

APLICAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO₂ PELA QUEIMA DE BIOMASSA: CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Antônio Vitor Barbosa Fernandes¹ | José Américo De Oliveira Dórea¹ | José Ricardo Ribeiro Amorim¹
| Said Moreno Barbosa Pereira¹ | Manuela Souza Leite² | Paulo Jardel Pereira Araujo³

Engenharia Química



ISSN IMPRESSO: 1980 - 1777
ISSN ELETRÔNICO: 2316 - 3135

RESUMO

No início do século XX, os cientistas começaram a se preocupar com o fenômeno do aquecimento global, causado pela quantidade elevada de CO₂ e outros gases tóxicos liberada na atmosfera. Um dos principais responsáveis desse fenômeno, além dos automóveis nas grandes cidades, são as queimadas. No Brasil, desde o início da colonização a cana-de-açúcar se tornou a principal fonte econômica, por este motivo os investimentos nesse setor não se voltaram para a questão ambiental resultando em um desequilíbrio ecológico, o qual não só se deu pela devastação de vegetação nativa, mas também pela queima feita antes da colheita para facilitar o trabalho. Com a descoberta do etanol como combustível, a atividade canavieira se acentuou mais ainda, tornando-se responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. A partir dessa situação foi criado um código de programação para controlar a emissão do dióxido de carbono, adequando-a à taxa permitida pela lei. Os resultados dos testes permitiram concluir que o corte manual, o qual exige as queimadas, devem ser substituídos pelas máquinas, tanto por fatores ecológicos quanto humanísticos.

PALAVRAS-CHAVE

Cana-de-açúcar. Queima de Biomassa. Programação.

In the early twentieth century, scientists began to worry about the global warming phenomenon, caused by the high amount of CO₂ and other toxic gases released into the atmosphere. One of the greatest contributors to this phenomenon, in addition to cars in large cities, is burning. In Brazil, since the beginning of the colonization, sugar cane became the main economic source, and, because of that, the investments in this sector have not turned to the environmental issue resulting in an ecological imbalance, due not only to the devastation of vegetation, but also to the burning which takes place before harvest, aiming to facilitate the work. With the discovery of ethanol as fuel, sugarcane industry deepened further, becoming responsible for about 98% of greenhouse gases from the burning of agricultural waste in Brazil. Because of this situation, a programming code to control the emission of carbon dioxide was created, adjusting it to the rate permitted by law. Test results showed that manual cutting, which requires burning, should be replaced by machines, due to ecological and humanistic factors.

KEYWORDS

Sugar Cane. Biomass Burning. Programming.

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global sempre foi uma preocupação dos cientistas do século XX. O fator preponderante desse fenômeno (provindo do efeito estufa) é a emissão de gases poluentes proporcionados pela queima de biomassa, em especial o CO₂ (REID, *et al.*, 2005).

Com o intenso crescimento da emissão de gases e, também, de poeira que vão para a atmosfera, certamente a temperatura do ar terá um aumento de aproximadamente 2°C em médio prazo. Caso não haja um retrocesso na emissão de gases, esse fenômeno ocasionará uma infinidade de modificações no espaço natural e, automaticamente, na vida do homem. Como por exemplo: mudanças climáticas drásticas, aumento significativo na incidência de grandes tempestades, furacões ou tufões e tornados, perda de espécies da fauna e flora, contribuir para o derretimento das calotas de gelo localizadas nos polos e, conseqüentemente, provocar uma elevação global nos níveis dos oceanos (FREITAS, 2007).

A crescente evolução do setor sucroalcooleiro no país ocorre devido à crescente demanda de utilização dos combustíveis renováveis (etanol) e produção de alimento (açúcar) de modo economicamente competitivo e ambientalmente sustentável (MARQUES *et al.*, 2009).

O cultivo da cana-de-açúcar, é responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil devido à diversidade de produtos e subprodutos derivados (LIMA *et al.*, 1999).

Uma boa opção para evitar a queima da cana-de-açúcar é a utilização de máquinas para a colheita, porém, mecanizando totalmente este serviço o índice de desemprego se eleva, desencadeando outro problema direcionado à sociedade. Além disso, leva-se em conta que as máquinas também podem prejudicar o solo, pois causam compactação e perda da matéria prima, além de serem grandes consumidoras de óleo diesel, chegando a alguns lugares ao consumo de meio quilometro por litro de diesel consumido (RIPOLI e RIPOLI, 2004).

Este problema não está relacionado apenas ao cultivo da cana-de-açúcar, mas a todo tipo de queima de biomassa, pois este se trata não só da poluição do ar, mas também do desmatamento e contaminação dos solos.

