

## PLANEJAMENTO DO TRANSPORTE CANAVIEIRO A PARTIR DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA\*

ALISSON NEVES HARMYANS MOREIRA<sup>1</sup>, NORI PAULO GRIEBELER<sup>1</sup>, FERNANDA DUARTE ARAÚJO HIMMEN<sup>1</sup>, RHERISON TYRONE SILVA ALMEIDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola de Agronomia, EA-UFG, Campus Samambaia, Rodovia Goiânia/Nova Veneza, km 0, CEP 74690-900, Goiânia, GO, Brasil, <sup>1</sup>alissonharmyans@gmail.com, <sup>2</sup>npriebeler@gmail.com, <sup>3</sup>fernanduarteflorestal@gmail.com.

<sup>2</sup> Instituto de Estudos Socioambientais, IESA-UFG, avenida Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74001-970, Goiânia, GO, Brasil.

\* Produção extraída da dissertação do primeiro autor.

**RESUMO:** Elaboraram-se por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), roteirizações para o transporte canavieiro, tendo em vista a análise de variáveis de dois cenários, o menor caminho e o que oferece melhor desempenho operacional. Na comparação de critérios, os resultados não diferiram significativamente pelo teste *t student* ( $\sigma < 0,05$ ). Os dados subsidiaram a avaliação do custo de reparo e manutenção (CRM) em relação a vida útil e por quilometragem. Foram verificados que as discrepâncias entre os custos tornam-se expressivas a partir da quarta safra chegando a diferença de R\$ 52.712,23. Assim, tendo em vista a logística da usina, inferiu-se que o critério do desempenho operacional é o ideal para a frota da empresa, enquanto o menor caminho é a melhor opção para o pagamento do serviço terceirizado.

**Palavras-chaves:** cana-de-açúcar, logística, estradas não pavimentadas.

## SUGARCANE TRANSPORTATION PLANNING FROM A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)

**ABSTRACT:** Through the Geographic Information System (GIS), routes for sugarcane transport were elaborated, in view of variable analysis from two scenarios, the shortest path and the one that offers the best operational performance. In the criteria comparison, the results did not differ significantly by the student *t test* ( $\sigma < 0.05$ ). The data supported the assessment of the repair and maintenance cost (CRM) in relation to service life and mileage. It was found that the discrepancies between costs become significant as the fourth harvest, reaching a difference of R\$ 52,712.23. Thus, in a view of plant logistics, it was inferred that operational performance criterion is ideal to company fleet, while the shortest route is the best option for paying outsourced service.

**Keywords:** sugarcane, logistic, unpaved roads.

### 1 INTRODUÇÃO

A distância é geralmente um fator limitante, em algumas áreas de cultivos pode ultrapassar 50 km, grandes extensões de áreas geram maiores gastos, o que causa aumento expressivo ao custo total da produção. Em relação a logística na produção canavieira, cerca de 40% dos gastos gerados em uma usina são destinados ao corte, carregamento e transporte (CCT) (MARQUES, 2012). Em função disso, é necessário planejamento na utilização de recursos para garantir o transporte, principalmente, ao longo da safra,

em que o processo de produção do açúcar e o etanol ocorrem durante 24 horas (CANAL RURAL, 2018).

As estradas não pavimentadas causam limitações para o tráfego das cargas mais pesadas e devido as mudanças climáticas, demonstram vulnerabilidade quanto a qualidade do leito (MACHADO, 2013). As estradas de má qualidade interferem no desempenho operacional dos veículos ocasionando a impossibilidade de tráfego e demora no escoamento da produção devido ao menor desempenho da velocidade. De acordo com o SETCESP (2014), os custos variáveis

(pneus, combustíveis, reparo e manutenção) podem ser reduzidos em até 20% trafegando em estradas com melhor qualidade.

Para Hiloidhari et al. (2017), o planejamento logístico espacial é fundamental devido ao crescente aumento de áreas de produção, matérias-primas e infraestrutura. Dessa forma, a implementação de uma rede especial pode ajudar na organização e otimização dos custos, da logística e do pessoal. Nesse sentido, Oliveira Filho et al. (2005), elaborou um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinação de rota ótima do transporte florestal considerando a influencia da qualidade das estradas não pavimentadas no desempenho operacional dos veículos e nos custos de transporte.

