

- YIELD GAP -

CONCEITOS, DEFINIÇÕES E EXEMPLOS

Paulo Cesar Sentelhas¹
Rafael Battisti¹
Leonardo Amaral Monteiro²

Yury Catalani Nepomuceno Duarte¹
Fábio de Araújo Visses¹

INTRODUÇÃO

O presente artigo tem por objetivo apresentar o conceito de *yield gap*, ou quebra de produtividade, que vem sendo amplamente abordado nos últimos anos em todo o mundo, bem como identificar as magnitudes e as principais causas dessas perdas, auxiliando, assim, na definição de estratégias para o seu controle e contribuindo de forma efetiva para o aumento da segurança alimentar e energética ao redor mundo.

Para o pleno conhecimento desse conceito, é necessário compreender os principais tipos e níveis de produtividade e os fatores que afetam a expressão do potencial produtivo das culturas.

TIPOS DE PRODUTIVIDADE E SEUS FATORES CONDICIONADORES

A relação entre os diferentes tipos e níveis de produtividade de uma cultura agrícola e os fatores que a determinam define o que se denomina de quebra de produtividade. Diferentes autores consideram diferentes tipos e níveis de produtividade. Lobell, Cassman e Field (2009) definiram quatro tipos de produtividade: (a) produtividade potencial, como sendo a máxima produtividade a ser obtida por uma cultura em um local; (b) produtividade experimental, a obtida em experimentos de campo; (c) produtividade máxima do produtor e (d) produtividade média do produtor. Bhatia (2008) e Battisti, Sentelhas e Pilau (2012) classificaram a produtividade em potencial, atingível e real. Ittersum et al. (2013) denominaram a produtividade atingível de produtividade explorável, mostrando que a diferença entre produtividade explorável e produtividade real é o máximo incremento de produtividade que o produtor poderá obter em condições de sequeiro por meio de melhores práticas de manejo. Abordagem semelhante foi feita por Hall et al. (2013), os quais avaliaram as quebras de

produtividade por meio da comparação entre as produtividades potencial, experimental e comercial, sendo esta última reportada em levantamentos realizados por agências governamentais em nível nacional.

Considerando esses trabalhos, pode-se concluir que a produtividade é classificada em diferentes tipos e níveis, dependendo dos fatores que a controlam, sendo eles de ordem genética (genótipo empregado), climática e de manejo agrícola.

A Figura 1 ilustra os diferentes tipos de produtividade de uma cultura hipotética, de acordo com Sentelhas et al. (2015). A produtividade potencial (PP) é a máxima produtividade obtida por uma cultura em condições onde não há limitações de ordem hídrica, nutricional ou fitossanitária, sendo influenciada apenas pela interação da cultura (genótipo e população de plantas) com as condições ambientais (radiação solar, temperatura e fotoperíodo). Por isso, a PP é considerada como uma produtividade teórica, já que é difícil de ser obtida em condições operacionais de campo, principalmente devido a variações constantes das condições climáticas e da evolução genética das cultivares empregadas pelos produtores (ITTERSUM e RABBINGE, 1997; SENTELHAS et al., 2015). A PP pode ser

