

ESTIMATIVA DE ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO TIJUQUINHA, BATURITÉ, CEARÁ

Sávio de Brito Fontenele¹, Adriana Oliveira Araújo¹, Francisco Dirceu Duarte Arraes², Rafael Bezerra Tavares Vasques Landim³, Luiz Alberto Ribeiro Mendonça⁴, José Carlos de Araújo⁵

Resumo - Neste estudo estimou-se o assoreamento no reservatório Tijuquinha, Ceará, no período de 1992 a 2008. Iniciou-se com o cálculo da perda de solo, em toda a área da bacia, através da USLE. Utilizou-se o método dos polígonos de Thiessen para subdividir a bacia e possibilitar o cálculo de vários fatores. O fator CP, determinado a partir do NDVI, mostrou que ocorreu um aumento da vegetação mais densa nesse período. A maior contribuição de processos erosivos ocorreu na subárea do município de Guarimiranga. Tal comportamento pode estar associado à maior erosividade da chuva, à maior área e à maior rede de drenagem. Os valores de massa localmente erodida apresentaram um mínimo de 10.578 t ha⁻¹ ano⁻¹ no ano de 1993 e o máximo de 62.261 t ha⁻¹ ano⁻¹ em 1994. O valor da massa total assoreada no período de estudo foi de 381.794 m³ de volume de sedimento, mostrando uma perda de 1% da capacidade máxima do reservatório Tijuquinha no período estudado. O pequeno volume assoreado estimado para o reservatório Tijuquinha foi determinado a uma taxa de perda de capacidade de 0,06% por ano.

Palavras-Chave: USLE, Assoreamento, Reservatório.

ESTIMATED THE SEDIMENTATION OF TIJUQUINHA RESERVOIR, BATURITE, CEARÁ

Abstract - This study estimated the sedimentation in the Tijuquinha reservoir, Ceará, in the period of 1992-2008. It began with the calculation of soil loss across the basin area by USLE. Used the method of Thiessen polygons to subdivide the basin and allow the calculation of several factors. The CP factor, determined from the NDVI, showed that there was an increase of denser vegetation during this period. The major contribution of erosion occurred in the sub-area of the municipality of Guarimiranga. Such behavior may be linked to higher rainfall erosivity, the largest and most drainage network. Mass values locally eroded showed a low of 10,578 t ha⁻¹ yr⁻¹ in 1993 and a maximum of 62,261 t ha⁻¹ yr⁻¹ in 1994. The value of the total mass silted during the study period was 381,794 m³ of sediment volume, showing a loss of 1% of the maximum capacity of the reservoir Tijuquinha the period studied. The small volume sedimentation for the estimated Tijuquinha reservoir was determined at a rate of capacity loss of 0.06% per year.

Keywords – USLE, Sedimentation, Reservoir.

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. savio.fontenele@hotmail.com; adrianasaneamento@hotmail.com.

² Doutorando em Física do Ambiente Agrícola, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. dirceutid@hotmail.com.

³ Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. rafaelbtvl@hotmail.com.

⁴ Professor Doutor da Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri. larm@ufc.br.

⁵ Professor Doutor da Universidade Federal do Ceará. jcaraujo@ufc.br.

1. INTRODUÇÃO

Estimativas de perdas de solo podem servir como guia na seleção de sistemas de cultivo e práticas de conservação do solo em geral. Existem diversos modelos para estimativa da perda de solo, tais como WEPP, EUROSEM, GUEST (Irvem *et al.*, 2007). Entretanto, o mais utilizado é o modelo empírico USLE - *Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perda de Solo).

