



AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO UTILIZADAS EM PIVÔ CENTRAL

A. C. S. de Araujo¹, A. Colombo², N. F. de Azevedo³, M. V. M. de Freitas⁴, M. T. Andrade⁴, T. H. B. Teixeira⁴

RESUMO

Neste trabalho foi avaliado o desgaste de válvulas reguladoras de pressão, com valor nominal de 10 psi (69kPa), utilizadas na extremidade de um pivô central com 400 m de raio. Um teste F foi utilizado para determinar se as curvas de vazão versus pressão de entrada nos emissores, do tipo Senninger i-Wob, operando com válvulas reguladoras usadas, que apresentavam mais de 6.000 horas de uso, eram diferentes das curvas de vazão versus pressão de entrada dos mesmos emissores operando com válvulas reguladoras novas. Para as duas categorias de válvulas, as curvas de pressão versus vazão foram determinadas sob a aplicação de nove diferentes cargas de pressão na entrada da válvula, na faixa de 10 a 55 mca. Para os conjuntos válvula-emissor, operando com bocais de número 22,5; 22,0; 21,5; 21,0; 20,5 e 20,0 verificou-se, com um nível de confiança superior a 99%, que existe diferença entre as curvas ajustadas aos conjuntos que operam com válvulas novas e as curvas ajustadas aos conjuntos que operam com válvulas usadas. Estas diferenças comprovam que, após 6.000 horas de operação nas condições locais de operação do pivô central do qual foram retiradas as amostras, o desempenho das válvulas reguladoras instaladas na extremidade do equipamento já esta comprometido.

Palavras-chave: controle de vazão, emissores, autocompensante.

WEARING EVALIATION OF CENTER PIVOT PRESSURE REGULATORS

ABSTRACT

This study objective was to evaluate the wear of pressure regulator valves, with a 10 psi (69kPa) nominal value, that were installed at the far end of a 400m long center pivot. An F test was used to determine whether flow versus inlet-pressure curves of emitters, Senninger i-Wob type, operating with pressure regulators presenting more than 6000 hours of use are different from flow versus inlet-pressure curves of emitters operating with new pressure regulators. In both cases, the flow inlet-pressure curves were determined under the application of nine different inlet pressure head values, in the range of 10 to 50 m. For the pressure regulator- emitter sets operating with nozzle sizes 22.5, 22.0, 21.5, 21.0, 20.5 and 20.0, it was found, with a 90% confidence level, that flow versus inlet- pressure curves fitted to the sets

¹Academica de Engenharia Agrícola, Bolsista PIBIC - UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras-MG. Email: satiroagro@gmail.com

²Doutor, Professor da UFLA – Lavras – MG. Email: acolombo@deg.ufla.br

³Doutorando, PPGRHS/AUFLA – Lavras –MG. Email: nilo270@hotmail.com

⁴Academico de Engenharia Agrícola – UFLA – Lavras-MG. Email: matheusengagri@gmail.com; marcoengagricola@hotmail.com; teixeira.agricola@gmail.com

operating with new pressure regulator are different from flow versus inlet-pressure curves fitted to the sets operating with used pressure regulators. These differences show that, after operating for 6000 hours under the local conditions of the center pivot in which the used valves were sampled, the performance of the pressure regulators at the far end of the center pivot lateral is compromised.

Keywords: flow control, center pivot emitter, pressure compensating.

INTRODUÇÃO

Além dos custos crescentes da energia requerida para o bombeamento da água, os irrigantes enfrentam cobranças crescentes quanto ao uso eficiente da água e quanto à minimização dos impactos ambientais decorrentes da irrigação. A uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação tem impacto direto tanto no consumo de água e energia dos sistemas de irrigação como no impacto ambiental associado ao uso destes sistemas.

As válvulas reguladoras de pressão, instaladas em cada um dos emissores de água de equipamentos do tipo pivô central, são peças fundamentais para a aplicação de uma lâmina de água uniforme em toda a extensão da área irrigada pelo pivô. De acordo com Lima et al. (2003), em áreas de topografia acidentada, onde ocorre uma variação acentuada na pressão do sistema, o desgaste das válvulas reguladoras de pressão podem causar significativas diferenças de vazão dos emissores de um pivô central, reduzindo a uniformidade de distribuição de água e aumentando as perdas de água por escoamento superficial, com sensível redução da eficiência de aplicação.