As possibilidades oferecidas com a aplicação de geotecnologias, como padronização e sistematização das informações, proporcionam melhorias das condições de logística na determinação da melhor rota para o transporte da cultura, utilizando planos com critérios preestabelecidos. O monitoramento constante das informações da rede viária que abrangem as áreas de plantio é outro aspecto importante com o uso do SIG. Nesse sentido, o sistema

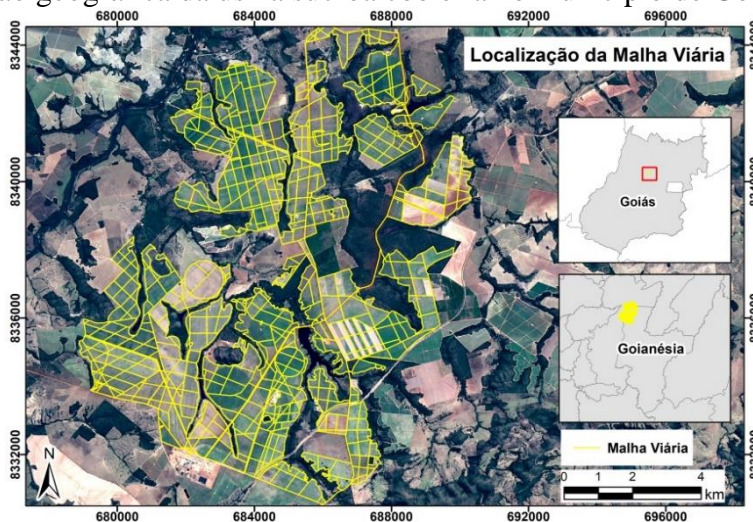
possibilita o processo de comunicação ágil, dinâmico e abrangente (MACHADO et al., 2016).

Sendo assim, com o auxílio de um SIG, o objetivo desse trabalho foi elaborar o modelo digital da malha de estradas não pavimentadas, empregando-a em estudos de roteirização do transporte e logística canavieira.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma usina sucroalcooleira no município de Goianésia, Goiás, com abrangência de 20.000 ha (Figura 1). A usina é caracterizada pela produção de energia e etanol hidratado como atividades principais e está localizada geograficamente entre as coordenadas geográficas, latitudes 14°59' e 15°05' e longitudes 49°16' e 49°18' (CANA ONLINE, 2014). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CANA-DE-AÇÚCAR, 2019), o Estado de Goiás é o segundo maior produtor nacional de cana-de-açúcar. No período de 2018/2019, Goiás produziu 70.001,4 mil toneladas de cana-de-açúcar, 1.670 mil toneladas de açúcar e 4.913.083 mil toneladas de etanol.

**Figura 1.** Localização geográfica da usina sucroalcooleira no município de Goianésia, Goiás.



No campo, foram observadas inicialmente, a qualidade do leito e os elementos geométricos das estradas não pavimentadas. Por ser o mais usual na usina, escolheu-se o Rodotrem como padrão. O modelo utilizado no transporte de cana-picada

foi o Volvo FM/440 cv de tração 6x4 caracterizado com um cavalo mecânico acoplado a dois semi-reboques e Peso Bruto Total Combinado (PBTC) de 70 toneladas.

Dentre as informações coletadas destaca-se a velocidade média por meio de

consultas ao sistema de rastreamento GPS da usina. A partir da velocidade média, determinou-se o tempo médio de viagem no percurso e o tempo total do ciclo operacional. Contudo, o tempo relativo ao ciclo teve um acréscimo de 45 minutos devido às operações de carregamento e descarregamento. Este acréscimo foi o tempo médio observado em 5 operações de carga e descarga para o veículo padrão.

A análise de custo de transporte deu-se embasado no valor por quilômetro rodado (R\$ 2,92 km<sup>-1</sup>) adotado pela usina. Por meio de análise multicriterial, outros custos foram calculados. Portanto, destaca-se a rede viária e o desempenho operacional dos veículos nas estradas não pavimentadas como critérios relevantes que subsidiam as demais atividades, como a classificação da rede viária quanto ao desempenho operacional.