Tendo em vista a redução de emissão de CO_2 na queima de biomassa, por meio de um cálculo que indica se a área queimada é permitida ou não e outro cálculo que exhibe a emissão de carbono e indica se estiver dentro do permitido ou não pela lei; o presente trabalho teve a finalidade de ajustar a emissão de carbono a um nível máximo permitido pela lei e/ou evita-la.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A redução de emissão CO_2 é um dos principais temas em discussão da atualidade, pois ele é o principal gás do efeito estufa, fenômeno que mantém a temperatura do planeta em condições ideais de sobrevivência. Um balanço feito na década de 1980 mostra que, dos 8 bilhões de toneladas de carbono emitidas anualmente na forma de dióxido de carbono (CO_2) pela queima de combustíveis fósseis, somente 3,2 bilhões permanecem na atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa (aumento do aquecimento da superfície e da troposfera devido à absorção de radiação infravermelha termal por vários gases minoritários da atmosfera, principalmente o dióxido de carbono). O restante é reabsorvido pelos oceanos e pela biota terrestre (NOBRE; NOBRE, 2002).

Nota-se que o papel da biota terrestre é muito importante, pois ele é o principal sumidouro do excesso de carbono atmosférico. Estima-se que esse sumidouro tenha sido responsável por retirar 1,9 gigatonelada de carbono por ano da atmosfera na década de 1980. Há evidências apontando que tanto as florestas temperadas como as florestas tropicais estão reassimilando parte desse excesso CO_2 atmosférico. Amazônia é uma fonte de CO_2 para a atmosfera, em função do desmatamento de entre 15 e 20 mil km ao ano, somente na Amazônia brasileira (INPE, 2001). Entretanto, uma série de estudos recentes sobre o papel das florestas tropicais da Amazônia no ciclo de carbono abre a possibilidade de que, também, as florestas tropicais estejam desempenhando um papel relevante como sumidouros de CO_2 (NOBRE; NOBRE, 2002).

No Brasil, a emissão per capita de CO_2 variou pouco ao longo da última década: de 1,9 toneladas por pessoa em 2001 para 2,2 toneladas em 2011. O que mostra uma triste realidade brasileira, o aumento da emissão de CO_2 , responsável por 1,4% do total mundial das emissões de CO_2 (BBC, 2012)

O setor do transporte é um dos principais emissores de gases do efeito estufa e está aumentando cada dia em todo o mundo, em função do crescimento da economia mundial. Os meios de transporte emitiram 36% a mais gases para o efeito estufa em 2000 do que em 1990 (ANTAQ, <s.d.>). A crescente mobilidade circulação de pessoas e mercadorias é o que causou esse aumento. O comércio internacional, associado ao estilo de vida das pessoas, está vinculado significativamente à emissão de gases de efeito estufa.

Para minimizar as emissões de gases na atmosfera pelo escapamento de veículos, são utilizados filtros que em geral custam, em média, R\$ 800,00 reais e não são muito viáveis, pois a manutenção é semanal. Mas uma ideia do garoto Ricardo Castro de Aquino, de 18 anos pode mudar esse quadro agravante. Ele criou um sistema de filtros com uma serpentina, feltro automotivo e um gel de origem vegetal que reduz cerca de 86% da emissão de

82 | gases, custa apenas R\$ 60,00 e a manutenção é simples, basta bater o filtro para retirar as impurezas, passar novamente o gel e recolocá-lo no lugar. Este jovem foi o primeiro colocado do 24º Prêmio Jovem Cientista na categoria Ensino Médio (REVISTA GALILEU, 2010).

A adoção generalizada de uma taxa de carbono constitui uma forma eficaz de reduzir as emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa) e de proceder à divisão da utilização da capacidade natural de processamento de CO₂ pelo sistema Terra. Bem comum da humanidade que era sobrando até ao início da industrialização, em meados do século XIX e que, entretanto se tornou escasso, deixando de limitar a subida da concentração dos GEE na atmosfera, com as consequentes perturbações climáticas que se demonstram muito mais prejudiciais para as gerações futuras (GARCIA, 2010).

De acordo com Asis (2012), Os incêndios e as queimadas no cerrado brasileiro estão produzindo mais de 230 toneladas de gás carbônico (CO₂) todo ano, superando até as estatísticas da Amazônia Legal nesse quesito.

Segundo Coutinho (1990), o fogo ao agir como elemento seletivo sobre a vegetação, propicia o aparecimento de flora indicadora, estimulando a rápida formação de brotos verdes, independentes das chuvas, por meio de seu efeito de poda sobre estas plantas, que utilizam reservas armazenadas no sistema radicular.

A fumaça decorrente da queima de biomassa em ambientes abertos produz efeitos adversos indiretos sobre a saúde, como a redução da fotossíntese, o que provoca diminuição das culturas agrícolas, ou o bloqueio dos raios ultravioletas A e B, provocando um aumento de microorganismos patogênicos no ar e na água, além do aumento de larvas de mosquitos transmissores de doenças (ARBEX *et al.*, 2004)

De acordo com Antunes *et al.* (<s.d.>), a queima da palha de cana-de-açúcar promove a limpeza das folhas secas e verdes que são consideradas matéria-prima descartável e um dos pontos mais críticos é a emissão de gases do efeito estufa como o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), o óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e a formação de ozônio (O₃), além da poluição do ar pela fumaça e fuligem. A queima da palha equivale à emissão de 9 kg de CO₂ por tonelada de cana, enquanto a fotossíntese da cana retira cerca de 15 toneladas por hectare de CO.

