

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

**POTENCIAL ENERGÉTICO DA PLANTA INTEGRAL DE
MANDIOCA EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS**Eduardo Barreto Aguar¹; Teresa Losada Valle²; José Carlos Feltran², Waldir Antonio Bizzo³; Cássia Regina Limonta Carvalho²; Ricardo Augusto Dias Kanthack⁴**RESUMO**

Este trabalho avaliou o potencial energético integral da cultura da mandioca considerando as raízes e seus subprodutos (parte aérea e cepas). O Experimento foi conduzido em Assis-SP no ano agrícola 2001/2002. O plantio foi realizado em agosto e a colheita após 12 meses. Foram avaliadas sete densidades populacionais variando de 5.000 a 20.000 plantas ha⁻¹. A variedade utilizada foi a IAC 576-70. Os parâmetros avaliados foram: equivalentes energéticos das raízes tuberosas, cepas (maniva-semente) e parte aérea (hastes e folhas). Os equivalentes energéticos calculados em MJ planta⁻¹ foram submetidos à análise de regressão. A partir das equações de regressão foram estimadas as produtividades de energia em GJ ha⁻¹ ano⁻¹. Com o aumento das densidades populacionais houve redução no equivalente energético por planta (MJ planta⁻¹), em todos os parâmetros avaliados segundo o modelo de regressão exponencial $y = a \cdot x^b$. Todavia, ao considerarmos o equivalente energético por hectare ano⁻¹, observou-se aumento de até 38% no equivalente energético total da cultura com o incremento da densidade de plantio. Valores de até 218,45 GJ ha⁻¹ ano⁻¹ foram observados na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹. Os subprodutos da cultura da mandioca representam em média 34,28% do equivalente energético total da biomassa integral da mandioca.

Palavras chave: *Manihot esculenta* Crantz, bioenergia, biocombustível, culturas energéticas.

**POTENTIAL ENERGY INTEGRAL CASSAVA PLANT IN DIFFERENT PLANT
DENSITIES****SUMMARY**

This study evaluated the accumulation of cassava plant biomass in different population densities. The experiment was conducted in Assis-SP Brazil in the agricultural years 2001/2002. The planting was carried in August and the harvest after 12 months. Seven population densities were evaluated, between 5,000 and 20,000 plants ha⁻¹. The variety used was the IAC 576-70. The parameters evaluated were: dry biomass accumulation in tuberous roots, seed stem and shoot (stems and leaves). Energy equivalents calculated in MJ-1 plant were subjected to regression analysis. From the regression equations estimated the energy productivity in GJ ha⁻¹ year⁻¹. With the increase in population densities there was reduction in equivalent energy per plant (MJ-1 plant), in all parameters evaluated according to the exponential regression model $y = a \cdot x^b$. However, when we consider the equivalent energy per hectare year⁻¹, the observed results showed up to 38% in total energy equivalent of

¹Pós doutorando FAPESP/IAC-Centro de Horticultura, Av. Barão de Itapura, 1481, Jardim Guanabara, Cxp. 28, CEP 13012-970, Campinas SP. E-mail: aguiareb@msn.com; ²Pesquisador científico Dr. IAC;

³Professor Dr. UNICAMP; ⁴Pesquisador científico Dr. APTA Médio Paranapanema.

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

culture with the increase of the plant density. Values up to 218.45 GJ ha⁻¹ year⁻¹ were observed in the density of 20,000 plants ha⁻¹. The sub-products of cassava represent an average of 34.28% of total biomass energy equivalent.

Key-words: *Manihot esculenta* Crantz, bioenergy, biofuel, energy crops.

INTRODUÇÃO

Dentre as culturas domesticadas para a produção de energia, a mandioca destaca-se pelo seu alto potencial para a produção de etanol (Lorenzi e Monteiro, 1980; Salla, 2008; Yang, 2011). O crescente aperfeiçoamento da produção de etanol de milho nos EUA vem contribuindo de forma para o desenvolvimento de novas tecnologias para produção de etanol a partir de matérias primas amiláceas. Com isso outras matérias primas, vêm se mostrando como alternativas competitivas.

Salla (2008) observou rendimento de 210 litros de etanol (99,5 GL) por tonelada de raiz de mandioca (base úmida). Produtividades de até 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ são comuns no estado de São Paulo permitindo, segundo esses parâmetros, estimativas de até 6.300 litros de etanol ha⁻¹ ano⁻¹. Veiga (2012) estima produtividade anual de 6.220 litros de etanol ha⁻¹ ano⁻¹. Ao considerarmos que a cultura da mandioca é adaptada a regiões com restrições hídricas e solos de baixa fertilidade, essa matéria prima se mostra ainda mais competitiva e eficiente em termos comparativos com outras culturas como o milho e a cana-de-açúcar.