O Semiárido brasileiro abrange uma área de quase 1.000.000 km² e abriga uma população em torno de 20 milhões de habitantes, onde o conflito pela água já é uma realidade. O estado do Ceará apresenta uma baixa disponibilidade hídrica, a estação chuvosa está concentrada em apenas quatro meses e é mal distribuída no tempo e no espaço. Outro fator preponderante é o fato da superfície do estado está localizado sobre o cristalino, dificultando acumulação de água no lençol freático e fazendo com que haja um maior escoamento superficial. Por esta razão, a hegemônica forma de abastecimento hídrico depende da acumulação nos reservatórios (Araújo, 2003).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi estimar o assoreamento no reservatório Tijuquinha, Baturité – Ceará, no período de 1992 a 2008.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do reservatório Tijuquinha compreende parcelas dos municípios de Mulungu, Guaramiranga e Baturité e está localizada na bacia Metropolitana, uma das 11 bacias do estado do Ceará (Figura 1). A bacia apresenta temperatura média de 25°C, pluviosidade média de 1.243,7 mm, classificada segundo Köopen como Am, clima de montanha, ou seja, clima tropical chuvoso característico de áreas elevadas (Viana *et al.*, 2004). A configuração fisiográfica da bacia revela duas sub-regiões: uma serrana e outra de vale/sertão.

De acordo com a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) a área da bacia hidrográfica do reservatório Tijuquinha é de 45,41 km², a capacidade máxima do reservatório é de aproximadamente 9.700 hm³ e seu deflúvio médio anual é igual a 193 mm.

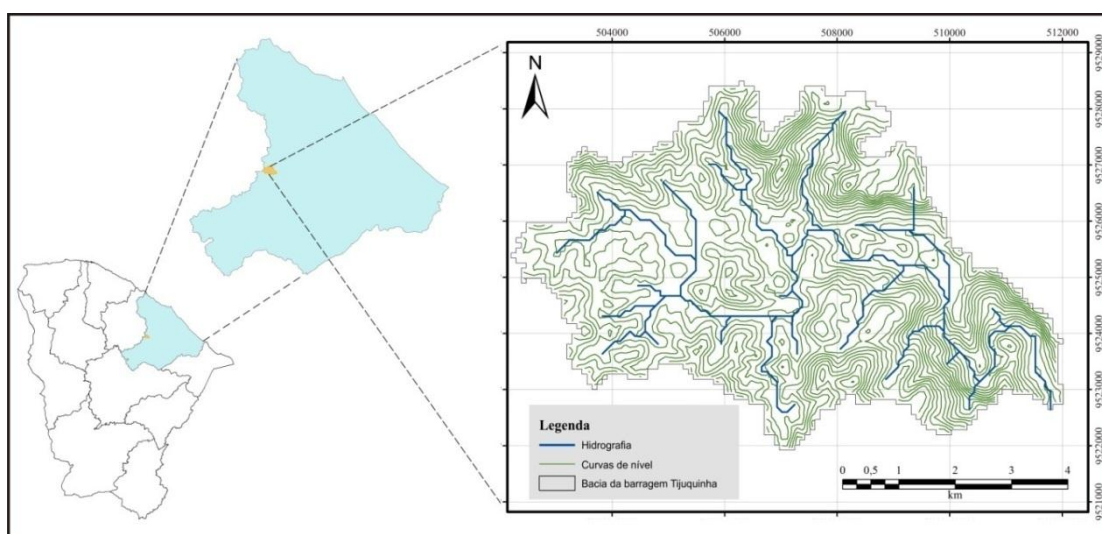


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do reservatório Tijuquinha, Baturité/CE.

Delimitação da Bacia

Para a delimitação da bacia foram utilizados dados da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 92 metros. Para o tratamento e análise dos dados, foi realizado o delineamento da bacia que compõe a área abrangida pelo mapa do Modelo Numérico do Terreno - MNT utilizando a extensão *Archydro* do software *Arcmap 9.2*.

Polígono de Thiessen

A subdivisão da bacia hidrográfica foi realizada através do método dos polígonos de Thiessen. Este consiste em estimar a precipitação média em uma região, a partir da ponderação das médias dos valores precipitados em cada estação pluviométrica, associados a um fator de peso atribuído segundo a proporcionalidade das áreas de influência que cada uma define.

