

ANÁLISE ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM TAXA VARIÁVEL EM TRIGO

COLAÇO, A. F., KARAM, E. H., POVH, F. P., ROMANELLI, T. L., MOLIN, J. P.

¹Eng^o Agrônomo, Mestrando, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP, Fone: (019) 3447-8509, andrecolaco@usp.br.

²Eng^o Agrônomo, Mestrando, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

³Eng^o Agrônomo, Pesquisador, Fundação ABC Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, Castro - PR.

⁴Eng^o Agrônomo, Professor Doutor, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

⁵Eng^o Agrícola, Professor Associado, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

Apresentado no
XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011
24 a 28 de julho de 2011 - Cuiabá-MT, Brasil

RESUMO: A agricultura de precisão (AP) é uma técnica que pode reduzir a utilização de insumos nas produções agrícolas, inclusive o consumo de fertilizantes nitrogenados. Grande atenção é dada a esse insumo devido à sua contribuição na entrada de energia na agricultura. Metodologias embasadas no cálculo do fluxo energético de sistemas agrícolas são capazes de identificar práticas de manejo mais eficientes energeticamente. Dessa forma, o objetivo deste estudo é avaliar do ponto de vista energético a aplicação de nitrogênio em taxa variável em lavoura de trigo. Foram utilizadas duas áreas cultivadas com trigo contendo faixas de adubação nitrogenada convencional, com uma única dose recomendada, intercaladas com faixas de aplicação de N em doses variáveis. Foram calculados os fluxos de entrada e saída de energia do sistema, balanço energético, EROI (*energy return on investment*), e energia incorporada em cada ponto georreferenciado das áreas. Observou-se uma menor entrada de energia nas faixas aplicadas em taxa variável, visto a economia do fertilizante nitrogenado. Isso resultou em maiores balanço energético, EROI e menor energia incorporada nas áreas manejadas com AP. A metodologia energética é uma ferramenta importante para avaliar sistemas que aplicam a AP, pois podem auxiliar no monitoramento do potencial energético das culturas.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão, balanço energético, EROI.

ENERGY ASSESSMENT OF NITROGEN VARIABLE RATE FERTILIZATION ON WHEAT

ABSTRACT: Precision Agriculture (PA) is a technique that can reduce the inputs utilization in agriculture production, including the nitrogen fertilizer consume. Great importance is given to this fertilizer, due to its contribution on energy input in agriculture. Methodologies based on the calculation of energy flow of agriculture systems are capable to identify management practices that use energy more efficiently. So, this study's objective is to evaluate the variable-rate nitrogen fertilization on wheat, using energy assessment. This study was carried on in two wheat fields, in which the fertilization was done adopting strips alternated by conventional method (single nitrogen dose) and by nitrogen variable-rate technology. Thus, the input and output energy in the system, energy balance, energy return on investment (EROI) and incorporated energy were determined for each geo-referenced point within the fields. Results showed that less energy was demanded when

using variable-rate technology, due to the nitrogen saving, providing greater energy balance, EROI and lower incorporated energy on the areas managed using PA. The energy assessment showed to be an important tool to evaluate systems that use PA, because it is capable of monitoring crops energy potential.

KEYWORDS: Precision agriculture, energy balance, EROI.

INTRODUÇÃO

Os fluxos de material e de energia têm sido foco de diversos estudos dedicados a compreender como a energia é utilizada na agricultura e analisar a eficiência do seu uso em culturas energéticas ou alimentícias. Segundo ODUM (2003), a análise energética é um método utilizado na eco-engenharia muito adequado para se estudar um sistema agrícola sob uma diferente ótica que não a econômica. Através da determinação do fluxo de material utilizado em um sistema de produção agrícola, aliado aos respectivos índices energéticos dos materiais (fluxo energético) é possível verificar quais práticas agrícolas são mais eficientes energeticamente ou mais demandantes em energia, e quais são mais sustentáveis do ponto de vista energético e ambiental (ROMANELLI & MILAN, 2010a).

BALA et al. (1992), OZKAN et al. (2004) e TABAR et al. (2010) concluíram que os fertilizantes, principalmente os nitrogenados, juntamente com a irrigação, foram responsáveis pela maior parte da energia de entrada na agricultura de seus países. O nitrogênio é um dos principais componentes da energia de entrada nos sistemas agrícolas devido ao seu alto índice energético – oriundo do alto consumo de energia fóssil para sua confecção – e às grandes quantidades aplicadas nas culturas (HULSBERGEN et al., 2002; ERCOLI et al., 1999). Dessa forma são extremamente desejáveis técnicas capazes de diminuir o consumo desse insumo sem que isso afete o rendimento das culturas. Foi com esse intuito que surgiu o conceito da Agricultura de Precisão (AP).