Para Mattos (2002), frequentemente as queimadas da palha de cana-de-açúcar matam animais e plantas, promovendo o desequilíbrio ecológico e invadem áreas de nascentes rodeadas por matas ciliares. E durante as queimadas diversos animais, como répteis, aves, insetos e mamíferos, não conseguem escapar do fogo e acabam morrendo queimados.

Um das soluções para a queima de biomassa no cultivo da cana-de-açúcar é a mecanização da colheita, que de acordo com Plec *et al.* (2007) este tipo colheita apresenta vários problemas econômicos e operacionais.

3 MECANIZAÇÃO DA COLHEITA: HOMEM X MÁQUINA

Inicialmente, Portugal tinha no Brasil a fabricação do açúcar como objetivo econômico. A cana-de-açúcar era a principal fonte econômica agrícola e a maior das bases econômicas da história brasileira. Teve origem na Ásia e adaptou-se ao clima do Brasil porque é própria para climas tropicais e subtropicais (THEODORO apud BRANDÃO, 1985).

Há certa dúvida a respeito de quando as primeiras mudas foram trazidas para o Brasil. Segundo Theodoro (2011, apud BRANDÃO, 1985), as primeiras mudas podem ter sido introduzidas pelos arrendatários portugueses em 1502, ou em 1532 por Martim Afonso de Sousa.

O rei de Portugal daquela época, Dom João III, adotou o modelo de Capitânicas Hereditárias, que consistia na doação de grandes extensões de terra, com direito ao uso extensivo dos recursos naturais existentes. Foram então oficialmente introduzidas as primeiras mudas de cana-de-açúcar trazidas da ilha da Madeira por Martim Afonso de Sousa, tornando-se o principal cultivo comercial da Capitania de São Vicente, São Paulo, onde a indústria açucareira prosperou nos primeiros anos de exploração (THEODORO, 2011).

A partir de então, a produção de cana-de-açúcar no Brasil era direcionada para o comércio exterior de açúcar e feita por grandes proprietários, fato contribuinte de um sistema fundiário que resiste até os dias atuais (THEODORO, 2011).

A monocultura da cana começou a se expandir por grandes extensões territoriais pela Zona da Mata Pernambucana em 1534 e sob o comando de Duarte Coelho coube à Capitania de Pernambuco a construção de engenhos.

A cana-de-açúcar era cultivada em morros, beiras de rios e em planícies, dando importância às áreas litorâneas, para facilitar a exportação do açúcar. O ciclo estendeu-se da faixa litorânea de São Paulo até o Nordeste. O fato de a monocultura canavieira limitar-se ao litoral se deu por causa dos poucos recursos tecnológicos, humanos e de logísticas, além da dificuldade de exploração territorial para o preparo do plantio. Conforme Theodoro (2011, apud ADÃO, 2007), grandes extensões de matas foram derrubadas e queimadas para o plantio. Usava-se mão de obra escrava e a super exploração do solo, e pela perda das riquezas nutricionais eram motivadas novas derrubadas, sistema denominado *plantation*. No começo foi utilizado mão de obra indígena, a qual foi sendo substituída por escravos africanos.

O desmatamento foi favorecido pela falta de recursos tecnológicos para recuperação do solo, a solução para repor as áreas para o cultivo da cana-de-açúcar era explorar novas áreas, pois naquela época havia grandes territórios disponíveis.

A atividade canavieira proporcionou um início de crescimento econômico para o Brasil, apesar da exploração de outros recursos e da dificuldade em descobrir outras áreas para o plantio, sabendo-se que a área plantada era insignificante em relação ao tamanho do país.

De acordo com Rosseto (2008, apud THEODORO, 2011), no século XVI a cultura da cana ocupava terras férteis e, para agilizar a exportação da mercadoria para a Europa, expandiu-se de forma estratégica em regiões litorâneas nordestinas, facilitando o comércio. Em consequência disso, o Bioma mais prejudicado foi o da Mata Atlântica, praticamente dizimada pela ocupação canavieira.

No século XX, iniciou-se o estudo tecnológico para fabricação do motor a álcool, e suas pequenas usinas poderiam ser aperfeiçoadas para a fabricação do etanol. Outra motivação foi o decreto 19.717 de 20 de janeiro de 1931, criado por Getúlio Vargas, o qual determinava a obrigatoriedade da composição de 5% de álcool em toda gasolina importada. Esses fatores, junto à criação de outros programas como o IAA (Instituto do Alcool e açúcar) e, mais tarde, o Proalcool, proporcionaram mais ainda a cultura da cana-de-açúcar.

No Brasil a queima dos canaviais antes da colheita é uma prática usual, pois facilita o corte manual evitando que as palhas secas e as folhas verdes atrapalhem a operação e machuquem os trabalhadores, eliminando, também, animais vertebrados e insetos. Entretanto, o corte mecanizado dispensa esta etapa de queima, visto que as máquinas podem executar a colheita com a cana em seu estado natural (DELGADO e CESAR, 1977).