No Brasil, o crescimento da produção de energia elétrica através de conversão térmica com a queima do bagaço da cana-de-açúcar, mostrou-se eficiente em termos industriais e estratégico para o país. A biomassa residual da cultura da cana de açúcar (ponteiros, folhas verdes e palhas) representa aproximadamente 40% do equivalente energético total da cultura (Ripoli e Molina, 1991).

Além das raízes da mandioca, os resíduos (subprodutos) deixados no campo (hastes, folhas e cepa) produzem montantes entre 15 a 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Lorenzi, 2012). De maneira geral os subprodutos da cultura da mandioca podem chegar até a 55% da biomassa total seca. Esses valores são variáveis, principalmente em função da variedade, das práticas culturais e do estágio fenológico das plantas (Aguiar, 2011). No Brasil foram colhidos em 2012, 1,7 milhões de ha de mandioca, totalizando uma produtividade de 23,4 milhões de toneladas. A cultura da mandioca ocupa a quarta posição em volume de produção no Brasil, após as culturas da cana-de-açúcar, milho e soja em ordem decrescente (IBGE, 2013).

O poder calorífico superior da parte aérea da mandioca gira em torno de 16,34 MJ kg⁻¹ e de 18,95 MJ kg⁻¹ para a cepa (Veiga, 2012). Esses valores são muito próximos a outras biomassas vegetais amplamente utilizadas na cogeração de energia. Por se tratar principalmente de um subproduto, tanto em volume de produção como em potencial energético, os resíduos da cultura da mandioca podem demonstrar alto potencial para utilização principalmente em sistemas agroindustriais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido do Polo Regional Médio Paranapanema da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, localizado em Assis SP,

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

latitude 22° 40' S, longitude 50° 26' W e altitude de 563m. O clima da região é do tipo "Cwa" segundo Köpen (Setzer, 1966). O solo é do tipo Latossolo Vermelho Escuro distroférrico, com horizonte A moderado de textura média fase arenosa (Embrapa, 1999).

No plantio foi realizada adubação com a fórmula 4-20-20 + 0,5% de Zn (Lorenzi, 2012). A variedade utilizada foi a IAC 576-70. O plantio foi realizado 30 de julho de 2001, com manivas de 15 cm de comprimento, dispostas horizontalmente no sulco, na profundidade entre 5 a 10 cm.

Os tratamentos avaliados foram cinco densidades populacionais: 5.000, 5.714, 6.667, 8.000, 10.000, 13.333 e 20.000 plantas.ha⁻¹. Cada densidade de plantio foi representada por 10 plantas, sendo oito úteis, dispostas em parcelas trapezoidais conforme modelo descrito por Aguiar (2003). Foram utilizadas quatro repetições e avaliados os parâmetros: biomassa seca das raízes, cepas e parte aérea.

A biomassa seca de cada parâmetro foi aferida nas respectivas parcelas. Separaram-se 10 raízes tomadas ao acaso que foram trituradas, homogeneizadas, e retiraram-se amostras de 500g. A parte aérea e cepa foram aferidas em três plantas, trituradas em picador de forragem em amostra de 300g. As amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 60° C até peso constante e calculado o teor de matéria seca.

Para o cálculo do equivalente energético das raízes, utilizou-se o valor determinado por Salla (2008) de 0,174 MJ kg⁻¹ de raiz (base úmida, com 38% de matéria seca) considerando-se o teor de matéria seca observado, e o poder calorífico superior (PCS) de 29,67 MJ kg⁻¹ de etanol 95,6 GL (Perry e Chilton, 1980). Para o cálculo do equivalente energético da parte aérea e da cepa utilizou-se o PCS determinado por Veiga (2012): 16,30 MJ kg⁻¹ para rama fina, 16,38 MJ Kg⁻¹ para rama grossa e 18,95 MJ kg⁻¹ para cepa, calculados a partir da biomassa seca observada.

Os dados médios obtidos por planta foram avaliados por análise de regressão, segundo o modelo $y = a \cdot x^b$. A partir das equações de regressão foi estimada a biomassa seca acumulada em Mg ha⁻¹ de cada parâmetro (Aguiar 2003). Também foram calculados os percentuais relativos de cada parâmetro (raízes, parte aérea e cepa) em relação à biomassa seca total acumulada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O equivalente energético total das plantas de mandioca, assim como das raízes, parte aérea e cepa decresceram segundo o modelo $y = a \cdot x^b$ com o incremento das densidades populacionais (Figura 1). Essa tendência é conhecida somente com relação ao acúmulo de biomassa, e demonstra a maior competição por luz, água e nutrientes entre os indivíduos submetidos a uma maior competição espacial (Enyi, 1973; Cock, 1977; Barros et al., 1978; Aguiar, 2003). Resultados comparativos em termos energéticos não foram encontrados na literatura.