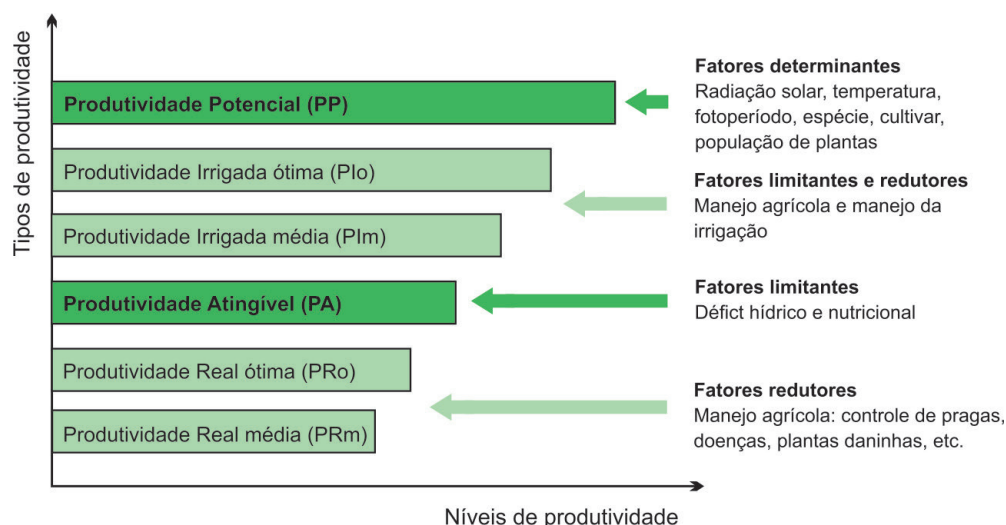


Figura 1. Níveis e tipos de produtividade agrícola de acordo com seus respectivos fatores determinantes, limitantes e redutores.

Fonte: Adaptada de Sentelhas et al. (2015).

Abreviações: CONAB = Companhia Nacional de Abastecimento; IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; MAPA = Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; PA = produtividade atingível; PIm = produtividade irrigada média; PI = produtividade irrigada; PIo = produtividade irrigada ótima; PP = produtividade potencial; PR = produtividade real; PRm = produtividade real média; PRo = produtividade real ótima; YG = *yield gap*; YG_{DI} = *yield gap* causado pelo déficit hídrico; YG_{MA} = *yield gap* causado pelo manejo agrícola.

¹ Engenheiro Agrônomo, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, SP; email: pccsentel.esalq@usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília, DF.

determinada de diferentes formas, como, por exemplo, por meio de experimentos de campo ou por modelos de simulação devidamente calibrados, desde que sob manejo ótimo da cultura, de modo a não subestimá-la (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009; ITTERSUM et al., 2013; HOANG, 2013).

Outro tipo de produtividade, de menor magnitude, é aquela obtida pelas culturas irrigadas, nas quais o déficit hídrico é reduzido ao longo do ciclo. Neste caso, a produtividade é denominada de produtividade irrigada (PI) e seu nível depende do manejo da irrigação empregado (momento e lâmina de irrigação), podendo ser considerado como ótimo (PIo), no qual a irrigação aplicada é uma lâmina de água próxima da plena, ou médio (PI_m), no qual a irrigação supre apenas uma parte da necessidade da cultura. Além da água, a PI também considera os fatores relativos ao manejo da cultura. Assim, as diferenças que existem entre PIo e PI_m são causadas pelo manejo agrícola e pelo manejo da água, os quais dependem do nível tecnológico empregado pelos agricultores.

O próximo nível de produtividade é a produtividade atingível (PA), a qual é influenciada pelos fatores determinantes que condicionam a PP e pelos fatores limitantes relacionados à disponibilidade de água no solo. A PA reflete a penalização da PP pelo déficit hídrico e, conseqüentemente, pelo déficit nutricional que este causa, já que a absorção de água pelas raízes é o veículo para que as plantas absorvam os nutrientes disponíveis no solo. Assim, pode-se considerar que a PA sofre influência da chuva, do tipo de solo e de sua capacidade de água disponível, da evapotranspiração de referência e da sensibilidade do genótipo ao déficit hídrico (GILBERT et al., 2011; BATTISTI, 2013). A PA, assim como a PP, é um valor teórico que representa a máxima produtividade a ser atingida por uma cultura de sequeiro sob condições ótimas de manejo agrícola (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009; ITTERSUM et al., 2013).

O último nível é o da produtividade real de sequeiro (PR), a qual sofre influência dos fatores determinantes (genótipo, população, ambiente), limitantes (déficit hídrico e nutricional) e redutores (pragas, doenças, plantas daninhas e outras condições de manejo). Neste caso, o nível tecnológico empregado pelos agricultores volta a ser decisivo na definição do nível de produtividade a ser obtido. Para os produtores que detêm melhores níveis tecnológicos, a PR é denominada de produtividade real ótima (PRo), enquanto para os produtores que adotam manejo agrícola subótimo, a produtividade real será considerada como média (PR_m).