Segundo Ripoli e Ripoli (2004) até o início da década de 50, os canaviais eram colhidos manualmente e sem queima prévia, com a adoção de máquinas carregadoras e para aumentar a capacidade do corte manual, introduziu-se a queima, existente até os dias de hoje. Com o conhecimento dos problemas ambientais que essa prática ocasiona, algumas regiões canavieiras têm imposto legislação específica com o intuito de evitar ou permitir, sob certas condições, o uso do fogo em canaviais. Para o Estado de São Paulo a Lei que está prevalecendo é a nº 11.241 de 19/09/2004, assinada pelo então Governador Geraldo Alckmin, que relata: - No ano de 2021, 100% da área que pode ser cortada mecanicamente, com declividade até 12%, terá a eliminação total da queima.

Em consequência da versatilidade citada na cultura da cana-de-açúcar e a sua importância de ordem mundial, é importante conhecê-la de uma forma científica em diversos âmbitos, inclusive no âmbito técnico-ambiental, onde se observa que a prática da colheita com queima, emite para o ar atmosférico grandes quantidades de gases que contribuem não só para o efeito estufa, mas também para a chuva ácida e a inversão térmica, que por sua vez são fenômenos responsáveis por problemas respiratórios nos moradores, principalmente de crianças, em cidades que apresentam grandes áreas com o plantio da cana-de-açúcar. Entretanto, a substituição da força de trabalho manual pelas máquinas colhedoras de cana-de-açúcar tem aspectos opostos de avaliação, ou seja, enquanto pode provocar desemprego para uma classe de trabalhadores menos preparados, pode também proporcionar uma melhora ambiental e redução de poluição na cultura da cana-de-açúcar (MARQUES *et al.*, 2009).

Na figura 1 pode-se observar a queimada de uma plantação de canavial, onde se pode notar a liberação de gases, prejudiciais à atmosfera, as comunidades que estão nas proximidades, entre outros problemas citados acima. Entretanto há muitas desvantagens no cultivo da cana-de-açúcar sem a utilização de queimada prévia, com a presença de restos culturais no campo, como: dificuldade de mão-de-obra disponível para a adoção da técnica e resistência do próprio cortador em executá-la; desempenho de corte menor, tanto manual como mecânico, implicando em maiores custos de produção; aumento de matérias estranhas – tanto vegetal como mineral, na matéria-prima; tendência de apresentar corte basal mais elevado, provocando perdas de matéria-prima e prejudicando a brotação da soqueira; maior foco de infestação para alojamento de pragas; dentre outras relacionadas à riscos físicos para os trabalhadores (ANTUNES *et al.*, <s.d>).

Além disso, a queimada inflige normas ambientais, como a apresentada a seguir:

Resolução CONAMA Nº 408/2009 - "Inclui a queima controlada de palha de cana-de-açúcar como atividade poluidora sujeita a prévio Estudo de Impacto Ambiental, por força da ordem judicial liminar proferida pelo Juízo da 2ª Vara da Subseção Federal de Umuarama, no Estado do Paraná, no Processo nº 2009.70.04.000528-2.". - Data da legislação: 14/04/2009 - Publicação DOU nº 71, de 15/04/2009, pág. 101".



Fonte: <http://jornaldeuberaba.com.br/?MENU=CadernoA&SUBMENU=Politica&CODIGO=28252>

Devido a esses fatores e a constante evolução tecnológica, o corte manual da cana, seja ela “crua” ou “queimada”, em breve será proibido e essa cultura será predominantemente mecanizada.

Figura 2: Corte manual da cana-de-açúcar.



Fonte: <<http://www.cutsp.org.br/noticias/2011/08/23/migrantes-do-corte-da-cana-cruzam-os-bracos-por-transparencia-nas-usinas>>

Na figura 2 observa-se um trabalhador cortando manualmente a cana, que segundo Alves (2006) tem uma produtividade medida em toneladas por dia/homem de 12 toneladas de cana/ dia, isto no final da década de 1990 e início da década de 2000. A produtividade de uma colheitadeira é de 750 toneladas de cana/dia, em média, mas segundo o fabricante John Deere, a produtividade já chega, em alguns modelos, a 1.220 toneladas de cana colhidas por dia. Considerando que um cortador braçal possa colher 12 toneladas de cana/dia, uma máquina apenas pode substituir o corte manual de 100 homens em um dia de trabalho.

Na safra 2011/12, de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Impe), a mecanização em São Paulo já atingiu 65,2% dos 4.796.140 hectares de cana colhidos.

O compromisso do setor da cana-de-açúcar de evitar a colheita manual com o uso do fogo tem auxiliado no avanço da mecanização. Os maiores índices se registram junto a usinas e grandes produtores no centro-sul, ultrapassando a 80% em várias regiões, mas também são buscadas alternativas para atender aos pequenos e médios plantadores no país. Ao mesmo tempo, verifica-se o treinamento dos trabalhadores que atuavam no corte da cana para se enquadrarem na nova realidade, agora como operadores de máquinas (ANUÁRIO BRASILEIRO DA CANA DE AÇÚCAR, 2012).