A grandeza da redução do grau de uniformidade de aplicação de equipamentos do tipo pivô foi avaliada em um estudo de KLAR et al. (2001), no qual foram comparados o desempenho de dois equipamentos do tipo pivô central, antes e após a troca das suas válvulas reguladora. Neste estudo foi relatado que, em um caso, o valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) passou de 58% para 89% e, em outro caso, o valor do CUC passou de 67% para 88%.

De acordo com Leira et al. (2011), supõe-se que, a diminuição da uniformidade de irrigação causada pelo conjunto válvula-emissor desgastado forçaria o irrigante ao longo do

tempo irrigar em maiores quantidades a fim de compensar o déficit hídrico. Isto certamente influenciaria nos custos operacionais de irrigação.

Considerando que a caracterização da durabilidade das válvulas reguladoras de pressão utilizadas em pivô central é uma importante ferramenta para manutenção da uniformidade de aplicação de água deste tipo de equipamento, este trabalho teve como objetivo avaliar o desgaste de válvulas reguladoras de pressão, com mais de 6.000 h de uso, através da análise estatística das diferenças entre as curvas de pressão de entrada versus vazão destas válvulas e as curvas de pressão de entrada versus vazão obtidas com válvulas novas.

MATERIAL E MÉTODOS

Doze conjuntos, compostos por um emissor Senninger i-Wob acoplado a uma válvula reguladoras de pressão (VRP), com pressão nominal de 69 kPa, do modelo VALLEY 10 PSI PSR10- (½ - 15GPM), foram retirados do balanço, do último e do penúltimo vão de um pivô central, modelo Valley 4871 - 8000 - VSL / 8 - 1 060, de propriedade da Itograss Agrícola Alta Mogiana Ltda., instalado no Município de Bom Sucesso - MG. Estes doze conjuntos foram selecionados de forma a se obter duas amostras de emissores i-Wob operando com bocais (anteriores ao UP3 da Senninger) de números 22,5; 22,0; 21,5; 21,0; 20,5 e 20,0 (8,93; 8,73; 8,53; 8,33; 8,14 e 7,94 mm). Por ocasião da retirada das amostras, o painel do pivô Valley registrava 6.000 horas de funcionamento.

Os conjuntos retirados do pivô foram levados ao Laboratório de Hidráulica da

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO UTILIZADAS EM PIVÔ CENTRAL

Universidade Federal de Lavras, para determinação da relação pressão na entrada do conjunto VRP- emissor i-Wob versus vazão, referente a cada um dos seis diferentes diâmetros de bocais amostrados. A bancada montada para estas determinações permitia a instalação em paralelo de dois exemplares do conjunto VRP- emissor i-Wob, de mesmo diâmetro de bocal, operando com a mesma pressão de entrada. Para determinação da carga de pressão na entrada do conjunto, foi utilizado um transdutor de pressão, modelo DMP-01-DP, da Lamon Produtos Ltda., com precisão de 0,2 mca. Para determinação da vazão dos dois conjuntos que operavam simultaneamente, foi utilizado um medidor magnético de vazão, modelo Conaut-Krohne-IFS400w/6.

Tendo em vista que, conforme descrito por Lima et al. (2007), ocorre histerese no processo de regulação da pressão das VPR, em todas as determinações da curva pressão de entrada versus vazão realizadas, foram aplicados nove valores sempre crescentes de carga de pressão na entrada do conjunto VRP – emissor i-Wob, distribuídos ao longo da faixa de valores compreendidos entre 10 e 55 mca.

Posteriormente, para avaliação do grau de desgaste das VRP retiradas do pivô, a VRP de cada conjunto amostrado foi substituída por uma VRP nova, do modelo Senninger PSR10 - (1/2 - 15GPM), e o procedimento de determinação da relação pressão na entrada do conjunto VRP – emissor i-Wob versus vazão foi repetido.