Equação Universal de Perdas de Solo - USLE

Em sua formulação (Equação 1) combina os fatores: R – erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$); K – erodibilidade do solo ($\text{t MJ}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); LS – declividade e comprimento da encosta (-); CP – cobertura e práticas conservacionistas (-) e A – área da bacia (ha).

$$M_L = RKLSCPA \quad (1)$$

Erosividade da chuva (R)

Existe uma grande dificuldade na obtenção de dados de intensidade da chuva. Diante disso, calculou-se o fator R a partir da Equação 2, desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para a região de Campinas. Os parâmetros usados na equação são: a precipitação do mês em que se deseja obter a erosividade (H_m) e a precipitação média anual da região (H_a).

$$Rm = 67,355 \left(\frac{H_m^2}{H_a} \right)^{0,85} \quad (2)$$

Erodibilidade do solo (K)

Para a obtenção do fator de erodibilidade foi coletada uma amostra de solo para determinação granulométrica através do método da pipeta (EMBRAPA, 1997). De posse dos dados, a erodibilidade do solo foi calculada de acordo com a Equação 3, descrita por Haan et al. (1994).

$$K = \frac{0,1317}{100} \{ 2,1 \times 10^{-4} (12 - MO) [(S + AF)(100 - A)]^{1,14} + 3,25(E_1 - 2) + 2,5(P_1 - 3) \} \quad (3)$$

Em que, *MO* é a porcentagem de matéria orgânica; *S* é a porcentagem de silte; *AF* é a porcentagem de areia fina; *A* é a porcentagem de argila; *E₁* é a estrutura do solo e *P₁* é a permeabilidade do solo.

Para a determinação do fator *K* foi admitido um valor igual a 3 para a estrutura do solo. Para a permeabilidade foi verificado através da granulometria da amostra que este possui uma classe textural franco arenosa, conforme classificação do *Soil Conservation Service – SCS*. Para essa classificação admitiu-se um valor de permeabilidade igual a 2.

Fator Comprimento e Declividade (LS)

O fator LS foi calculado, levando em consideração o comprimento da rampa (L_R) e o grau de declividade (S_R), de acordo com Bertoni e Lombardi Neto *apud* Mamede (2002), através da Equação 4:

$$LS = 0,00984L_R^{0,63}S_R^{1,18} \quad (4)$$

Fator cobertura do solo e de práticas conservacionistas (CP)

Para determinar o fator CP, tomou-se como base o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, obtido a partir de imagens do satélite Landsat 5 TM utilizando o software *Erdas Imagine* 8.5. As imagens correspondem às datas: 14/07/2006 (Dia Juliano = 195) e 21/07/1991 (Dia Juliano = 202). O NDVI é um índice de vegetação obtido pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do visível e do infravermelho.

Este índice é um indicador da quantidade e condição da vegetação verde, seus valores variam de -1 a 1. Com base nos resultados obtidos, foram definidas quatro classes de vegetação: solo nu – NDVI entre 0 e 0,1; vegetação rala – valores entre 0,1 e 0,2; vegetação semi-densa – entre 0,2 e 0,5 e vegetação densa – valores superiores a 0,5.

Após definidas as classes de NDVI, foi encontrada a área de cada uma e o seu percentual em relação à área total. Para cada classe de vegetação foi usado um valor para C. Pelo fato de não se ter valores desse fator para a região, foram usados os obtidos para o oeste da África (Reining, 1992) para cada subárea definida pelo método de Thiessen.

Transporte de Sedimento Difuso – SDR

O SDR é a razão entre a massa de sedimento que deixa a bacia (Me) e a massa de sedimento que é localmente erodida (M_L). Para o cálculo dessa razão foi usada a Equação 5, definida como equação de Maner, conforme descrita por Araújo (2003). Este parâmetro considera a declividade do terreno como causa fundamental do transporte difuso de sedimento.

$$\text{Log}(SDR\%) = 2,943 - 0,824\text{Log}(Lm/ Fr) \quad (5)$$

Em que, Lm é o comprimento máximo da bacia em linha reta (m); Fr é a diferença entre cota média dos divisores de água e a cota do exutório (m).

