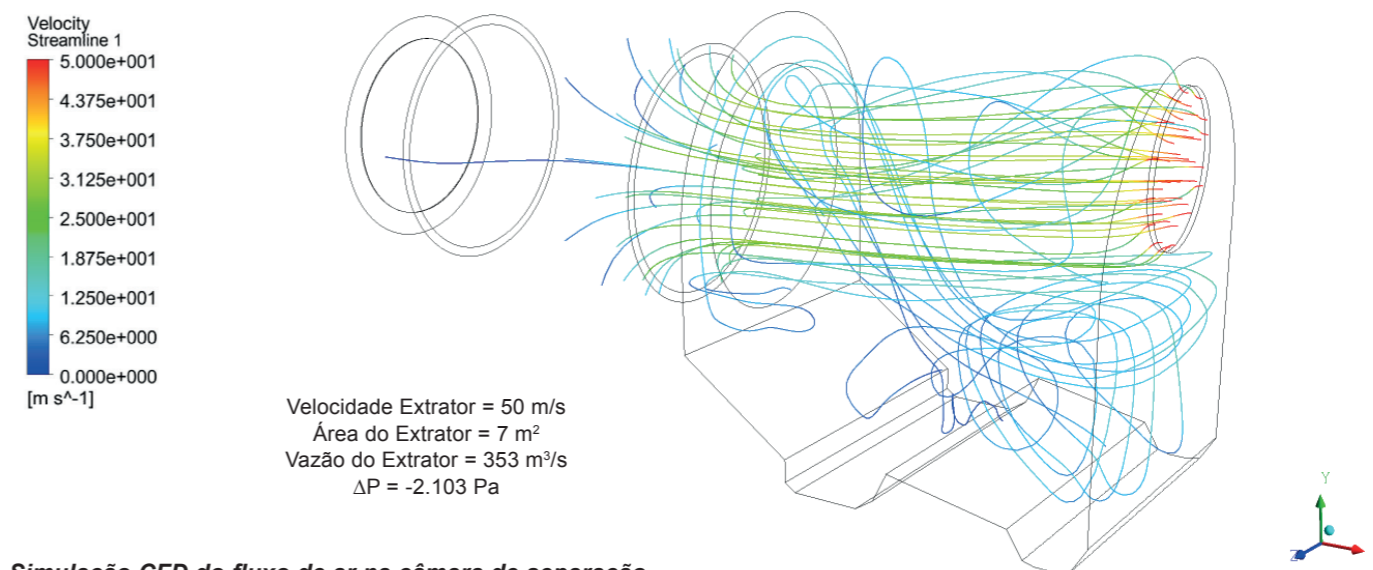
**Eficiência de limpeza: 50%, wb
17/05/2018 (simulação)**

lho, e também se nota que a cana é direcionada para a esteira dedicada.

A utilização da prototipagem virtual, com o auxílio das técnicas de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e DEM (*Discrete Element Method*), melhorou o desempenho do triturador de palha, montado em colhedora de cana picada, e aumentou a eficiência do equipamento Sistema de Limpeza a Seco (SLS),

em suas versões convencional e alternativa.

De posse destas simulações, modelos e cenários, dos SLS, os fabricantes deste tipo de equipamento, em parceria com as usinas proprietárias, aproveitando-se dos resultados obtidos através dos estudos do Projeto SUCRE, que ficarão como legado, já podem decidir qual a melhor opção para implementar em seu SLS.