Considerando que sob valores de carga de pressão superiores ao valor nominal da VRP avaliada (6,9 m), os conjuntos VRP – emissor i-Wob deveriam apresentar um comportamento hidráulico semelhante ao de um emissor autocompensante, os pares de carga de pressão e vazão, determinados para os seis diferentes diâmetros de bocal, foram ajustados a um modelo potencial, comumente utilizada na caracterização do desempenho de emissores autocompensantes (KIRNAK et al., 2004; PEREA et al., 2013; PRADO et al., 2014):

$$Q = KH^x \quad (1)$$

sendo:

Q - a vazão do conjunto VRP-10psi- i-Wob ($m^3 h^{-1}$);

K - constante de proporcionalidade ($m^3 \cdot h^{-1}$);

H - carga de pressão aplicada na entrada da válvula reguladora (m);

x - expoente da carga pressão na entrada do conjunto VRP-10psi- iWob.

Uma planilha do Excel, elaborada seguindo metodologia descrita por Brown (2001), foi utilizada para determinar os valores dos parâmetros K e x, do modelo potencial dado na Equação 1, que melhor se ajustavam aos pares de valores medidos de carga de pressão na entrada e vazão do conjunto VRP-10psi- iWob operando com os diferentes diâmetros de bocal. De acordo com a metodologia descrita por Brown (2001), esta planilha também permitiu o cálculo do coeficiente de determinação não linear (R^2) e do intervalo de confiança de 95% de probabilidade das curvas ajustadas.

Seguindo metodologia descrita por Motulsky & Christopoulos (2003), a hipótese da existência de diferenças, entre as curvas de pressão de entrada-vazão dos conjuntos dotados de válvulas usadas e as curvas de pressão de entrada-vazão dos conjuntos dotados de válvulas novas, foi testada com análise de variância. Nesta análise, foram considerados os valores do somatório do quadrado dos desvios (SQD) de curvas de ajustes não lineares obtidas com diferentes combinações dos pares de valores experimentais de carga de pressão de entrada e vazão de um mesmo diâmetro de bocal: um único ajuste de todos os dados coletados com um mesmo diâmetro de bocal, independentemente da categoria da válvula (Usada ou Nova); dois ajustes distintos, para cada diâmetro de bocal, de acordo com a categoria da válvula (Usada ou Nova). O valor de F utilizado nesta análise de variância é apresentado na Equação 2:

$$F = \frac{\{SQD_{U+N} - (SQD_U + SQD_N)\} / \{GL_{U+N} - (GL_U + GL_N)\}}{(SQD_U + SQD_N) / (GL_U + GL_N)} \quad (2)$$

sendo:

SQD_{U+N} = SQD do ajuste combinando valores da VPR Usada e da VPR Nova;

SQD_U = SQD do ajuste com somente valores da VPR Usada;

SQD_N = SQD do ajuste com valores da VPR Nova;

GLU_{U+N} = Graus de liberdade do ajuste combinado (VPR Usada e VPR Nova);

GLU_U = Graus de liberdade do ajuste com somente valores da VPR Usada;

GLU_N = Graus de liberdade do ajuste com somente valores da VPR Nova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do ajuste, ao modelo potencial da Equação 1, dos pares de valores medidos de carga de pressão–vazão dos conjuntos VRP-emissor i-Wob dotados de válvulas reguladoras com mais de 6.000 h de uso são mostrados na Tabela 1. O resultado do ajuste obtido com os dados determinados com os conjuntos VRP-emissor i-Wob dotados de válvulas reguladoras Novas são mostrados na Tabela 2.

