



## VI-089 – AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO NA REDUÇÃO DE PRECIPITAÇÃO DE CARBONATOS EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.

**Francinete Veloso Duarte<sup>(1)</sup>**

Bacharel em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM). Professora do Instituto de Ciências Agrárias da UFGM-Campus Montes Claros. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na EE/UFGM.

**Wilfrid Keller Schwabe**

Engenheiro Químico, Dr. Ing em Materiais Inorgânicos Não Metálicos pela Universidade Técnica de Aachen/Alemanha. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFGM.

**Edson de Oliveira Vieira**

Engenheiro Agrônomo. Mestre em Engenharia agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Engenharia agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor do Instituto de Ciências Agrárias da UFGM.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Maristela Figueiredo, 148 - Centro – Bocaiúva - MG - CEP: 39390-000 - Brasil - Tel: (38) 3251-2673 - e-mail: [francinete@nca.ufmg.br](mailto:francinete@nca.ufmg.br)

### RESUMO

A irrigação localizada por gotejamento é o sistema mais eficiente de aplicação de água, mantém a umidade necessária às plantas, reduz o consumo de água para irrigação aumentando a produtividade das culturas e reduzindo a lixiviação do solo, sendo fundamental para a sustentabilidade da agricultura, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Entretanto muitas dessas áreas, como o norte de Minas Gerais, possuem águas subterrâneas alcalinas com alta dureza carbonato o que impede a utilização da irrigação por gotejamento devido a entupimentos dos emissores de água. Este trabalho tem como objetivo avaliar a redução da precipitação de carbonato de cálcio e o entupimento de emissores com a aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação utilizando os parâmetros: pH, alcalinidade, concentração de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup> e variação de vazão dos emissores em um sistema de irrigação localizada utilizando água de dureza exclusivamente de carbonatos, classificada como dura e de médio risco de entupimento de emissores com relação a Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup>. Foi observado que o pH de saturação em CO<sub>2</sub> para esta água, está dentro da faixa de pH ideal para as culturas agrícolas. A avaliação de redução de precipitação de bicarbonato de cálcio e da obstrução dos emissores está em andamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Entupimento de emissores, água carbonatada, incrustação de carbonatos, água subterrânea.

### INTRODUÇÃO

A irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos, apesar do grande consumo de água. Estima-se que, ao nível mundial, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália. Pode-se prever um incremento maior da produção agrícola no hemisfério sul, especialmente pela possibilidade de elevação da intensidade de uso do solo que, sob irrigação, produz até três cultivos por ano. A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às restrições de disponibilidade de água.

O setor agrícola é o maior consumidor de água. Ao nível mundial a agricultura consome cerca de 70% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos), e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 2001). Sendo a água, portanto, o elemento essencial ao desenvolvimento agrícola, sem o controle e a administração adequados e confiáveis, não será possível uma agricultura sustentável.

Entre todos os sistemas de irrigação, o mais eficiente é o método por gotejamento. Entretanto um dos fatores que elevam os custos de operação e manutenção do sistema e, em certos casos, inviabiliza a utilização desse



método, é a obstrução de emissores, tendo levado muitos irrigantes a abandonarem precocemente o sistema de irrigação (GHAEMI & CHIENEG, 1999 apud FARIA et al., 2001). O problema de obstrução dos emissores, se não propriamente resolvido, poderá resultar em completa rejeição ou severa restrição como promessa, de método eficiente de irrigação e conservação da água.

Processos físicos de filtragem e tratamentos químicos são utilizados, nos sistemas de irrigação por gotejamento, para minimizar a obstrução de emissores. Entretanto a filtragem não elimina os compostos químicos (sulfatos e carbonatos). Também é necessário avaliar o potencial da água em criar condições no solo que possam restringir seu uso e avaliar a necessidade de utilizar técnicas de manejo especiais para manter rendimentos aceitáveis das culturas (PIZARRO, 1990; AYERS & WESTCOT, 1991;).