A AP é definida como um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para otimizar sistemas de produção agrícolas, e é embasada principalmente no gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores responsáveis por ela (WHELAN & McBRATNEY, 2000). Como resultado, a AP é capaz de reduzir a quantidade de insumos aplicados no campo, diminuindo assim a contaminação do ambiente por excesso de nutrientes (ZHANG et al., 2002; XIANG et al., 2008).

Uma das principais ferramentas utilizadas é a aplicação de insumos em taxa variável que consiste em variar as doses de aplicação de acordo com uma recomendação dada à cada ponto no campo. ROBERTSON et al. (2008) verificaram, em campos de produção de trigo na Austrália, um grande potencial de ganho econômico com a adoção da taxa variável de aplicação de fertilizantes, visto a variabilidade espacial existente na produtividade dessas áreas.

No manejo do nitrogênio, a AP também tem tido sucesso em reduzir o seu consumo. Em cereais, uma das tecnologias bem desenvolvidas para gerar as recomendações em taxa variável do insumo é o sensoriamento remoto, capaz de determinar as doses em tempo real por meio de um sensor ótico (POVH et al. 2008).

Visto o potencial da AP em reduzir a demanda energética das culturas por meio da economia de insumos, o presente trabalho teve por objetivo analisar energeticamente a prática de aplicação de nitrogênio em taxa variável na cultura do trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se para o estudo duas áreas localizadas em Tibagi, PR, cultivadas com trigo durante a safra de verão de 2006/2007. Foram dispostas no campo faixas para aplicação de N em taxa

variável intercaladas com faixas para aplicação convencional de N, totalizando 24 faixas. Adotaram-se 2 tratamentos em 4 repetições, sendo um tratamentos, faixas adubadas em doses variáveis de N e o outro, faixas adubadas com uma única dose fixa de 120 kg N ha⁻¹. O arranjo experimental e a coleta de dados foram descritos detalhadamente por POVH (2008).

As recomendações de N foram realizadas a partir de leituras de um sensor ótico ativo GreenSeeker Hand HeldTM que se baseia na reflectância das folhas para calcular o índice vegetativo NDVI (normalized difference vegetation index) e as doses de recomendação de N. As leituras do sensor foram georreferenciadas por um aparelho GPS gerando assim um mapa de recomendação de N, para as faixas de taxa variável. Dessa forma, a adubação nitrogenada se deu em três doses, 20, 40 e 60 kg de N ha⁻¹, além de 18 kg N ha⁻¹ aplicados em todas as faixas como adubação de base.

Para verificar o efeito dos tratamentos no rendimento da cultura, foram coletados dados de produtividade a partir de um monitor de produtividade instalado em uma colhedora de grãos. Os dados georreferenciados formaram mapas de produtividade para as faixas de dose variável e dose fixa de N.

Os dados georreferenciados de doses de nitrogênio e produtividade foram relacionados em uma planilha eletrônica (Microsoft Excel 2007[®]) e em um sistema de informações geográficas (SStollbox[®]). Dessa forma foi possível realizar a estatística descritiva dos dados de produtividade e consumo de N, em cada ponto georreferenciado. A partir dos seus índices energéticos, foram calculados o gasto energético em N e o retorno de energia oriunda da produtividade do trigo.

Os seguintes indicadores energéticos também foram calculados: BE (balanço energético, em MJ ha⁻¹), EROI (*energy return on investment*) e EI (energia incorporada, em MJ ha⁻¹) segundo as equações 1, 2 e 3:

$$BE = EE - ES \quad (1)$$

$$EROI = EE/ES \quad (2)$$

$$EI = EE/PROD \quad (3)$$

em que,

EE, energia de entrada (MJ ha⁻¹);

ES, energia de saída (MJ ha⁻¹) e

PROD, produtividade (kg ha⁻¹).

A energia de saída (ES) corresponde à produtividade da cultura convertida em MJ. Já a energia de entrada (EE) é representada por todos os insumos utilizados no processo de implantação das áreas, convertidos em MJ, de acordo com seus índices energéticos. Nesta etapa, utilizaram-se dados sobre a produção de trigo no estado do Paraná, extraídos do periódico AgriFNP (2009). Foram considerados o consumo de mão de obra, depreciação de maquinários, consumo de óleo diesel, sementes, fungicidas, herbicidas, inseticidas e fertilizantes formulados.