Tabela 1. Ajuste da curva potencial de carga de pressão na entrada-vazão do conjunto VRP i-Wob com mais de 6.000 horas de uso: expoente x; constante K; coeficiente de determinação (R^2) e intervalo de confiança de 95% (IC)

Válvula PSR10 - Usada						
Núm. Bocal	22,5	22,0	21,5	21,0	20,5	20,0
x	$1,58 \times 10^{-2}$	$1,60 \times 10^{-2}$	$1,68 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-2}$	$2,19 \times 10^{-2}$	$2,48 \times 10^{-2}$
K ($m^{3-x} h^{-1}$)	2,67	2,56	2,41	2,28	2,17	2,07
R^2	0,722	0,863	0,679	0,998	0,805	0,967
IC ($m^3 h^{-1}$)	$2,94 \times 10^{-2}$	$1,86 \times 10^{-2}$	$3,17 \times 10^{-2}$	$2,98 \times 10^{-2}$	$2,73 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-2}$

Tabela 2. Ajuste da curva potencial de carga de pressão na entrada-vazão do conjunto VRP i-Wob com válvulas novas: expoente x; constante K; coeficiente de determinação (R^2) e intervalo de confiança de 95% (IC)

Válvula PSR10 - Nova						
Núm. Bocal	22,5	22,0	21,5	21,0	20,5	20,0
x	$1,76 \times 10^{-2}$	$2,27 \times 10^{-2}$	$2,30 \times 10^{-2}$	$2,95 \times 10^{-2}$	$3,02 \times 10^{-2}$	$2,35 \times 10^{-2}$
K ($m^{3-x} h^{-1}$)	2,62	2,40	2,30	2,13	2,06	2,04
R^2	0,660	0,836	0,782	0,928	0,715	0,871
IC ($m^3 h^{-1}$)	$3,46 \times 10^{-2}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$3,23 \times 10^{-2}$	$2,13 \times 10^{-2}$	$4,60 \times 10^{-2}$	$2,16 \times 10^{-2}$

Nas Tabelas 1 e 2 é possível observar que, nas duas categorias de válvulas, os valores ajustados do expoente da carga de pressão (x) são próximos de zero. O maior valor ajustado de x foi 0,0302 (PSR10 Nova acoplada a um i-Wob com bocal de número 20,5) e o menor 0,013 (PSR10 Usada acoplada a um i-Wob com bocal de número 21). Os valores do expoente da pressão determinados neste estudo são menores que o valor relatado por Prado et al. (2014) para um gotejador com fluxo auto compensante (x = 0,1116), mas se situam na mesma faixa de

valores (x= 0,022 e x = 0,0576) relatada por Kirnak et al. (2004) e de catálogos comerciais (x =0.02 e x=0.01) de alguns emissores autocompensantes (TORO, 2015).

Nas tabelas 1 e 2 também é possível verificar que o valor do fator de proporcionalidade aumenta com o número do bocal. Os valores de K ajustados para os conjuntos que operam com válvulas com mais de 6.000 horas são ligeiramente maiores do que os valores de K ajustado para os conjuntos novos. Maiores valores de K, resultam de maiores valores de pressão de saída

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO UTILIZADAS EM PIVÔ CENTRAL

dos conjuntos dotados de válvulas com mais de 6.000 horas de uso. Este comportamento é compatível com o estudo de Lima et al. (2003) que observou diferenças, em relação à válvulas novas, no comportamento de válvulas reguladoras com mais de 8.500 horas de funcionamento.

No que diz respeito à faixa vazão abrangida pelo intervalo de confiança com 95% de probabilidade em torno da curva ajustada, no geral, a análise gráfica destes intervalos mostra que a curva dos conjuntos com válvulas com maior número de horas de uso ocupa uma região distinta, de maior vazão, que a região de abrangência em torno da curva ajustada para os conjuntos com válvulas novas. Esta tendência pode ser observada na Figura 1, onde é mostrada a região de abrangência do intervalo de 95% de probabilidade das curvas ajustadas para os conjuntos operando com bocal de número 22, com VRP Usadas e VRP Novas.