Com base no exposto, pode-se afirmar que a produtividade agrícola a ser obtida no campo dependerá da interação dos fatores determinantes, limitantes e redutores (Figura 1). Os fatores determinantes e limitantes associados ao clima e sua variabilidade podem ser manejados pelos agricultores por meio da escolha do local de cultivo e da época de semeadura, ao passo que os fatores redutores são manejados por meio de práticas agrícolas, que incluem preparo, correção e manejo do solo e também controle fitossanitário. É importante salientar que qualquer alteração desses fatores acarretará em alterações da PP, PA e PR, independentemente do sistema, se irrigado ou de sequeiro.

QUEBRA DE PRODUTIVIDADE – DEFINIÇÕES, CONCEITOS E APLICAÇÕES

A quebra de produtividade, ou *yield gap*, é definida como a diferença entre distintos tipos de produtividade para uma condição específica de cultivo, e serve para identificar as possíveis causas da redução da produtividade. Assim, dependendo do tipo de produtividade considerado, pode-se definir as principais causas da quebra de produtividade. Quando a quebra é obtida pela diferença entre PP

e PR_m, está é denominada de quebra total, a qual sofre influência dos fatores limitantes e redutores.

Na Figura 1, as diferenças entre as barras horizontais representam as quebras de produtividade. Essas quebras podem advir de fatores associados à disponibilidade de água (déficit hídrico) ou ao manejo agrícola da cultura, sendo este mais difícil de ser determinado, haja vista a grande complexidade dos sistemas agrícolas em condições de campo. Assim, a diferença entre PP e PI mostrará que a quebra advém dos manejos subótimos da irrigação e da cultura, como enfatizado por Rodrigues et al. (2013). Eles observaram que as diferenças de produtividade entre lavouras de soja irrigada foram devidas aos fatores relacionados ao manejo da irrigação, cultivar, adubação e controle de pragas e doenças.

Quando o foco são as lavouras em condições de sequeiro, a quebra de produtividade é obtida pela diferença entre PP e PA, o que demonstra apenas o efeito do déficit hídrico na produtividade. Já a diferença entre PA e PR define a quebra de produtividade devido ao manejo agrícola da cultura, considerando que, nessas condições, a máxima produtividade que poderá ser atingida é a PA (ITTERSUM et al., 2013).

De acordo com Lobell, Cassman e Field (2009), existem dois motivos para o estudo e entendimento das quebras de produtividade: (1) eles auxiliam nas projeções futuras da produtividade, já que os locais que apresentam produtividades próximas ao limite superior têm menor chance de apresentar incrementos de produtividade no futuro, e (2) permitem identificar os fatores que estão contribuindo para a quebra de produtividade, o que é útil para o direcionamento de estratégias para o aumento da produtividade. Em ambos os casos, essas determinações contribuem para a obtenção da segurança alimentar, quando se visa culturas alimentícias ou energéticas.

Para as condições brasileiras, Sentelhas et al. (2015) determinaram os diferentes níveis de quebra de produtividade para a cultura da soja por meio de um modelo de simulação calibrado com base nos dados de ensaios de competição de cultivares da Fundação Pró-Sementes realizados por Battisti e Sentelhas (2015). Os resultados mostram que as quebras de produtividade da cultura da soja em diferentes regiões produtoras do Brasil variam consideravelmente e que grande parte delas é oriunda do déficit hídrico (73,8%), enquanto o manejo inadequado da cultura representa apenas 26,8% da quebra geral de produtividade (Tabela 1). Apesar dos valores absolutos de PP, PA e PR serem variáveis com o tempo devido ao avanço tecnológico, os valores relativos das quebras não devem mudar significativamente, representando adequadamente o que atualmente ocorre com as lavouras de soja em todo o Brasil. Desse modo, pode-se concluir que grande parte das quebras de produtividade na cultura da soja é causada pelo déficit hídrico ao longo do ciclo, o que evidencia a importância de se adotar as recomendações das épocas de semeadura com menores riscos climáticos, do uso do plantio direto para conservação da água no solo e de cultivares com maior tolerância ao déficit hídrico (SENTELHAS et al., 2015).