Figura 3: Colheita da cana-de-açúcar mecanizada.



Fonte: <<http://www.grupoopiniao.com.br/?p=3591>>

Como pode-se observar na figura 3, a utilização de máquinas na colheita da cana oferece muitas vantagens, entre elas: manutenção da umidade do solo; controle de ervas daninhas com a diminuição da quantidade de herbicidas; melhor controle da erosão com proteção do solo; redução do uso de herbicidas; aumento de matéria orgânica no solo pela adoção da prática por vários anos; redução da população de nematoides nocivos à cultura; melhor aproveitamento da cana do ponto de vista energético, levando-se toda fonte de energia para a indústria; melhoria da qualidade da matéria-prima entregue para a industrialização; e redução da poluição atmosférica provocada pela queima (ANTUNES, <s.d.>).

Entretanto, a mecanização da colheita apresentam vários problemas econômicos e operacionais. O problema econômico maior começa pelo alto preço das máquinas. Uma frente de trabalho mecanizado requer, segundo Soares (2007), os seguintes equipamentos: colheitadeira, trator, equipamento de transbordo, cavalo mecânico, caminhão-prancha e caminhão-bombeiro, representando para as usinas investimentos de dois milhões de reais por frente de trabalho.

De acordo com Furtado (2002), os problemas operacionais são referentes, principalmente, ao processo agrícola, pois em função da altura do corte realizado pelas lâminas da colheitadeira, o comprimento da cana pode ser menor que o obtido manualmente, o que representaria uma perda direta. Igualmente, devido ao espaçamento da cultura, um dos lados da máquina colheitadeira roda sobre a linha de cultivo, o que aumenta a densidade do solo e leva a uma rebrota menos uniforme.

Contudo, com a utilização de colheitadeiras é possível um aumento na produtividade e qualidade da matéria-prima, reduzindo os custos entre 50 e 60% em relação ao custo total da produção agrícola. A mecanização da colheita da cana requer que sejam consideradas algumas especificidades físicas, técnicas e de produtividade, para justificar o uso de máquinas, que não deve superar os custos do corte manual (SCOPINHO *et al.*, 1999). Segundo Soares (2007), a colheita mecânica apresenta economia em relação ao custo da colheita manual, em função do avanço da produtividade, isso porque a colheita mecânica pode alongar-se por 24 horas contínuas.

Veiga Filho (1995 e 1999), afirma que a passagem do corte manual da cana-de-açúcar para o mecânico representa mais do que a mera alteração de uma tecnologia por outra. Significa ajustar e aperfeiçoar elementos incluídos no projeto, desde o manejo do cultivo até o dimensionamento dos equipamentos, incluindo o treinamento da mão de obra envolvida, bem como as alterações no transporte e na recepção da cana na indústria.

Uma diferença importante da colheita manual da mecanizada é deposição da palha no solo, que na colheita manual é queimada, emitindo gases poluentes. A quantidade de palha depositada é dependente de algumas condições específicas, tais como estágio da cultura e eficiência da máquina colhedora.

A deposição média anual é de ordem de 14 Mg (megagrama) de massa seca por hectare, que forma uma camada de cerca de 10-12 cm de espessura, que age de maneira positiva na proteção, conservação e recuperação dos solos. Com a cobertura do solo, podem ser criadas condições favoráveis para o estabelecimento de um microclima nessas áreas, uma vez que não ocorrem mudanças bruscas na temperatura e na umidade do solo. Essa condição pode favorecer o estabelecimento de uma comunidade biológica que atuará na decomposição da palha, permitindo o reaproveitamento dos nutrientes (CAMPOS, 2003).

A Tabela 1 mostra as regiões e estados com suas respectivas áreas (mil ha), produtividade (t/ha) e produção de cana-de-açúcar (mil t).

Tabela 1: Situação das lavouras de cana-de-açúcar (comparativo de área, produtividade e produção).