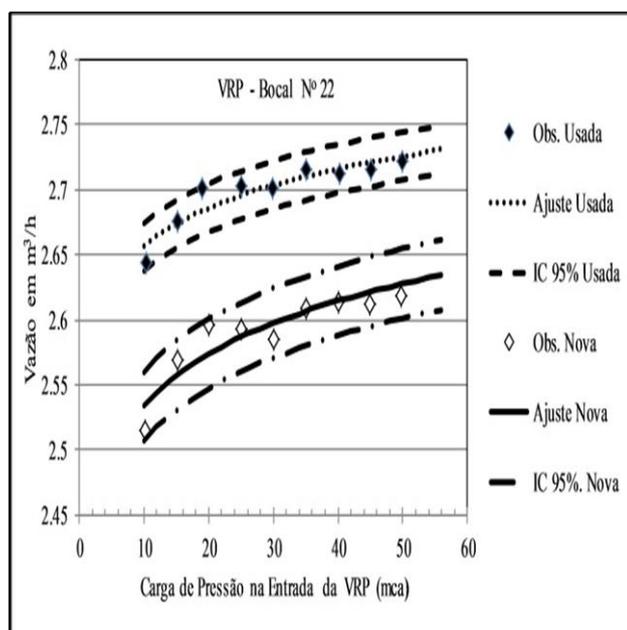


Figura 1. Curva carga de pressão- vazão de um conjunto PSR10 i-Wob com bocal de número 22 com duas categorias de VRP: Usada (marcas cheias) e Nova (marcas vazias).

Para os demais bocais analisados, foi observado que a distância entre as regiões de abrangência do intervalo de confiança em torno das curvas ajustadas para VRP usadas e VRP novas foi diminuindo gradativamente. Além disto, a redução da distância entre estas regiões

de abrangência do intervalo de 95% de probabilidade foi mais acentuada, nos menores valores de carga de pressão na entrada da válvula. Na Figura 2, esta aproximação das regiões de abrangência do intervalo de confiança em torno das curvas ajustadas, com maior intensidade nos menores valores de pressão de entrada do conjunto (em torno de 10-20 mca), pode ser observada com mais detalhe, para o caso do menor bocal avaliado (Número 20).

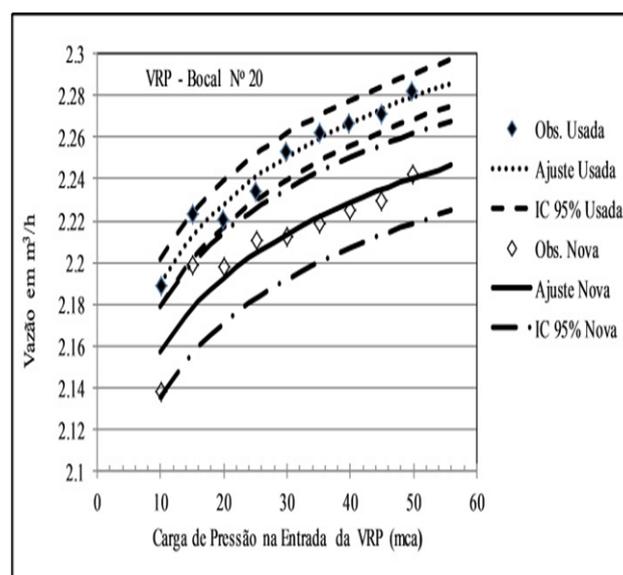


Figura 2 Curva carga de pressão- vazão de um conjunto PSR10 i-Wob com bocal de número 20 com duas categorias de VRP: Usada (marcas cheias) e Nova (marcas vazias).

Comportamento semelhante ao observado neste estudo também foi relatado no estudo de Lima et al. (2003). Estes autores relataram que as diferenças entre o comportamento de VRP novas e o comportamento de VRP com mais de 8.500 horas de funcionamento tornavam-se mais acentuadas na faixa de maiores valores de pressão de entrada da válvula. Sendo observado, para um mesmo valor de pressão de entrada, um aumento no valor de pressão regulada pelas válvulas com mais de 8.500 horas.

O resultado do teste F utilizado para avaliar a equivalência entre as curvas ajustadas dos conjuntos operando com VRP novas e VRP usadas é apresentado na Tabela 3. De acordo com Motulsky & Christopoulos (2003), se as curvas ajustadas para as duas categorias de VRP fossem iguais, o valor de F deveria ser próximo

de 1,0. No entanto, conforme mostrado na Tabela 3, foram encontrados valores de F variando desde 3,3 até 91. Estes valores de F, associados ao número de grau de liberdade dos ajustes efetuados, permitem concluir, com um

nível de probabilidade não inferior a 97%, que as curvas ajustadas com as válvulas reguladoras de pressão com mais de 6.000 horas de uso são diferentes das curvas ajustadas com as válvulas reguladoras novas.