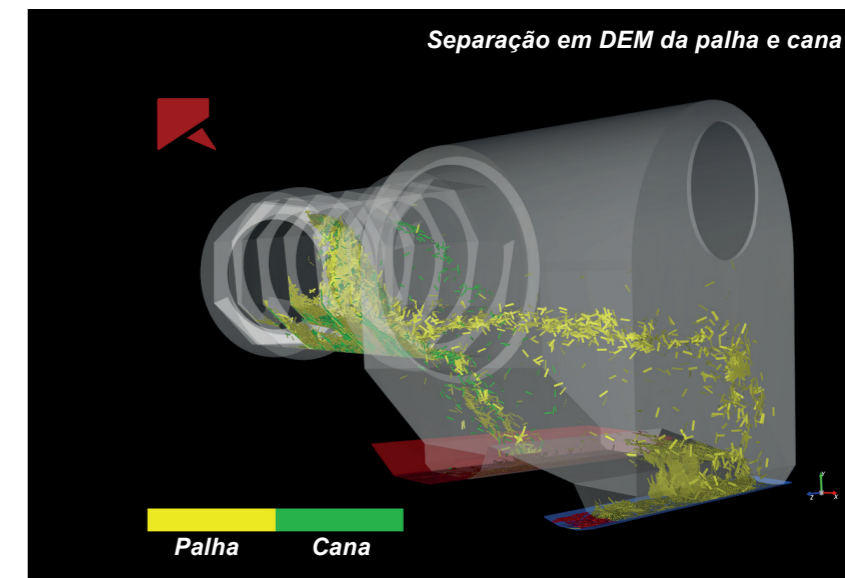
Simulação CFD do fluxo de ar na câmara de separação

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos durante os testes do Projeto SUCRE nas usinas parceiras, concluiu-se que o aumento do teor de impurezas minerais na palha provém primeiramente da colheita da cana-de-açúcar, mas a operação de aleiramento também tem uma contribuição importante de impurezas minerais de impurezas minerais na palha transportada para usina.

Testes de campo mostraram que a redução da velocidade do extrator de colhedora permite aumentar a quantidade de biomassa que pode ser transportada juntamente com os toletes da cana-de-açúcar. Além disso, a velocidade mais baixa favorece a redução de perdas visíveis durante a colheita, reduz o consumo de combustível e aumenta a capacidade operacional da colhedora.

O triturador de palha, modelo CTC, mostrou-se promissor na trituração de palha, uma vez que as características da palha indicaram um tamanho de partícula menor que a convencional, processada pela colhedora de cana picada.



A palha triturada aumentou a densidade de carga, reduzindo os custos de transporte de cana + palha, e o impacto na eficiência (%) do Sistema de Limpeza a Seco (SLS) foi positivo. No entanto, é importante destacar que apenas um teste foi realizado nas condições agrícolas e industriais específicas desse produtor de cana em particular.

Sugere-se que as usinas interessadas em usar a palha como combustível da caldeira, realizem os testes agrícolas e industriais em suas próprias condições de campo e, principalmente, sigam a metodologia de ensaios do Projeto SUCRE relatado nesta Cartilha.



CNPEM
Centro Nacional de Pesquisa
em Energia e Materiais

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

AVISO LEGAL

Apesar das informações neste arquivo derivarem de fontes confiáveis e os autores, revisores e editores deste material terem tomado medidas abrangentes para garantir a compilação e processamento destas informações em padrões comumente aceitos, o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais – CNPEM, seus representantes, funcionários, diretores, agentes, fornecedores ou terceiros mencionados neste arquivo não fazem qualquer declaração ou dão qualquer tipo de garantia, expressa ou implícita, sobre a veracidade, exatidão, adequação ou conformidade da informação para uma finalidade específica (comercial ou não) ou ausência de infração de propriedade intelectual ou direito autoral. Em nenhuma hipótese o CNPEM, seus representantes, funcionários, diretores, agentes, fornecedores ou terceiros serão responsáveis por danos diretos, indiretos, incidentais, punitivos, especiais ou consequenciais de qualquer natureza (incluindo, sem limitação, danos materiais e morais decorrentes do uso, incapacidade de uso ou resultados do uso) sejam eles baseados em garantia, contrato, responsabilidade civil ou qualquer outra teoria legal ou equitativa. O conteúdo desta publicação é protegido por leis de direitos autorais, tratados internacionais ou outros tratados e leis de propriedade intelectual. Exceto se expressamente disposto de forma contrária, os dados gerados pelo CNPEM no bojo do Projeto SUCRE podem ser reproduzidos desde que seja citado a autoria como sendo do Projeto SUCRE/LNBR/CNPEM e mantendo fidelidade ao conteúdo oficial dos documentos publicados.