O levantamento de campo e a elaboração dos dados geométricos realizada por seguiram as classes propostas por Lopes; Machado; Souza (2002), possibilitando a classificação da rede viária quanto ao desempenho operacional. A velocidade limite aceitável na usina é de 50 km h<sup>-1</sup>. Sendo assim, neste trabalho foi atribuído este valor as estradas primárias, tendo em vista que suas melhores condições proporcionam a velocidade limite. Para as demais estradas, secundárias e terciárias, utilizaram-se as informações de acordo com o levantamento de campo (rastreo por GPS). Os dados foram georreferenciados no *datum* WGS 84, coordenadas planas, projeção UTM e zona 22L.

Após a estruturação do SIG, utilizou-se a extensão de análise de rede do programa ArcGIS<sup>®</sup> para a sistematização dos cenários denominada *Network Analyst*. Assim, foram simulados 8 cenários totalizando 16 roteirizações. Nos cenários, determinaram-se as rotas considerando os critérios de menor distância e melhor desempenho operacional. Por meio do recurso, obteve-se a rota com a menor distância a partir da seleção do ponto de partida e o de chegada. No que tange a roteirização do desempenho operacional, além dos pontos de partida e chegada, escolheram-

se os pontos intermediários localizados nos trechos de melhor qualidade do leito.

Nas simulações, foram determinadas distância do percurso, a velocidade média do veículo, o tempo de viagem no percurso e o tempo total do ciclo operacional. Os valores simulados e as informações de campo como custo por quilômetro e carga potencial, subsidiaram a obtenção do custo por ciclo (R\$ ciclo<sup>-1</sup>), o custo por tonelada (R\$ t<sup>-1</sup>) e a relação custo por tonelada por quilômetro (R\$ t<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup>). Em seguida, os dados foram submetidos ao teste *t student* ( $\sigma < 0,05$ ) para verificar se diferem estatisticamente, considerando as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad (1)$$

Onde, na hipótese nula ( $H_0$ ), os resultados obtidos na roteirização da menor distância (grupo 2) são iguais aos resultados adquiridos na roteirização do desempenho operacional (grupo 1). Na hipótese alternativa ( $H_1$ ), essa condição rejeita a  $H_0$ , apresentando diferença significativa entre os grupos.

A análise do Custo de Reparo e Manutenção (CRM) acumulado (R\$) se deu pelo método desenvolvido por Banchi; Barreto Junior; Lopes (2009), em que foi possível simular custos em relação as faixas de vida útil. Nesse sentido, a quilometragem percorrida em rotas de melhor desempenho operacional foram tomadas como a referência para fins de cálculo do CRM. Em seguida, foram deduzidos 20% dos valores obtidos nos cenários com o tráfego em estradas melhores, comparando-os resultados em períodos diferentes. Aplicou-se a equação potencial do grupo III para o veículo padrão de 440 cv e carga potencial de 70 toneladas, conforme as classes de CRM (BIANCHI; BARRETO JUNIOR; LOPES, 2009):

$$y = 0,00305 \times 1,42150 \quad (2)$$

Aplicando a derivada na equação de CRM acumulado obteve-se o CRM por quilômetro (R\$ km<sup>-1</sup>):

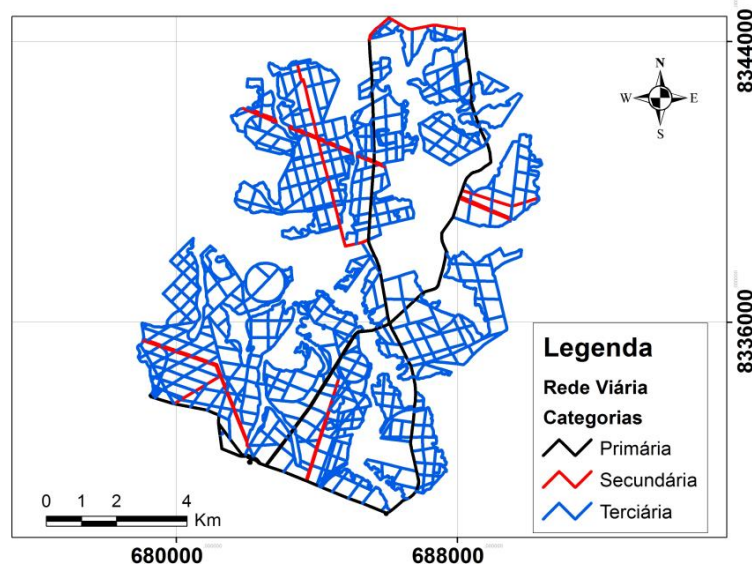
$$y' = dy/dx = 0,0043356 x^{0,42150} \quad (3)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido às estradas secundárias apresentarem alguns defeitos como sulcos