Neste contexto, este trabalho visa avaliar uma forma alternativa de reduzir o entupimento dos gotejadores da irrigação localizada, possibilitando assim a utilização deste tipo de irrigação na região do Norte de Minas Gerais, cujas águas subterrâneas são de baixa a média salinidade, mas apresentam caráter predominantemente alcalino, com alcalinidade exclusivamente devido a carbonatos com valores de dureza acima de 200 mg.L<sup>-1</sup> em CaCO<sub>3</sub> (ANA, 2005).

O trabalho é constituído de duas etapas, a primeira em laboratório na qual foi montado um sistema fechado utilizando água calcária com injeção de CO<sub>2</sub>, obtendo-se curvas de variação do pH em função do tempo de injeção de CO<sub>2</sub>, alcalinidade e construção do diagrama de distribuição das espécies carbonato em função do pH, para a água de trabalho. Na segunda etapa foi montado um sistema de irrigação localizada por gotejamento com injeção de gás carbônico que se encontra em andamento.

Os resultados de laboratório mostraram uma redução do pH de 7,6 para pH 5,5 para saturação com CO<sub>2</sub> na água em estudo, sendo um valor dentro da faixa de pH ótimo para as plantas (pH 5,0 a 6,5).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho está sendo conduzido no Instituto de Ciências agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), localizado no município de Montes Claros na região do Norte de Minas Gerais. A água subterrânea em estudo é proveniente de poço tubular, poço 01/ICA, que atende ao pomar e horticultura, e possui como característica particular, valores de pH, alcalinidade, dureza, ferro e manganês elevados.

A determinação do valor do pH de saturação para a água de trabalho é necessária para se definir a melhor vazão de gás carbônico a ser utilizada no sistema de irrigação. Para isso é importante o conhecimento das características físico químicas da água bruta e da vazão de água do sistema de irrigação.

A pesquisa é composta de duas etapas, sendo a primeira realizada em laboratório e a segunda em condições de campo. Na etapa de laboratório foram realizados os ensaios para determinação do pH de estabilização (pH de saturação) das curvas pH x tempo de aplicação de CO<sub>2</sub>, da concentração de CO<sub>2</sub> e da alcalinidade para cada vazão de gás.

## PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

Para a execução do experimento no laboratório foi montado um sistema no qual o gás é injetado na água contida em um recipiente de polietileno com capacidade para 30 litros. Durante a injeção do gás o pH é monitorado até atingir o pH desejado, interrompe-se a adição do gás e o sistema é hermeticamente fechado, não ocorrendo troca com o ambiente externo. Então uma amostra é retirada para análise química, sem entrar em contato com a atmosfera.

Foi injetado gás carbônico à água em estudo para verificar como varia o pH com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, isto é, aumento da concentração total das espécies carbonato (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup> e CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>). O sistema foi fechado após a estabilização do pH, o que ocorreu após aproximadamente 3 minutos, independente da vazão de gás carbônico.

O gás é alimentado por um cilindro de CO<sub>2</sub> de 4,5 kg com regulador de pressão e medidor de vazão de 0 – 15 L/min calibrado para uma pressão de 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>, 3,5.10<sup>-5</sup> Pa, a fim de controlar a injeção de CO<sub>2</sub>.



Após a estabilização do pH uma amostra é coletada para a análise de  $\text{CO}_2$  dissolvido,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  e alcalinidade. O poder de incrustação da água foi determinado através do Índice de saturação de Langelier.

Para determinar a melhor vazão de gás a ser utilizada no sistema de irrigação foram levantadas curvas da variação do pH em função do tempo de injeção de  $\text{CO}_2$  para três vazões diferentes ( $6 \text{ L.min}^{-1}$ ,  $10 \text{ L.min}^{-1}$  e  $14 \text{ L.min}^{-1}$ ) para as quais foram, também determinados a concentração de  $\text{CO}_2$  e alcalinidade após a estabilização do pH.

Medidas das propriedades físico-químicas (pH, alcalinidade total, Alcalinidade bicarbonato, dureza total, temperatura, condutividade, acidez carbônica, nitrogênio nítrico e sulfatos) e análise química elementar foram realizadas para caracterizar a água em estudo. Utilizando esses resultados foi determinado o índice de saturação de Langelier (ISL), a concentração total das espécies carbonato (CT) e construído o diagrama logarítmico para carbonato ( $\log \text{CT} \times \text{pH}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, em laboratório, permitiram calcular a concentração de gás carbônico e a vazão a ser aplicada no sistema de irrigação localizada, para se obter os valores de pH desejados na água de trabalho (5,5; 6,0 e 6,5). Foi observado que o consumo de gás carbônico é menor utilizando-se a vazão de  $6 \text{ L.min}^{-1}$  para atingir o pH de saturação.