O fertilizante nitrogenado, foi o único fator que variou entre os tratamentos cujo índice energético utilizado foi 74 MJ/kg (PELLIZZI, 1992). A quantidade utilizada do fertilizante formulado foi aquela realmente utilizada na área, de acordo com POVH (2008). As quantidades das entradas de insumos, os seus índices energéticos e as referências utilizadas para obtenção dos índices são visualizados na tabela 1.

O cálculo da depreciação de maquinários foi realizado com base na metodologia proposta por ROMANELLI & MILAN (2010b).

Os indicadores energéticos foram então plotados em mapas sobre as mesmas coordenadas geradas pelos mapas de produtividade, para verificar a espacialização dos mesmos na área estudada.

Tabela 1: Entradas de insumos para implantação das áreas cultivadas com trigo e seus índices energéticos.

	Quant.	Unidade ha ⁻¹	Índice (MJ unid ⁻¹)	MJ ha ⁻¹	Referência
M.O.	4.25	h	2.2	9.35	SERRA et al (1979)
Dep. Maq.	19.9	kg	68.9	1371.11	ULBANERE & FERREIRA (1989)
Óleo Diesel	46.35	L	38.6	1789.11	ULBANERE & FERREIRA (1989)
08-30-20	230	kg	11.028*	2536.44	-
Semente	146	kg	18.109**	2643.914	-
Fungicida	1.32	L	97.13	128.2116	PIMENTEL (1980)
Herbicida	5.6	L	254.57	1425.592	PIMENTEL (1980)
Inseticida	0.1	L	184.71	18.471	PIMENTEL (1980)
Outros	0.2	L	97.13	19.426	PIMENTEL (1980)

* Calculado a partir da ponderação entre os índices energéticos do N, P₂O₅ e K₂O (PELLIZZI,1992; FERRARO Jr, 1999)

** Considerado 40% a mais do que índice energético do trigo para grão (PELLIZZI,1992)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 são visualizados os resultados da estatística descritiva realizada sobre os dados de produtividade e quantidades de N aplicadas. Comparando-se as médias de produtividade das duas áreas, observa-se pouca diferença entre a aplicação de N em taxa variável ou fixa. Nota-se que os coeficientes de variação (CV) das produtividades foram ligeiramente menores quando se utilizou a taxa variável de adubação, o que remete à idéia de que a aplicação da AP levou à maior homogeneidade da produtividade nas áreas.

O ganho oriundo da adubação nitrogenada em taxa variável foi na economia do insumo, observada nas duas áreas de estudo, com 59% e 25% a menos respectivamente. Segundo ADRIAN et al. (2005), existem duas estratégias que podem ser adotadas ao se aplicar a AP. Obter maior produção utilizando a mesma quantidade de insumos, ou manter a produção, porém utilizando menos insumos. O resultado obtido neste trabalho reflete a segunda estratégia.

Tabela 2: Estatística descritiva dos pontos de produtividade e doses de nitrogênio.

		Cont.	Média	Máx.	Mín.	CV (%)
			----- kg ha ⁻¹ -----			
Área 1	Prod. Taxa Var.	907	3025.92	5239.00	1530.00	16%
	Prod. Taxa Fixa	748	3053.68	4808.00	1327.00	18%
	N Taxa Var.	907	49.20	78.40	38.40	25%
	N Taxa Fixa	748	120.00	120.00	120.00	0%
Área 2	Prod. Taxa Var.	982	3546.35	5237.00	1411.00	17%
	Prod. Taxa Fixa	813	3568.08	5436.00	1541.00	19%
	N Taxa Var.	982	89.77	112.40	72.40	15%
	N Taxa Fixa	813	120.00	120.00	120.00	0%

Em relação aos mapas dos indicadores energéticos, visualizados na figura 1, observa-se em cada par de faixas, resultados distintos entre a faixa de dose fixa de N (faixa da esquerda) e a faixa de dose variável (faixa da direita). Os resultados do balanço energético mostram valores menores

para as faixas com adubação convencional, inclusive com alguns pontos vermelhos com balanço negativo, o que representa maior entrada de energia do que a energia de saída. Nas mesmas faixas, observa-se um maior gradiente de cores, o que representa variação nos valores dos balanços. Isso se deve provavelmente aos desequilíbrios entre dose de N demandada pela cultura e dose aplicada, que normalmente ocorre nas adubações em taxa fixa. Isso resulta também em maior variabilidade da produtividade e consequentemente da saída de energia da cultura e do seu balanço energético.