Região/UF	Área (mil ha)		Produtividade (t/ha)		Produção (mil t)	
	2011/12	2012/13	2011/12	2012/13	2011/12	2012/13
Norte	34,400	43,360	73.522	71.882	2.529,2	3.116,8
RO	2,770	3,450	53.712	77.840	157,1	268,5
AC	0,570	0,570	92.352	92.500	52,6	52,7
AM	3,780	3,680	75.918	76.482	287,0	281,5
PA	12,570	12,570	53.012	55.000	666,4	691,4
TO	14,710	23,090	92.872	78.940	1.366,2	1.822,7
Nordeste	1108,220	1099,700	56.755	57.268	62.896,7	62.978,1
MA	39,570	41,870	57.255	60.564	2.265,6	2.535,8
PI	13,910	14,810	71.312	70.000	992,0	1.036,7
CE	1,990	2,150	60.000	78.000	119,1	167,7
RN	62,260	60,390	47.756	41.000	2.973,3	2.476,0
PB	122,590	122,710	54.842	51.830	6.723,1	6.360,1
PE	326,110	309,740	54.099	55.100	17.642,2	17.066,7
AL	463,650	448,860	59.755	59.562	27.705,4	26.735,0
SE	35,540	43,360	53.979	63.736	1.918,4	2.763,6
BA	42,600	55,810	60.031	68.743	2.557,3	3.836,5
Centro-Oeste	1379,370	1531,100	66.866	69.966	92.233,5	107.124,5
MT	220,090	235,430	59.765	68.337	13.153,7	16.088,6
MS	480,860	554,290	70.415	69.575	33.859,8	38.564,7
GO	678,420	741,380	66.655	70.775	45.220,1	52.471,2
Sudeste	5220,970	5243,390	69.353	72.927	362.089,8	382.386,4
MG	742,650	721,860	67.652	74.200	50.241,8	53.562,0
ES	66,930	64,890	59.821	62.000	4.003,8	4.023,2
RJ	41,310	37,180	53.446	45.100	2.207,9	1.676,8
SP	4370,080	4419,460	69.938	73.114		
Sul	613,140	610,220	66.240	67.228	40.614,7	41.024,0
PR	611,440	608,380	66.269	67.250	40.519,5	40.913,6
RS	1,700	1,840	55.956	60.000	95,1	110,4
Norte/Nordeste	1142,620	1143,060	57.259	57.823	65.425,8	66.094,9
Centro/Sul	7213,480	7384,710	68.613	71.842	494.938,0	530.534,9
Brasil	8356,100	8527,770	67.060	69.963	560.363,8	596.629,8

Fonte: Conab, segundo levantamento, agosto de 2012.

4 APLICAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO

Diante do problema exposto, foi desenvolvido um código que determina o nível de dióxido de carbono (CO_2) emitido na queima de biomassa e a área máxima permitida, baseando-se nas normas ambientais a qual indica uma concentração máxima de 5.000 ppm de CO_2 (ATLANTEC, 2006). Ou seja, a quantidade de massa liberada na queima não pode ultrapassar 5.10-6 Mg (megagrama). A equação que determina essa quantidade é dada por (RIPOLI e RIPOLI, 2004):

$$EC = \frac{\Delta x * (1 - U) * C * 44}{12}$$

Em que:

EC: Emissão de CO₂ (Mg/ha);

Δx : Diferença entre a massa queimada e não queimada (Mg);

U: Umidade do material não queimado (%);

C: teor de carbono do material (%).

A partir da massa por hectare encontrada, deve-se determinar a área máxima a ser queimada. Então:

$$\frac{5 \times 10^{-6} \text{ Mg}}{1 \text{ ha}} = \frac{EC}{A}$$

Sendo A a área máxima. Mantendo-se a proporção e utilizando a equação de emissão tem-se que:

$$A = \frac{\Delta x * (1 - U) * C * 44}{6 \times 10^{-5}}$$

Inicialmente, devem ser identificados os tipos mais comuns de vegetação descartada pelos agricultores, ou seja, a biomassa a ser queimada.

Identificados os tipos, deverão ser submetidos a um experimento em laboratório para determinar as informações necessárias, são elas: a diferença de massa queimada e não queimada, a umidade e o teor de carbono.

De acordo com os dados, o código da programação determinará a EC e identificará se está de acordo com a lei. Caso não esteja, será determinada uma área máxima A a ser queimada sem exceder o limite permitido.

5 CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO FORTRAN

```

Program EMISSÃO_DE_CARBONO

implicit none

real Dx,U,C,EC

write(*,*) "Diferença entre a massa queimada e não queimada em Mg"

read(*,*) Dx

write(*,*) "Digite umidade do material não queimado (%)"

read(*,*) U

```

```

write(*,*) "Digite teor de carbono do material (%)"

read(*,*) C

EC = (Dx*(1-U)*C*44)/12

write(*,*) EC

end

Program AREA_MAXIMA

implicit none

real U, C, Dx, A

write(*,*) "Digite a diferença entre a massa queimada e não queimada em Mg"

read(*,*) Dx

write(*,*) "Digite a umidade do material não queimado (%)"

read(*,*) U

write(*,*) "Digite o teor de carbono do material (%)"

read(*,*) C

A = (D*(1-U)*C*44)/6E-5

write(*,*) "Área máxima permitida = ",A,"ha"

end

```

Pode-se tomar, por exemplo, o *Desmodium adscendens* (popularmente conhecido como carrapicho). Adotando-se valores aleatórios (não reais) baseados em valores comuns da vegetação catingueira (VIEIRA *et al.*, 2009) e uma área total de 100 ha, tem-se:

$$U = 48.98\%$$

$$C = 40.90\%$$

$$\Delta x = 10^{-5} \text{ Mg}$$

Determina-se então o *EC*:

$$EC = \frac{10^{-5} * (1 - 0.4898) * 0.4090 * 44}{12}$$

$$EC = 7.6 \times 10^{-6} \text{ Mg/ha}$$

Portanto, será informado que a taxa de emissão de CO₂ está acima da permitida (5x10⁻⁶ Mg). Como está acima, determina-se a área máxima:

$$A = \frac{10^{-5} * (1 - 0.4898) * 0.4090 * 44}{6x10^{-5}}$$

$$A=1.53 \text{ ha}$$

A partir da obtenção dos dados foi elaborada a tabela a seguir.