Nas tabelas 1 e 2, são apresentados os resultados da análise da água. Observa-se que se trata de uma água com alta alcalinidade bicarbonato ( $249 \text{ mg.L}^{-1}$  em  $\text{CaCO}_3$ ), considerada dura, com dureza carbonato ( $222 \text{ mg.L}^{-1}$  em  $\text{CaCO}_3$ ), teores de Ca, Mg, Fe, Mn e Al totais altos. Sendo que os valores de Na, dureza, condutividade, Ca, Fe e Mn são valores não recomendados para irrigação localizada (Pizarro, 1996).

**Tabela 1 - Propriedades físico-químicas da água do poço artesiano 01/NCA.**  
Data da coleta: 12/05/2008.

Parâmetro	Água do poço 01/NCA
Temperatura	26 °C
pH	7,60
Condutividade Elétrica	$468 \text{ S.cm}^{-1}$
Sólidos Dissolvidos	$306 \text{ mg.L}^{-1}$
Cloreto	$3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $0,1 \times 10^{-3} \text{ M}$
Acidez carbônica	$2,0 \text{ mg.L}^{-1}$
Alcalinidade bicarbonatos em $\text{CaCO}_3$	$249 \text{ mg.L}^{-1}$
Alcalinidade bicarbonatos em $\text{HCO}_3^-$	$151,59 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $2,49 \times 10^{-3} \text{ M}$
Dureza Total em $\text{CaCO}_3$	$222 \text{ mg.L}^{-1}$
Nitrogênio Nítrico	$< 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$
Sulfatos	$3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $3,12 \times 10^{-5} \text{ M}$

**Tabela 2 - Análise química da água do poço artesiano 01/NCA. Determinações por espectrometria de absorção atômica. Data da coleta 12/05/2008**

Elemento	mg.L <sup>-1</sup>	M (mol.L <sup>-1</sup> )	meq.L <sup>-1</sup>
Fe	0,46	$8,24 \cdot 10^{-6}$	0,0165
Mn	0,165	$2,84 \cdot 10^{-6}$	0,006
Ca	51,25	$1,3 \cdot 10^{-3}$	2,6
Mg	7,50	$0,3 \cdot 10^{-3}$	0,6
Na	13,49	$0,6 \cdot 10^{-3}$	0,6
K	1,4	$0,359 \cdot 10^{-4}$	0,0359
Pb	-	-	-
Zn	-	-	-
Cu	-	-	-
Al	1,30	$4,81 \cdot 10^{-5}$	0,1
Cd	-	-	-
Cr	-	-	-

De acordo com a análise da água, trata-se de uma água com médio risco de entupimento, principalmente com relação a pH e Fe, de acordo com a classificação de Bucks e Nakayama (1991).

Utilizando os resultados da análise da água, foram determinados os valores das constantes de equilíbrio operacionais, relação de sódio adsorvido (RAS) e índice de saturação de Langelier (ISL), apresentados na tabela 3.

**Tabela 3 – Parâmetros da água de trabalho, calculados a partir dos resultados das análises químicas.**

Parâmetro	Valor
I	$4,9 \cdot 10^{-3}$
K <sub>1</sub>	$10^{-6,37}$
K <sub>2</sub>	$10^{-10,33}$
K <sub>s</sub>	$10^{-8,4}$
K <sub>1</sub> '	$10^{-6,44}$
K <sub>2</sub> '	$10^{-10,46}$
K <sub>s</sub> '	$10^{-8,66}$
pH (média)	7,8
pH <sub>c</sub>	7,3
ISL	0,5
RAS	0,47
pH <sub>saturação</sub> (média)	5,6

O valor para RAS, entre 0 e 10, indica uma água própria para irrigação com relação ao sódio, mas o resultado para ISL indica água imprópria devido à probabilidade de precipitação de carbonatos (ISL positivo).