Resultados similares foram obtidos por Monteiro (2015) para a cultura da cana-de-açúcar. Nesse estudo, as quebras de produtividade da cana-de-açúcar foram avaliadas em diferentes regiões brasileiras. Observou-se que o déficit hídrico foi responsável, na média nacional, por 75,6% da quebra total de produtividade, enquanto o manejo agrícola representou 24,4%. No entanto, foram observadas diferenças entre as regiões, sendo que na região Nordeste o déficit hídrico respondeu por aproximadamente 86% das quebras de produtividade, enquanto na região Sul as maiores quebras foram causadas por fatores relacionados ao manejo agrícola e à ocorrência de geadas. Um resumo desses resultados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 1. Produtividades potencial, atingível e real para a cultura da soja em diferentes regiões produtoras do Brasil e suas respectivas quebras de produtividade causadas pelo déficit hídrico (Água) e pelo manejo agrícola (Manejo).

Região produtora	Produtividade potencial	Produtividade atingível	Produtividade real	Quebra Água	Quebra Manejo	Quebra relativa Água (%)	Quebra relativa Manejo (%)	Produtividade potencial 80% (kg ha ⁻¹)
	----- (kg ha ⁻¹) -----							
Cruz Alta, RS	5.506	2.956	2.286	2.549	670	79,2	20,8	4.404
Campos Novos, SC	5.094	3.538	2.826	1.556	713	68,6	31,4	4.075
Campo Mourão, PR	5.068	3.178	2.872	1.890	306	86,1	13,9	4.054
Assis, SP	5.099	3.094	2.523	2.004	571	77,8	22,2	4.079
Dourados, MS	5.359	3.450	2.810	1.909	640	74,9	25,1	4.287
Uberaba, MG	4.806	3.776	3.009	1.030	767	57,3	42,7	3.845
Jataí, GO	4.538	3.721	3.345	817	375	68,5	31,5	3.630
Formosa, GO	4.488	3.430	2.995	1.058	435	70,9	29,1	3.591
Primavera do Leste, MT	4.475	3.391	3.079	1.083	312	77,6	22,4	3.580
Correntina, BA	4.712	3.277	2.934	1.434	344	80,7	19,3	3.769
Tapurah, MT	4.210	3.710	3.243	500	467	51,7	48,3	3.368
Peixe, TO	4.556	3.407	3.063	1.149	344	76,9	23,1	3.645
Santana do Araguaia, PA	4.383	3.548	3.318	835	230	78,4	21,6	3.506
Bom Jesus, PI	4.734	3.202	2.723	1.532	480	76,2	23,8	3.787
Balsas, MA	4.482	3.237	2.956	1.245	281	81,6	18,4	3.586
Média geral	4.767	3.395	2.932	1.373	462	73,8	26,2	3.814
Desvio padrão	379	240	283	543	172	9,2	9,2	303
CV (%)	7,9	7,1	9,7	39,5	37,1	12,4	35,0	8

Fonte: Adaptada de Sentelhas et al. (2015).

Tabela 2. Yield gap total (YG_T) da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras e sua partição percentual no YG por déficit hídrico (YG_{DH}) e por manejo agrícola (YG_{MA}).

Região	YG _T (t ha ⁻¹)	YG _{DH} (%)	YG _{MA} (%)
Sudeste	102,8	77,4	22,6
Nordeste	167,4	85,9	14,1
Centro-Oeste	136,4	68,6	31,4
Sul	86,5	48,1	51,9

Fonte: Adaptada de Monteiro (2015).

Para a cultura de milho no estado de São Paulo, Duarte (2012) observou que a quebra de produtividade causada pelo déficit hídrico variou com a época de semeadura e a região de cultivo, sendo que a relação PA/PP variou de 0,80, para a safra das águas nas regiões mais úmidas, a 0,20, para a safrinha nas regiões mais secas do estado. Já a quebra de produtividade ocasionada pelo manejo agrícola variou principalmente com a região, e a relação PR/PA variou entre 0,5 e 0,7, o que indica que as quebras de produtividade causadas pelo manejo podem variar de 30% a 50% do valor da PA.

Para a cultura da mandioca, Visses (2016), avaliou a produtividade nas principais regiões produtoras do Brasil, observando que há uma variabilidade muito grande com relação à PR, que oscilou de 5,40 t ha⁻¹ a 26,55 t ha⁻¹. A razão dessa variabilidade se deve tanto às diferenças climáticas como às diferenças no desenvolvimento sócio-econômico entre as regiões do país, que se refletem nas eficiências climática (PA/PP) e agrícola (PR/PA) dessa cultura.