Índice de retenção do sedimento

O índice de retenção do sedimento foi obtido através do Método Empírico de Brune, que é função direta do tempo de residência médio do reservatório, calculado pela razão entre a capacidade do reservatório e vazão afluente média anual.

De acordo com Araújo (2003), em reservatórios do semiárido, observa-se retenção média inferior à calculada por Brune. Por conta disso, utiliza-se para regiões semiáridas a curva de mínimo do ábaco de Brune. Assim, foi utilizado este método para determinar o índice de retenção de sedimento no reservatório em estudo.

Cálculo da retenção de sedimento no reservatório

O cálculo da massa assoreada (M_a) é feito pela multiplicação da massa afluyente de sedimentos pela fração de retenção (η), obtida pelo Método de Brune. Em bacias que a contribuição populacional não é desprezível, considera-se além da erosão laminar, o sedimento oriundo das contribuições urbanas. Dessa forma, a Equação 6 é indicada para determinar o valor do volume de sedimentos retido no reservatório.

$$M_a = (M_L \times SDR + Pop \times \omega) \times \eta \quad (6)$$

Em que, M_L é a massa erodida ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); SDR é o transporte de sedimento difuso (%); Pop é a população contribuinte, ω é a contribuição per capita de sedimentos e η é a fração de retenção de sedimentos no reservatório.

De acordo com Mamede (2002), o fator ω da Equação 6 foi admitido como $0,6 \text{ kg hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A população contribuinte da bacia em estudo foi obtida através de dados do IPECE (2008) e do Censo 2006 (IBGE, 2006). De posse dos dados de população rural e área rural foi obtida a densidade populacional rural de cada município entre os anos de 1991 a 2000 devido à ausência de dados disponíveis e estimando os anos subsequentes através da Equação 7.

$$P = P_0 (1 - r)^n \quad (7)$$

Em que, P_0 é a população no ano de início do estudo; r é a taxa de crescimento populacional geométrica e n é o número de anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média da erosividade para a parcela do município de Mulungu foi de $8.064 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para a porção do município de Guaramiranga $9.780 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e na parte do município de Baturité foi de $8.100 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Isso ocorre devido ao maior regime pluviométrico no município de Guaramiranga.

O valor de K e a granulometria do solo estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fator K e dados obtidos para seu cálculo

Granulometria (%)					K
Argila	Areia	Areia Fina	Silte	Matéria orgânica	(MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)
12,74	38,81	35,13	10,59	2,73	0,034

A erodibilidade do solo, representada pelo fator K, é influenciada principalmente por características que afetam a capacidade de infiltração, permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva e enxurrada (Lombardi Neto & Bertoni, 1975). Como os solos se apresentam como basicamente arenosos, essas partículas são caracterizadas por possuir maior resistência à remoção tendendo a se acumular na superfície devido à seu peso e tamanho (Resende, 1985).

O fator LS e os parâmetros usados para sua determinação estão indicados na Tabela 2. Esse fator constitui um parâmetro de difícil avaliação considerando a diversidade de situações topográficas e de manejo do local (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

Tabela 2 – Fator LS e dados obtidos para seu cálculo

Área (km ²)	Declividade (%)	Rede de drenagem (km)	Lr (m)	LS
37,86	22,36	42,48	222,80	11,61

A Figura 3 ilustra o mapa do NDVI da bacia do Tijuquinha em dois anos: 2006 e 1991, mostrando que ocorreu um aumento da vegetação mais densa nesse período.