erosivos e buracos não foram possíveis assegurar a velocidade limite da usina, mas os veículos trafegavam próximo desse referencial com média de 40 km h<sup>-1</sup>. Nas estradas terciárias descritas pelos carregadores entre talhões aplicaram-se velocidades de 30 e 35 km h<sup>-1</sup>. Nesses segmentos, as velocidades são menores em decorrência da qualidade da estrada. Na Figura 2, observa-se a classificação da rede viária quanto ao desempenho operacional do veículo padrão.

**Figura 2.** Localização geográfica da usina sucroalcooleira no município de Goianésia, Goiás.



**Fonte:** Adaptado de Lopes, Machado, Souza (2009).

Na Tabela 1 e 2, são apresentados os resultados dos 8 cenários obtidos na roteirização. A maior velocidade média desenvolvida pelo Rodotrem no critério de desempenho operacional foi de 46,4 km h<sup>-1</sup> e na menor distância foi de 44,0 km h<sup>-1</sup>. Os

trechos de melhores parâmetros do leito apresentaram distâncias maiores, entretanto, o tempo de viagem no percurso e no ciclo foram equivalentes às roteirizações de menor caminho.

**Tabela 1.** Dados simulados em 8 (oito) cenários para o desempenho operacional.

Rota	Pontos de identificação no SIG		Distância (Km)	Velocidade média (km h <sup>-1</sup> )	Tempo de viagem (h)	Tempo total do ciclo (h)
	Talhões	Usina				
	1	1054				
2	84	232	17,0	38,6	0,44	1,19
3	1049	232	15,8	49,1	0,32	1,07
4	526	232	28,6	44,3	0,65	1,40
5	1207	232	24,6	49,2	0,50	1,25
6	328	232	29,8	44,4	0,67	1,42
7	598	232	26,2	47,7	0,55	1,30
8	983	232	33,4	48,7	0,69	1,44
	Σ		190	-	4,11	10,11
	Média		23,8	46,4	0,51	1,26
	Desvio Padrão		7,10	3,73	0,15	0,15

**Tabela 2.** Dados simulados em 8 (oito) cenários para a menor distância.

Rota	Pontos de identificação no SIG		Distância (km)	Velocidade média (km h <sup>-1</sup> )	Tempo de viagem (h)	Tempo total do ciclo (h)
	Talhões	Usina				
	1	1054				
2	84	232	16,2	37,2	0,44	1,19
3	1049	232	15,0	47,7	0,31	1,06
4	526	232	27,8	41,6	0,67	1,42
5	1207	232	24,4	47,2	0,52	1,27
6	328	232	29,4	41,6	0,71	1,46
7	598	232	24,8	42,3	0,59	1,34
8	983	232	33,0	47,6	0,69	1,44
	Σ		184,4	-	4,22	10,22
	Média		23,1	44,0	0,53	1,28
	Desvio Padrão		7,21	3,89	0,17	0,17

A relação entre tempo e distância é explicada pela fórmula do Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), onde são inversamente proporcionais. Sendo assim, quanto maior a velocidade no percurso, menor será seu tempo. Nas comparações, as observações não diferiram pelo teste t ( $\sigma < 0,05$ ) significativamente. Os resultados inferem que o maior caminho nem sempre demanda mais tempo. Sendo assim, os gestores cientes que o tempo é um fator determinante no abastecimento contínuo da

usina, devem avaliar outras variáveis como, por exemplo, a qualidade das estradas.

Nesse sentido, verifica-se na Tabela 3, que os custos não diferiram significativamente pelo teste t ( $\sigma < 0,05$ ) e que a semelhança dos resultados colaboram na tomada de decisões. Assim, as rotas com melhor desempenho operacional é interessante para a frota da usina, uma vez que é possível nesse tipo de trajeto reduzir custos operacionais devido a qualidade do leito.