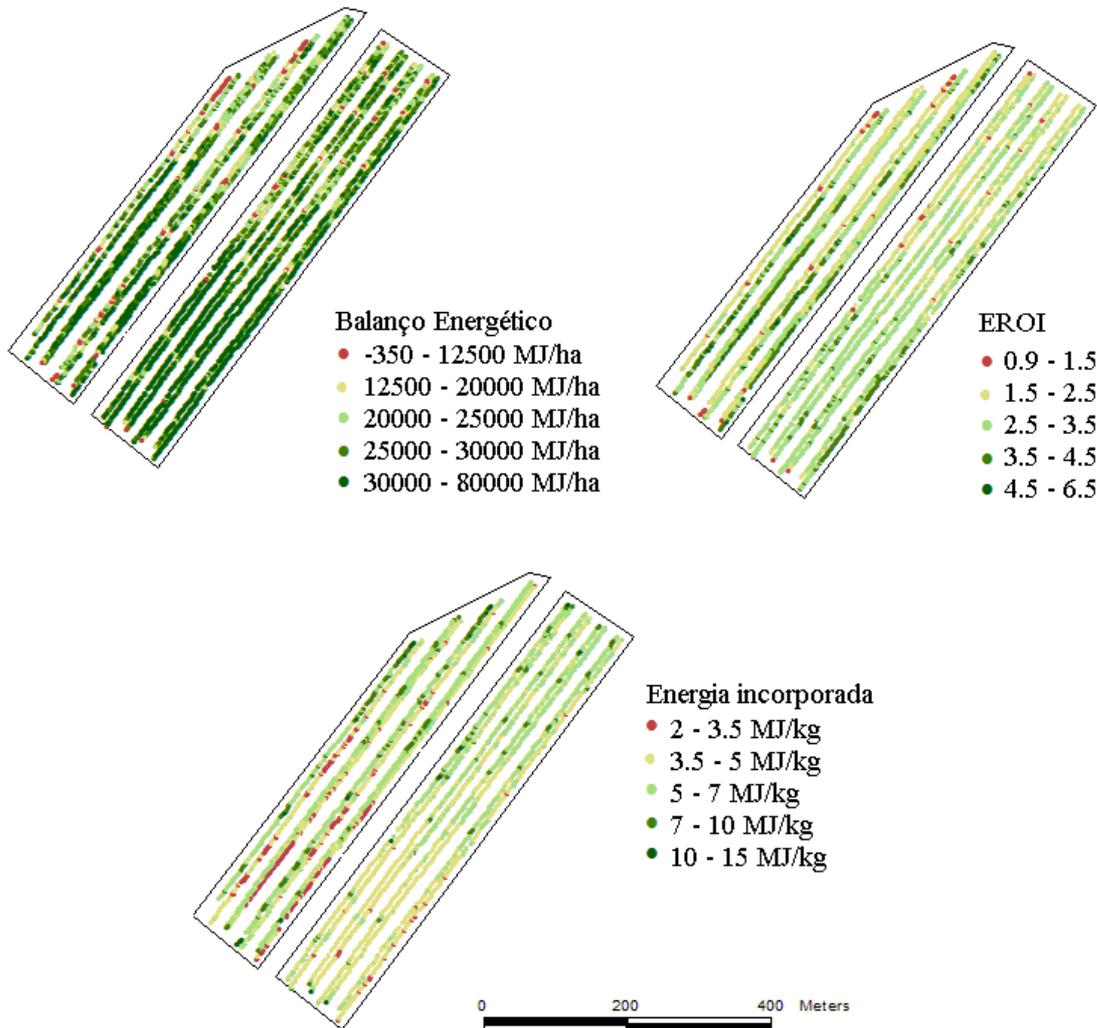


Figura 1: Mapas dos indicadores energéticos.

O mapa do EROI (figura 1) também representa a relação entre a entrada e a saída de energia do sistema. Observam-se os maiores valores sempre nas faixas da direita de cada par, onde foi realizada a adubação em taxa variável. Isso se deve à menor entrada de energia na adubação nitrogenada deste tratamento, conforme resultado apresentado na tabela 2.

O mapa de energia incorporada também revela a menor entrada de energia no sistema conduzido com AP. Para produzir a mesma quantidade de trigo foi demandado menor energia de entrada nas faixas da direita, em cada par de faixas.