Ao observarmos o equivalente energético em GJ ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 2), observou-se o incremento da energia produzida para raízes, parte aérea e cepa, com o aumento das densidades populacionais. Entre a densidade de 5.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ os equivalentes energéticos aumentaram 31%, 107,33 para 140,73 GJ ha⁻¹ para as raízes, 25%, de 35,62 para 44,66 GJ ha⁻¹ para a parte aérea, 124%, de 15,13 para 33,87 GJ ha⁻¹ para a cepa e o

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

equivalente energético total acumulado aumentou 39% de 158,07 para 219,27 GJ ha⁻¹ (Figura 2).

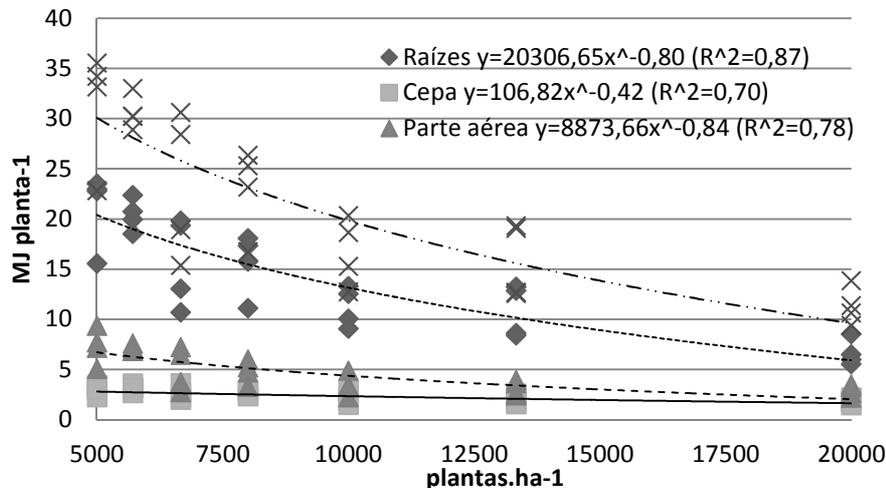


Figura 1. Equivalentes energéticos raízes, parte aérea, cepa e planta integral (MJ planta⁻¹) em diferentes densidades populacionais.

Equivalentes energéticos da produção de etanol em mandioca em função de densidades populacionais não foram observadas na literatura. No entanto, outros estudos mostraram acréscimos na produtividade de raízes com o aumento das densidades populacionais (Normanha e Pereira, 1950, Enyi, 1973; Cock, 1977; Aguiar, 2011). Os resultados observados sugerem aumento do equivalente energético das raízes de mandioca em altas densidades de plantio.

Equivalentes energéticos tanto da parte aérea como das cepas em função de diferentes densidades de plantio também não foram encontrados na literatura. No entanto Aguiar (2011) observou aumento na produtividade de parte aérea e cepa com o incremento das densidades de plantio.

De maneira geral o aumento no equivalente energético com o acréscimo das densidades de plantio, tanto para as raízes como para os subprodutos (Figura 2) demonstra que embora o desenvolvimento individual das plantas tenha caído com o aumento das densidades populacionais (Figura 1), o incremento no número de indivíduos, superou o decréscimo individual observado por planta, proporcionando as maiores equivalentes energéticas verificados para todos os parâmetros avaliados (Figura 2).

A distribuição e acúmulo de biomassa seca nas diferentes partes das plantas mostra uma pequena variação em função das densidades populacionais para raízes e parte aérea, 3,09 e 1,97% respectivamente, entre 5.000 e 20.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 1). Essa variação foi maior para a cepa, 6,02%, com maior percentual de energia acumulada nas altas densidades populacionais. Esses resultados demonstram a alta capacidade das plantas de mandioca em se ajustar a condições de maior competição, denominada de "plasticidade". Mesmo em condições de alta competição entre plantas (20.000 plantas ha⁻¹), houve uma pequena alteração na distribuição e acúmulo de assimilados nas diferentes partes das plantas de mandioca (Tabela 1).

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

Todavia, essas observações discordam de outros autores, que observando dados em base úmida, afirmam que em altas densidades de plantio as plantas de mandioca tendem a promover maior acúmulo de biomassa na parte aérea em detrimento das raízes (Enyi, 1972; Williams, 1972; Barros et al., 1978, Lorenzi, 2012, Aguiar, 2003).