**Tabela 3.** Custos do transporte canavieiro considerando o valor do frete de R\$ 2,92 km<sup>-1</sup>.

Rotas	Desempenho Operacional			Menor distância		
	(R\$ Ciclo <sup>-1</sup> )	(R\$ t <sup>-1</sup> )	(R\$ t <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup> )	(R\$ Ciclo <sup>-1</sup> )	(R\$ t <sup>-1</sup> )	(R\$ t <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup> )
1	42,63	0,61	0,04	40,3	0,58	0,04
2	49,64	0,71	0,04	47,3	0,68	0,04
3	46,14	0,66	0,04	43,8	0,63	0,04
4	83,51	1,19	0,04	81,18	1,16	0,04
5	71,83	1,03	0,04	71,25	1,02	0,04
6	87,02	1,24	0,04	85,85	1,23	0,04
7	76,5	1,09	0,04	72,42	1,03	0,04
8	97,53	1,39	0,04	96,36	1,38	0,04
Σ	554,8	7,93	-	538,45	7,69	-
Média	69,4	0,99	-	67,3	0,96	-
Desvio Padrão	20,72	0,3	-	21,06	0,3	-

Para Oliveira Filho et al. (2005), a escolha de rotas com o critério de melhor desempenho operacional pode reduzir custos significativos, principalmente em longas distâncias, uma vez que as estradas melhores possibilitam a condução do veículo com velocidade média homogênea, bem como a rotação do motor no percurso. Além disso, a redução do consumo de combustível, desgastes e quebra de peças.

Em contrapartida, para serviços terceirizados, o pagamento da menor distância torna-se mais interessante para a gestão devido aos menores custos e a responsabilidade do CRM é do locador e não do locatário. Na Tabela 4, verifica-se o aumento do CRM no decorrer da vida útil. Desta forma, observa-se que a economia entre as observações foi de R\$ 56.060,65 ao longo de 400.000 km rodados, valor que pode ser destinado para melhor investimento na empresa.

**Tabela 4.** Custo de Reparo e Manutenção acumulado (CRM Acum) por vida útil e período.

Vida útil (km)	CRM Acum. (R\$)	CRM Acum. - 20% (R\$)	Δ (R\$)	Período
190	5,29	4,23	1,06	Jornada de 10 horas
456	18,37	14,69	3,67	Jornada de 24 horas
95.760	36.732,72	29.386,18	7.346,54	1 safra (7 meses)
383.040	263.561,13	210.848,91	52.712,23	4 safras (28 meses)
400.000	280.303,24	224.242,59	56.060,65	> 4 safras

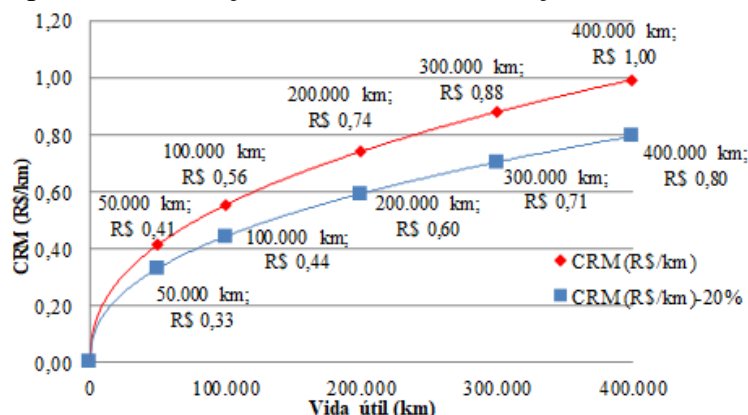
**Fonte:** Adaptado de Banchi, Barreto Junior, Lopes (2009). Em que “Δ (R\$)” é a diferença entre o CRM acumulado e o CRM Acumulado com economia de 20% conforme os estudos do SETCESP (2014).

Na Figura 3, observa-se o CRM km<sup>-1</sup> (sem e com desconto) por faixa de vida e a inviabilidade do CRM km<sup>-1</sup> no decorrer do uso do veículo. Os dados reforçam que adequação das estradas é uma boa estratégia para contenção desse custo. Nota-se que as curvas de CRM km<sup>-1</sup> (sem e com desconto) se

afastam consideravelmente na medida que quilometragem do veículo aumenta. De fato, observa-se que se os gestores optarem pelo tráfego em estradas com melhor qualidade estarão conservando sua frota e beneficiando o serviço terceirizado. Nesse sentido, para a vida útil de 400.000 km, o lucro do fretamento após

os valores deduzidos de CRM aumentaria de R\$ 1,92 km<sup>-1</sup> para R\$ 2,12 km<sup>-1</sup>.