Reduzindo o pH da água para um valor menor que 7 teremos uma água sem probabilidade de precipitação de carbonato de cálcio, de acordo com o ISL, e no pH de saturação (pH = 5,5) ISL cai para -1,79 o que reduz ainda mais a probabilidade de precipitação.

Pelo diagrama log CT x pH, podemos observar que a adição de CO<sub>2</sub> à água contendo o sistema carbonato reduz o pH sem alterar a alcalinidade. Isto pode ser explicado pela definição de alcalinidade ( $[Alc] = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]$ ), que corresponde ao balanço de carga o qual não é afetado pela adição de CO<sub>2</sub> (STUMM & MORGAN, 1996).



Durante o experimento pôde-se observar que o pH, à vazão de 14 L.min<sup>-1</sup>, pode chegar a 5,3 mas sobe para 5,5 imediatamente após encerrar a injeção de CO<sub>2</sub>. O valor menor para concentração de CO<sub>2</sub> para vazão 14 L.min<sup>-1</sup> do que para 10 L.min<sup>-1</sup>, pode ser devido à saída mais rápida de CO<sub>2</sub> da solução durante a determinação da concentração de CO<sub>2</sub>.

A adição de CO<sub>2</sub> a água aumenta a concentração total das espécies carbonato ( $C_T = [H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$ ) e o pH da água em estudo foi reduzido para pH 5,5, pH no qual  $[HCO_3^-]$  é igual à  $[H^+]$ . Este valor de pH corresponde aproximadamente a uma concentração de espécies carbonato total de  $C_T = 16,7$  mM, que corresponde a 16,7 mM de CO<sub>2</sub> aquoso.

Utilizando a curva pH x tempo de injeção de CO<sub>2</sub>, e conhecendo o volume de água do experimento de laboratório, podemos calcular a vazão aproximada de CO<sub>2</sub> necessária para baixar o pH da água do sistema de irrigação para cada valor de pH desejado. Neste trabalho o sistema de irrigação apresenta uma vazão de água de 1,3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, e para baixar o pH da água em estudo para 6,5; 6,0 e 5,5 precisamos aplicar uma vazão aproximada de CO<sub>2</sub> de 1 L.min<sup>-1</sup>, 3 L.min<sup>-1</sup> e 7 L.min<sup>-1</sup>, respectivamente, em cada linha principal de irrigação.

## CONCLUSÕES

Os resultados da análise da água mostram que a água do poço tubular que atende à área de irrigação do Instituto de Ciências Agrárias/UFGM é adequada para irrigação em termos de salinidade e teor de sódio, mas é inadequada para irrigação localizada, pois apresenta risco de entupimento devido a carbonatos, ferro, manganês.

A injeção de gás carbônico reduz o pH da água a um valor de pH de saturação dentro da faixa ideal para as plantas, isto é, entre 5,5 e 6,5 alterando a concentração total e a proporção das espécies carbonato do sistema carbonato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA/GEF/PNUM/OEA. Qualidade das águas. Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF – Nº 17. Subprojeto 4.5C - Atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do São Francisco – PBHSF (2004 – 2013). Abril, 2004. Brasília, DF.
2. AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. - A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, Paraíba, 1ª ed., 1991. 218p.
3. BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, 1979, v.2, p.149-162.
4. CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. Item, Brasília, n. 48, p.8 – 13, 2001.
5. FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHA, P. A. N.; ROBLES, W. G. R. VÁSQUEZ, M. A. N. E entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n. 2, p. 195-198, 2002.
6. GAL, J.Y.; FOVET, Y.; GACHE, N. Mechanisms of scale formation and carbon dioxide partial pressure influence. Part II. *Water Research*, v.36, p. 755-763, 2002. (a).
7. GHAEMI, A.; CHIENG, S. Emitter clogging and hydraulics in micro-irrigation lines. In. annual International Meeting, 1999, ASAE/CSAE-SGCR, Toronto, p. 8.
8. PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frequência. 3.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 513p.
9. STUMM, W.; MORGAM, JAMES J. Aquatic chemistry: Chemical Equilibria in Natural Waters, third Edition. John Wiley. New York, NY. 2022 p., 1996.