Assim, nas regiões onde a cultura é de subsistência, mas o clima é úmido, a quebra causada pelo manejo chega a atingir mais de 85% da quebra total, como se observa em Acará, PA (Tabela 3). Por outro lado, nas regiões onde o clima é mais seco, a quebra ocasionada pelo déficit hídrico chega a atingir mais de 93% da quebra total de produtividade, como observado em Rio Pardo de Minas, MG. Em outras regiões, como em Araruna, PR, há maior equilíbrio entre as quebras geradas pelo déficit hídrico e pelo manejo agrícola.

Tabela 3. Yield gap total (YG_T) da cultura da mandioca em diferentes localidades brasileiras e sua partição percentual entre o YG causado por déficit hídrico (YG_{DH}) e por manejo agrícola (YG_{MA}).

Localidade	YG _T (t ha ⁻¹)	YG _{DH} (%)	YG _{MA} (%)
Acará, PA	35,2	14,3	85,6
Araruna, PR	35,2	50,0	50,0
Rio Pardo de Minas, MG	54,5	93,7	6,3

Fonte: Adaptada de Visses (2016).

Lobell, Cassman e Field (2009) comentam que o valor da PP é basicamente teórico e difícil de ser alcançado, uma vez que inúmeros fatores podem afetar e reduzir a produtividade. Segundo esses autores, um valor em torno de 80% da PP pode ser alcançado quando se utiliza irrigação e melhorias no manejo. Em uma estimativa conservadora, considerando o valor médio de 3.800 kg ha⁻¹ para PP de 80% (Tabela 1) e uma área de cultivo de 30 milhões de hectares, a produção nacional de soja seria de 114 milhões de toneladas, sem a necessidade de aumentar a área de cultivo,

valor 20 a 30% maior do que a projeção realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra 2015/16.

Esse aumento de produtividade é resultado do estudo e do uso de estratégias para redução dos fatores limitantes e redutores da produção. Um aspecto importante a ser considerado no planejamento das culturas anuais diz respeito às janelas de cultivo, ou seja, às melhores épocas de semeadura para a cultura em uma dada região. Isso se refere ao zoneamento agrícola de risco climático e representa informação importante para minimizar as perdas ocasionadas pelo déficit hídrico. No entanto, em algumas situações, mesmo com a adoção do calendário proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) ocorrem perdas de produtividade expressivas, principalmente quando há déficit entre a germinação e a emergência da planta ou entre a floração e o final do enchimento dos grãos (CUNHA et al., 2001).

Nas regiões onde o déficit hídrico é o principal fator limitante da produtividade é possível utilizar cultivares com melhor tolerância à seca para minimizar as perdas de produtividade, considerando que esses genótipos já estão disponíveis no mercado, como evidenciado no estudo de Battisti e Sentelhas (2015) para a cultura da soja. Além disso, ações associadas ao manejo do solo, que aumentem o perfil do solo a ser explorado pelas raízes, contribuirão para que as culturas tenham maior disponibilidade de água ao longo do ciclo, minimizando, assim, os possíveis danos dos veranicos, como bem evidenciado por Monteiro (2015) para a cultura da cana-de-açúcar.

Nas regiões em que o manejo agrícola, associado ao controle de pragas, doenças e plantas daninhas, e também à fertilização do solo, são os principais aspectos redutores da produtividade, o investimento em tecnologia é um dos meios de se alcançar maiores produtividades. Nesse contexto, um importante aspecto a se considerar é a qualificação dos produtores, de modo a estarem aptos a absorver as novas tecnologias disponíveis no mercado. Para isso, há necessidade também de um eficiente sistema de difusão dessas tecnologias, por meio de cursos, palestras e demonstrações de campo, ou seja, de eficientes estratégias de extensão rural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estimativas de quebra de produtividade e suas principais causas figuram como uma das principais linhas de pesquisa da atualidade, envolvendo diferentes áreas do conhecimento agrônomo, como agrometeorologia, fitotecnia, fitossanidade, melhoramento genético, entre outras. O primeiro passo nesse estudo envolve a calibração e o teste de modelos de simulação de culturas que permitam a determinação dos valores teóricos de produtividade potencial (PP) e atingível (PA), os quais serão utilizados para determinar o *yield gap* causado pelo déficit hídrico (YG_{DH}). Neste caso, é de suma importância o uso de dados de produtividade confiáveis, provenientes de bases consistentes, para a calibração e avaliação desses modelos. Uma vez ajustados para a realidade local, as estimativas de PP e PA poderão ser empregadas, juntamente com os dados de produtividade real (PR), provenientes das bases de dados governamentais (IBGE ou CONAB), para a determinação do *yield gap* causado pelo manejo agrícola (YGMA). De posse dessas informações, o próximo passo consiste em identificar possíveis estratégias para a minimização dessas perdas de produtividade, seja pela adoção de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico, seja pelo emprego de técnicas de manejos agrícola de médio-longo e curto prazos, que possam melhorar tanto a eficiência climática como a eficiência agrícola das culturas. Nesse contexto, o manejo profundo do solo, por meio de ações que envolvam aspectos físicos, biológicos e