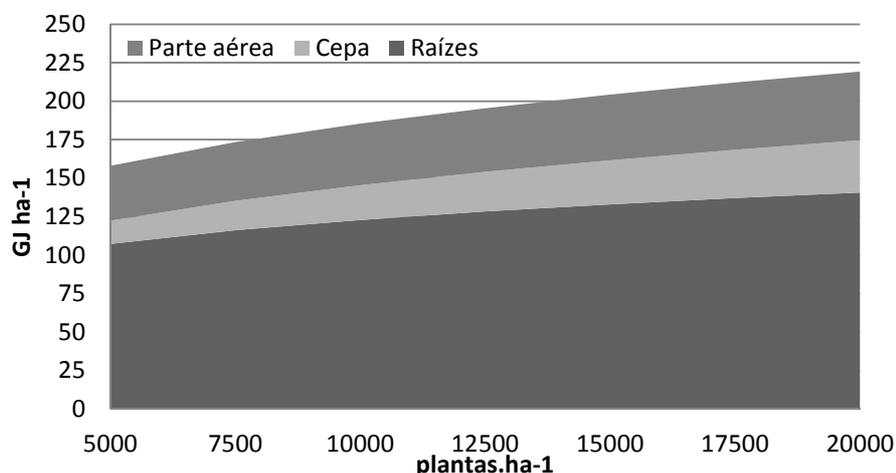


Figura 2. Energia acumulada raízes, parte aérea e cepa e planta integral (GJ ha⁻¹) em diferentes densidades populacionais.

Tabela 1. Partição do equivalente energético acumulado nas raízes, parte aérea e cepa (%) em relação à energia total acumulada nas plantas de mandioca em diferentes densidades populacionais.

Densidade populacional	Raízes ----- % -----	Cepa ----- % -----	Parte aérea ----- % -----
5000	67,72	9,54	22,48
7500	66,80	11,01	21,88
10000	66,16	12,18	21,47
12500	65,66	13,18	21,16
15000	65,26	14,06	20,90
17500	64,92	14,84	20,69
20000	64,63	15,56	20,51
Média	65,88	12,91	21,30

CONCLUSÕES

Tanto para raízes como parte aérea e cepa, o aumento nas densidades de plantio proporcionou aumentos significativos nos seus equivalentes energéticos em MJ ha⁻¹.

Altas densidades de plantio podem proporcionar aumentos de até 39% no equivalente energético total por hectare (raízes, parte aérea e cepa).

Independente das densidades de plantio, os subprodutos da mandioca correspondem em média a 34,21% da energia total acumulada.

LITERATURA CITADA

AGUIAR, E. B. **Estudo da poda da mandioca**. 2011, 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Botucatu, 2011.

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

AGUIAR, E. B. **Produção e qualidade de raízes de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), em diferentes densidades populacionais e épocas de colheita.** 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

BARROS, R. S.; MERCÊS, W. C. ALVIM, R. Sink strength and cassava productivity. **Hortscience**, Alexandria, v. 13, n. 14, p. 474-475, 1978.

COCK, J. H.; WHOLEY, D.; CASAS, O. G. de las. Effect of spacing on cassava (*Manihot esculenta*). **Experimental Agriculture**. Great Britain, v. 13, n. 3, p. 289-299, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF, 1999. 412 p.

ENYI, B. A. C. Effect of shoot number and time of planting on growth, development and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Horticultural Science**, Sierra-Leone, v. 47, n. 4, p. 457-456, 1972.

ENYI, B. A. C. Growth rates of three cassava varieties (*Manihot esculenta* Crantz) under varying population densities. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 81, n. 1, p. 15-28, 1973.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

LORENZI, J. O. **Mandioca.** 2 ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2012. 129 p. (Boletim técnico, 245)

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, D. A. **A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) como matéria-prima para a produção de etanol no Brasil.** Campinas: Instituto Agronômico, 1980. 80 p. (Boletim técnico, 67).

NORMANHA, E. S.; PEREIRA, A. S. Aspectos agronômicos da cultura da mandioca. **Bragantina**, Campinas, v. 10, n. 7, p. 179-202, 1950.

PERRY, R.H. e CHILTON, C.H. (eds). **Manual de Engenharia Química**, 5a ed., Guanabara Dois, 1980.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JUNIOR, W. F. Cultura canavieira: um desperdício energético. **Maquinaria Agrícola**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 2-3, jan. 1991.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho.** 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)-UNESP, Botucatu, 2008.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná – Uruguai, 1996. 61 p.

VEIGA, J. P. S. **Caracterização de resíduos de colheita da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e avaliação do potencial de co-geração de energia no processo de produção de etanol.** 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-UNICAMP, Campinas, 2012.

05 e 06 de junho de 2013 - Ribeirão Preto SP

WILLIAMS, C. N. Growth and productivity of tapioca (*Manihot utilissima*): III. Crop ratio, spacing and yielding. **Experimental Agriculture**, Great Britain, v. 8, n. 1, p. 15-23, 1972.

YANG, H.; CHEN, L.; YAN, Z.; WANG, W. Emery analysis of cassava-based fuel ethanol in China. **Biomass and Bioenergy**. v. 35, n. 1, p. 581-589, 2011.