Os valores médios dos indicadores energéticos, das entradas e saídas de energia, assim como as produtividades e o consumo de N dados em MJ ha^{-1} são visualizados na tabela 3. Observa-se uma redução significativa nos valores de energia de entrada entre os dois sistemas de adubação e uma constância nos valores de saída de energia. Da mesma forma se observam os valores de produtividade e consumo de N. Com a aplicação da taxa variável o percentual de energia contida no N em relação ao total de energia de entrada nos sistemas passou de 47% para 18% na área 1, e 40%

na área 2. Esse comportamento foi responsável pelos maiores balanços energéticos e EROI e menor incorporação energético nos sistemas manejados com AP.

Tabela 3: Indicadores energéticos nas áreas 1 e 2 em taxa fixa e variável.

	Unidade	----- Área 1 -----		----- Área 2 -----	
		Taxa Variável	Taxa Fixa	Taxa Variável	Taxa Fixa
EE	MJ ha ⁻¹	12221.18	18821.62	16584.81	18821.62
ES	MJ ha ⁻¹	42151.06	42537.77	49400.65	49703.34
BE	MJ	29929.88	23716.14	32815.84	30881.71
EROI	--	3.47	2.26	2.98	2.64
EI	MJ kg ⁻¹	4.15	6.40	4.80	5.49
PROD	MJ ha ⁻¹	42151.06	42537.77	49400.65	49703.34
N	MJ ha ⁻¹	2279.56	8880.00	6643.18	8880.00

CONCLUSÕES

A metodologia energética é uma ferramenta importante para avaliar sistemas que aplicam a Agricultura de Precisão, pois podem auxiliar no monitoramento do potencial energético de culturas alimentícias ou destinadas a bioenergia.

A prática de adubação em taxa variável de nitrogênio, uma importante fonte de entrada de energia nos sistemas agrícolas, é capaz de reduzir a demanda energética e melhorar a eficiência do processo produtivo em termos energéticos.

Como sugestão para futuras ações, um algoritmo de cálculo dos fluxos de energia pode ser implementado para geração de mapas ou monitoramento em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AgriFNP. 2009: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos, 2009.

ADRIAN, A. M., NORWOOD, S. H., MASK, P. L. Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.48, p.256–271, 2005.

BALA, B. K., SATTER, M. A., BISWAS, B. K. Utilization pattern of animal draft power and cow dung in Bangladesh. **Bioresource Technology**, v.41, p.1-8, 1992.

ERCOLI, L., MARIOTTI, M. MASONI, A., BONARI, E. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of anergy use in crop production of *Miscanthus*. **Field Crops Research**, v.63, p.3-11, 1999.

FERRARO JR., L.A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**.1999. 132 p. Dissertação Mestrado – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

- HULSBERGEN, K. J., FEIL, B., DIEPENBROCK, W. Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: result of a long term experiment. **Field Crops Research**, v.77, p.61-76, 2002.
- ODUM, H. T., ODUM, B. Concepts and methods of ecological engineering. **Ecological Engineering**, v.20, p.339-361, 2003.
- OZKAN, B.; AKCAOZ, H.; FERT, C. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. **Renewable Energy**, v.29, p.39–51, 2004.
- PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, v.52, p.111-119, 1992.
- PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475p.
- POVH, F. P., MOLIN, J. P., GIMENEZ, L. M., PAULETTI, V., MOLIN, R., SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n. 8, p.1075-1083, 2008.
- ROBERTSON, M. J., LYLE, G., BOWDEN, J. W. Within-field variability of wheat yield and economic implications for spatially variable nutrient management. **Field Crops Research**, v. 105, p.211-220, 2008.
- ROMANELLI, T. L., MILAN, M. Energy performance of a production system of eucalyptus. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.896-903, 2010a.
- ROMANELLI, T. L., MILAN, M. Material flow determination through agricultural machinery management. **Scientia Agrícola**, v.67, n.4, p.375-495, 2010b.
- SERRA, G. E.; HEEZEN, A. M.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1979. 86p.
- TABAR, I. B., KEYHANI, A., RAFIEE, S. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p.849-855, 2010.
- ULBANERE, R. C.; FERREIRA, W. A. Análise do balanço energético para à produção de milho no Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.4, n.1, p.35-42, 1989.
- WHELAN, B. M., McBRATNEY, A. B. The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. **Precision Agriculture**, v.2, p.265-279, 2000.
- XIANG, Y., JI-YUN, J., PING, H., MING-ZAO, L. Recent advantages on the technologies to increase fertilizer use efficiency. **Agriculture Sciences in China**, v.7, n.4, p.469-479, 2008.
- ZHANG, N., WANG, M., WANG, N. Precision agriculture – a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.36, p.113-132, 2002.