Tabela 2: Área máxima de um campo destinado à agricultura comercial.

TIPO	Δx (Mg)	U(%)	C(%)	EC	ÁREA MÁXIMA
				(Mg/ha)	(ha)
D. adscendens	10 ⁻⁵	48.98	40.90	7.6x10 ⁻⁶	1.53

O exemplo mostra uma área máxima muito pequena comparada à área de um campo destinado à agricultura comercial que possui, pelo menos, 100 hectares. Provavelmente todos os tipos de vegetação englobadas nas queimadas apresentarão áreas máximas inferiores ao requerido para serem legalizadas em um plano de agricultura.

Então esse trabalho de otimização pode ser feito a fim de construir uma tabela de valores de áreas máximas para tipos comuns de vegetação (mais conhecida como "mato") e distribuir para pequenos agricultores.

Por esse e por motivos de proteção ao ecossistema, as queimadas em grandes áreas são proibidas. Logo, o meio mais viável de colheita e preparo da área para a agricultura é através da máquina agrícola, a qual emite menos dióxido de carbono e possui um maior rendimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo da queima de biomassa na cultura canavieira, conclui-se que essa atividade propicia danos ao meio ambiente e à própria saúde humana, quando realizada de maneira incorreta e imprudente. Através do avanço tecnológico, o trabalho manual cede espaço para as máquinas agrícolas, pois melhoram o rendimento e diminuem os riscos ambientais.

A linguagem de programação, nesse caso, é uma ferramenta fundamental no procedimento de preservação do estado normal do ciclo do carbono, porque torna mais prático todo o procedimento de otimização e análise.

O controle da emissão de dióxido de carbono na atmosfera pela queima de biomassa, ajuda na redução do efeito estufa, melhora a qualidade do ar e evita, também, a destruição da fauna e flora. Contudo, com o que foi apresentado no trabalho, pode-se observar que esse gás tem uma importância fundamental na atmosfera terrestre, pois ele é absorvido pelos seres fotossintetizantes, porém quando emitido em níveis elevados acabam por interferir no equilíbrio natural, tendo consequências desagradáveis, como foi citado anteriormente, por isso não é proibido fazer queimadas desde que seja liberada e controlada pelo IBAMA.

ADÃO, N. M. L. A degradação ambiental no Brasil colônia: relatos para reflexões contemporâneas. **Educação Ambiental em Ação**, [s.l.], n. 20, 28 maio 2007. Disponível em: <<http://scholar.google.com.br/scholar?start>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

ALVES, F. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 90-98, 2006.

ANTAQ. 2000. **Os transportes e a emissão de CO₂** – o efeito estufa. Arquivo PFD. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/Pdf/MeioAmbiente/EmissaoCo2EfeitoEstufa.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

ANTUNES, J. F. G.; AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M., **Impactos ambientais das queimadas de cana-de-açúcar**. Cultivar, <s.d.>.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA CANA DE AÇUCAR. Brazilian Sugar Cane Yearbook. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz do Sul, 2012.

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D., PEREIRA, L. A. A., BRAGA, A. L. F.; SALDIVA P. H. DO N., Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. São Paulo. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, 30(2) - mar/abr 2004.

ASIS, Luciene de. 2012. **O dano que as queimadas causam**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8573-o-dano-que-as-queimadas-causam>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

ATLANTEC. 2006. **Dióxido de carbono**. Disponível em: <http://www.atlantec.com.br/produtos/sensores_refrigeracao_hvac/co2/ee80/pred_ee80.php>. Acesso em: 23 nov. 2012.

BBC. 2012. China, Índia e Brasil emitiram mais CO₂ em 2011, diz pesquisa. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/12/121202_relatorio_clima_dg.shtml>. Acesso em: 14 dez. 2012.

BENEDINI, Mauro Sampaio; DONZELLI, Jorge Luiz. Desmistificando a colheita mecanizada da cana crua. **Revista Coplana**, novembro de 2007, p.26-28.

BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar**: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil. Brasília: Horizonte, 1985.

CAMPOS, D. C. De., **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, maio 2003.

CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G.; JÚNIOR, W. B., **Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal**. Brasília, Pesq. agropec. bras., v. 38, n. 6, p. 747-752, 2003.

CONAMA, Resolução N.º 11, de 14 de dezembro de 1988.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J. C. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. Berlin: Springer, 1990, p. 82-105. | 93

DELGADO, A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. ESALQ: USP, 1977. 1033p.

FREITAS, Eduardo. 2007. **Efeito estufa**. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/geografia/efeito-estufa.htm>> Acesso em: 22 nov. 2012.

FURTADO, F. **Mecanização da colheita da cana traz benefício ambiental**. 2002. Disponível em: <<http://www.cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/1382>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

GARCIA, A. Leite. **A Redução das Emissões de CO₂ numa Perspectiva Globalizada**. Lisboa, 2010. Arquivo PFD, disponível em: http://www.forumavarzim.org.pt/site/images/stories/Leituras/517_Reducacao_Emissoes_GEE.pdf. Acesso em: 17 dez. 2012.