**Figura 3.** Custo de Reparo e Manutenção (CRM km<sup>-1</sup>) em função da vida útil.



Fonte: Adaptado de Banchi, Barreto Junior, Lopes (2009).

#### 4 CONCLUSÕES

A qualidade e a distribuição espacial das estradas primárias e secundárias influenciaram para que as rotas de desempenho operacional tenham, em sua maioria, tempos menores e equivalentes em consideração ao menor caminho. Para o critério de menor caminho, os custos calculados foram inferiores devido à forma de

pagamento (R\$ km<sup>-1</sup>). No entanto, o critério de desempenho operacional é recomendado se a prestação de serviços fosse amortizada em função do tempo.

As projeções de Custo de Reparo e Manutenção (CRM) realizadas para o tráfego em estradas melhores ou rotas de melhor desempenho operacional apresentaram valores expressivos de economia quando considerada a vida útil dos caminhões.

#### 5 REFERÊNCIAS

BANCHI, A. D.; BARRETO JUNIOR, E. A.; LOPES, J. R. **Caminhões canavieiros**. Revista Agrimotor, São Paulo, n. 49, p. 10-12, 2009. Disponível em: <<http://www.assiste.net.br/materias-publicadas/artigos-da-revista-agrimotor/1904-2009-ed>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

CANA ONLINE. **Jalles Machado e Unidade Otávio Lage iniciam safra 2014/15**. 2014. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/jalles-machado-e-unidade-otavio-lage-iniciam-safra201415.html#.VE1E2CLF9u4>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

CANAL RURAL. **Veja tudo o que é preciso para transportar cana com rapidez e precisão**. 2018. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/conteudo-patrocinado-campanha/veja-tudo-o-que-e-preciso-para-transportar-cana-com-rapidez-e-precisao.>>. Acesso em: 13 maio. 2020.

CANA-DE-AÇÚCAR. **Acompanhamento da safra brasileira**: Brasília, DF, v.5, n.4, p.1-75, Safra 2018/19, Quarto levantamento. Disponível em: <[www.conab.gov.br/BoletimZCanaZ4ZLevantamentoZ11-19.pdf](http://www.conab.gov.br/BoletimZCanaZ4ZLevantamentoZ11-19.pdf)>. Acesso em: 15 maio. 2020.

HILOIDHARI, M.; BARUAH, D. C.; SINGH, ANOOP.; KATAKI, SAMPRITI, MEDINA, KRISTINA.; KUMARI, SHILPI.; RAMACHANDRA, T. V.; JENKINS, B. M.; THAKUR, I. S. Emerging role of Geographical Information System (GIS), Lyfe Cicle Assessment (LCA) and spatial LCA (GIS-LCA) in sustainable bioenergy planning. **Bioresource Techonology**, Kansas, v. 242, p. 218–226, Out. 2017.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região Sudeste do Brasil. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 329–338, Jun. 2002.

MACHADO, C. C. **Conservação e construção de estradas rurais e florestais**. 1. ed. Viçosa: SIF. 2013. 441p.

MACHADO, P. G.; WALTER, A.; PICOLI, M. C.; JOÃO, C. G. Potential impacts on local quality of life due to sugarcane expansion: a case study based on panel data analysis. **Environment Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 19, n. 5, p. 2069–2092, Jun. 2016.

MARQUES, P. V. Custos de produção agrícola. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil**, Piracicaba, p. 32-36, 2012. Acompanhamento da safra 2012/2013 - Centro-Sul.

NYSSSEN, J.; POESEN, J.; MOEYERSONS, J.; LUYTEN, E.; VEYRET-PICOT, M.; DECKERS, J.; HAILE, M.; GOVERS, G. 2002. Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the Northern Ethiopian Highlands. **Earth Surface Processes and Landforms**, Lausanne, v. 27, n. 12, p. 1267–1283, Nov. 2002.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; LOPES, E. S.; MAGRAF, W.; DISPERATI, A. A. Determinação da rota ótima de transporte com auxílio de um sistema de informação geográfica. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 403-409, nov. 2005.

SETCESP, 2014. **Estradas ruins multiplicam gastos com transporte rodoviário**. Disponível em: < <http://www.setcesp.org.br> > Acesso em: 15 set. 2015.