Tabela 3. Análise de variância das curvas de pressão de entrada-vazão dos conjuntos operando com válvulas reguladoras de pressão novas e usadas

Bocal	Modelo	SS	GL		
22,5	Juntos	0,012680709	16		
	Separados	0,002935248	14	F	23,24105
	Diferença	0,009745461	2	P	$5,56 \times 10^{-5}$
22,0	Juntos	0,055401969	16		
	Separados	0,002118079	14	F	176,0969
	Diferença	0,053283890	2	P	$1,193 \times 10^{-10}$
21,5	Juntos	0,022872505	16		
	Separados	0,004001663	14	F	33,010
	Diferença	0,018870842	2	P	$5,017 \times 10^{-6}$
21,0	Juntos	0,010817512	16		
	Separados	0,002617247	14	F	91,9321
	Diferença	0,008200265	2	P	$4,85 \times 10^{-5}$
20,5	Juntos	0,075173188	16		
	Separados	0,045022047	14	F	4,6878808
	Diferença	0,030151141	2	P	$2,76 \times 10^{-3}$
20,0	Juntos	0,015044327	16		
	Separados	0,002398507	14	F	36,9066
	Diferença	0,012645820	2	P	$2,62 \times 10^{-6}$

CONCLUSÕES

O processo estatístico utilizado permitiu inferir que, após 6.000 horas de operação nas condições locais de operação do pivô central do qual foram retiradas as amostras, o desempenho das válvulas reguladoras instaladas na extremidade do equipamento já esta comprometido.

REFERÊNCIAS

- BROWN, A. M. A step-by-step guide to non-linear regression analysis of experimental data using a Microsoft Excel spreadsheet. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 65, p. 191-200, 2001.
- KIRNAK H.; DOGAN, E.; DEMIR, S, YALÇIN, S. Determination of hydraulic performance of trickle irrigation emitters used in irrigation systems in the Harran plain. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**. v.28, n. 4, p 223-230, 2004.
- KLAR, E. A., SANTANA, R, de C., DUROHA, C. Evaluation center pivot systems using new and old sprays and pressure regulators. **Irriga**, v.6, n.1, p.70-76, 2001.
- LEIRA, R. P.; SÁNCHEZ-RAMÁN, FRIZZONE, J. R. Optimal moment to change pressure regulator and sprayer kit on center pivot irrigation machines: A theoretical proposal. **Irriga**, v. 16, n.4, p. 436-449, 2011.
- LIMA, S. C. V.; FRIZZONE, J. A.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, F.; PEREIRA, A. S.; MACHADO, C.C. VALNIR JUNIOR, M. Curvas de desempenho de válvulas reguladoras de pressão novas e com diferentes tempos de utilização. **Revista Brasileira de Engenharia**

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO UTILIZADAS EM PIVÔ CENTRAL

Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 2, p. 201-209, 2003.

LIMA, S. C. V.; FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, M. A. R.; GOMES, A. W. A. Comportamento de Reguladores de Pressão para Pivô Central após modificação interna. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, n. 1, p. 9-14, 2007.

MOTULSKY, H. J.; CHISTOPOULOS, A. Fitting models to biological data using linear and non-linear regression: **A Practical Guide to curve fitting**. 2003. GraphPad Software Inc., San Diego. Disponível em <http://www.graphpad.com/faq/file/Prism4RegressionBook.pdf> Acesso em 20 jun.2015

PEREA, H., ENCISO-MEDINA, J., SINGH, V. P., DUTTA, D. P., LESIKAR, B. J. Statistical analysis of non-pressure compensating and pressure- compensating drip emitters. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 132, n. 12, p. 986-994, 2013.

PRADO, G., NUNES, L.H., TINOS, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.8, n°. 1, p. 12 - 25, 2014.

TORO COMPANI. Toro SC plus–pressure compensating emitter. Disponível em <https://media.toro.com/CatalogDocuments/Product%20Literature/Turbo-sc-ss.pdf> Acesso em 20 jun. 2015