químicos do solo, parece ser a estratégia mais eficiente, porém é uma ação de médio-longo prazo, já que a construção de um perfil de solo mais equilibrado requer tempo. Como ações de curto prazo, a melhor fertilização dos solos e o controle racional e eficiente de pragas, doenças e plantas daninhas são as mais indicadas, porém não se deve esquecer de outros aspectos básicos, como ajuste da população de plantas para o ambiente em questão, uso de sementes certificadas e de boa qualidade, realização da semeadura sob condições adequadas de umidade do solo, seguindo-se as recomendações da janela de cultivo do zoneamento de risco climático, e a adoção da irrigação, quando possível.

Todos esses aspectos são fundamentais para que a agricultura se torne, cada vez mais, uma atividade sustentável do ponto de vista agrônomo, com níveis de produtividade compatíveis com os recursos ambientais disponíveis; econômico, trazendo rentabilidade adequada aos produtores; ambiental, evitando a contaminação dos recursos naturais, especialmente solo e mananciais; e social, fixando e melhorando a vida dos produtores e de seus empregados.

REFERÊNCIAS

- BATTISTI, R. *Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil*. 2013. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v. 51, p. 285-298, 2015.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, p. 24-30, 2012.
- BHATIA, V. S.; SING, P.; WANI, S. P.; CHAUHAN, G. S.; KESAVA RAO, A. V. R.; MISHRA, A. K.; SRINIVAS, K. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 148, p. 1252-1265, 2008.
- CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PIRES, J. L. F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para a soja no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo, v. 9, p. 446-459, 2001.
- DUARTE, Y. N. *Modelagem agroclimática para definição da eficiência agrícola da cultura do milho no Estado de São Paulo*. 2012. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- GILBERT, M. E.; HOLBROOK, N. M.; ZWIENIECKI, M. A.; SADOK, W.; SINCLAIR, T. R. Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crop Research*, Amsterdam, v. 124, p. 85-92, 2011.
- HALL, A. J.; FEOLI, C.; INGARAMO, J.; BALZARINI, M. Gaps between farmer and attainable yield across rainfed sunflower growing regions of Argentina. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 143, p. 119-129, 2013.
- HOANG, V. N. Analysis of productive performance of crop production systems: An integrated analytical framework. *Agricultural Systems*, Essex, v. 116, p. 16-24, 2013.
- ITTERSUM, M. K. van; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and qualification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 52, p. 197-208, 1997.
- ITTERSUM, M. K. van; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance – A review. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 143, p. 4-17, 2013.
- LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, Palo Alto, v. 34, p. 179-204, 2009.
- MONTEIRO, L. A. *Sugarcane yield gap in Brazil: a crop modelling approach*. 2015. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- RODRIGUES, G. C.; MARTINS, J. D.; SILVA, F. G. da; CARLESSO, R.; PEREIRA, L. S. Modelling economic impacts of deficit irrigated maize in Brazil with consideration of different rainfall regimes. *Biosystems Engineering*, London, v. 116, p. 97-110, 2013.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; NENDEL, C.; HAMPF, A. The soybean yield gap in Brazil: Magnitude, causes and possible solutions. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 153, p. 1394-1411, 2015.
- VISSES, F. A. *Avaliação da produtividade e “yield-gap” da cultura da mandioca (Manihot esculenta Crantz) nas principais regiões produtoras do Brasil*. 2016. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2016.