GOMES, E. F.; PASQUALETTO, A., **O bagaço da cana-de-açúcar como fonte de créditos de carbono**: o caso da usina Jalles Machado S/A de Goianésia-GO. Goiás, <s.d.>.

HERNANDEZ, D. D.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F., Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência dos herbicidas imazapic e imazapic + pendimethalin. Viçosa, **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.419-426, 17 dez. 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite**: 1998 – 2000 (São José dos Campos, Brasil:2001) [http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amazonia.htm.]

LIMA, M.; LIGO, M. A.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M. P. Y.; NEVES, M. C. **Emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguaruina: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 60p.

MACEDO, N.; ARAÚJO, J. R. Controle biológico. **Efeitos da Queima do Canavial sobre Insetos Predadores**. Araras, mar. 2000.

MARQUES, T. A.; SASSO, C. G.; SATO, A. M.; SOUZA, G. M., Queima do canavial: aspectos sobre a biomassa vegetal, fertilidade do solo e emissão de CO₂ para atmosfera. Uberlândia, **Biosci. J.**, v. 25, n. 1, p. 83-89, 2009.

MATTOS, K. M. da C., **Valoração econômica dos impactos causados pela queima de cana-de-açúcar no meio ambiente**. 2002. 125p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, USP, São Carlos, 2002.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; JÚNIOR, G. B. M., **Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita**. 1999. 301. Dissertação (Mestrado) - USP/ESALQ. Piracicaba, 30 ago. 1999.

MENDES, Tereza. 2007. **Efeito Estufa**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/efeito-estufa/>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados* 16 (45), 2002.

94 | OLIVEIRA, M. W. DE; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. DE C., Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. Brasília, **Pesq. agropec. bras.**, v.34, n.12, p.2359-2362, 1999.

PINTO, F. C. V.; SANTOS, R. N. dos., Potenciais de redução de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes: um estudo de caso da ligação hidroviária rio-niterói. Rio de Janeiro, **ENGEVISTA**, v. 6, n. 3, p. 64-74, 2004.

PLEC, O.; ANDRADE, F. J. R.; FAVARIM, E. A.; PIACENTINI, C. A., Mecanização do corte da cana-de-açúcar como fator de sustentabilidade ambiental no paraná: uma análise de cenário. **Rev. Ciên. Empresariais da UNIPAR**, Umuarama, v. 8, n. 1 e 2, p. 53-72, 2007.

REID, J.S.; KOPPMANN, R.; ECK, T.F.; ELEUTERIO, D.P. **A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles.** Atmospheric Chemistry and Physics, 2005. European Geosciences Union. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/5/799/2005/acp-5-799-2005.html>>. Acesso em: 23 nov. 2012.

REVISTA GALILEU. 2010. **Brasileiro de 18 anos cria filtro de poluentes mais barato e eficaz para carros.** Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI18283717770,00BRASILEIRO+DE+ANOS+CRIA+FILTRO+DE+POLUENTES+MAIS+BARATO+E+EFICAZ+PARA+CARRO.html>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

RÍPOLI, T. C. C.; JÚNIOR, W. F. M.; RÍPOLI, M. L. C., Energy potential of sugar cane biomass in brazil. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.57, n.4, p.677-681, out./dez. 2000.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. **Biomassa de cana-de-açúcar: Colheita, energia e ambiente.** Piracicaba. TCC Ripoli, 2004.

ROSSETO, R. A cana-de-açúcar e a questão Ambiental. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. de. **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 869-883.

SARTORI, M. M. P.; FLORENTINO, H. DE O., Metodologia e técnicas experimentais, metodologia e técnicas experimentais. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, 297-303, 2002.

SCOPINHO, R. A. *et al.* Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, p. 147-161, 1999.

THEODORO, A. D., **Expansão da cana-de-açúcar no brasil:** ocupação da cobertura vegetal do cerrado. Araçatuba, Fatec, 2011.

VANTAGENS da colheita mecânica de cana. Produção de R. A. Soares. São Paulo: CANAL RURAL, 2007. Acesso em: 5 out. 2007.

VEIGA FILHO, A. de A. Estudo do processo de mecanização do corte na cana-de-açúcar: o caso do Estado de São Paulo, Brasil. **Recitec**, Recife, v. 3, n. 1, p. 74-99, 1999.

VEIGA FILHO, A. de A.; SANTOS, Z. A. P. de S. Padrão tecnológico da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: evidências empíricas da evolução na cultura. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 25, n. 8, p. 15-24, 1995.

Recebido em: 25 de dezembro de 2012

Avaliado em: 12 de janeiro de 2012

Aceito em: 12 de janeiro de 2012

1 Graduandos em Engenharia - Universidade Tiradentes

2 Doutora em Engenharia Química, Professora do programa de pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Tiradentes. Email: manuela_leite@itp.org.br

3 Doutor em Engenharia Química, Professor das Engenharias na Universidade Tiradentes. Email: jardelengenharia@gmail.com