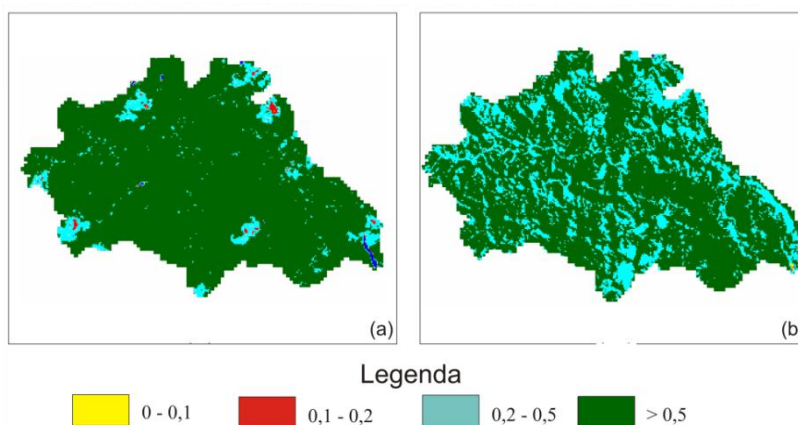


Figura 3 – Mapa de NDVI da bacia do Tijuquinha para os anos 2006 (a) e 1991 (b)

A Tabela 3 mostra as médias ponderadas do fator CP nas parcelas dos municípios que compõem a bacia do Tijuquinha nos anos de 1991 e 2006.

Tabela 3 – Fator CP para as parcelas dos municípios que compõem a bacia em estudo, no período de 1991 e 2006

Município	BATURITÉ		MULUNGU		GUARAMIRANGA	
Ano	1991	2006	1991	2006	1991	2006
CP ponderado	0,0048	0,0040	0,0020	0,0014	0,0021	0,0015

A perda de solo anual para a bacia em estudo foi de 594.346 t ha⁻¹ entre os anos de 1992 a 2008, a maior contribuição de processos erosivos ocorreram na subárea do município de Guaramiranga (211.703 t ha⁻¹) para o mesmo período de anos. Tal comportamento pode estar associado, principalmente, à maior erosividade da chuva, à maior área e à maior rede de drenagem.

Na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros necessários ao cálculo da massa assoreada no reservatório em estudo. Os valores de M_L (massa localmente erodida) correspondem ao somatório da perda de solo das subáreas da bacia, onde se observa um valor mínimo de 10.578,58 t ha⁻¹ ano⁻¹ no ano de 1993 e o máximo de 62.261,48 t ha⁻¹ ano⁻¹ em 1994. O ano em que se obteve o valor mínimo de M_L corresponde ao ano em que se observou a menor erosividade.

O valor total da massa total assoreada (M_t) no período de estudo foi de 381.794 m³ de volume de sedimento, mostrando uma perda de 1% da capacidade máxima do reservatório Tijuquinha no período estudado. Araújo (2003) encontrou uma média de 1% por década para o reservatório Acarape do Meio, no município de Redenção. A bacia estudada pelo autor citado está localizada dentro da Bacia Metropolitana cearense, assim como a área estudada.

Tabela 4 – Massa localmente erodida (M_L), SDR, massa de sedimentos que deixa a bacia (Me), população contribuinte (Pop), contribuição per capita (ω), índice de retenção (η) e massa assoreada (Mt) para a bacia do reservatório Tijuquinha

Anos	M_L (ton)	SDR	Me (ton)	Pop	ω (ton/ha)	η	Mt (ton)
1992	3.4E+04	0.67	2.2E+04	2.852	0.0006	0.90	2.0E+04
1993	1.1E+04	0.67	7.1E+03	2.797	0.0006	0.90	6.4E+03
1994	6.2E+04	0.67	4.2E+04	2.743	0.0006	0.90	3.7E+04
1995	3.8E+04	0.67	2.5E+04	2.690	0.0006	0.90	2.3E+04
1996	4.4E+04	0.67	3.0E+04	2.638	0.0006	0.90	2.7E+04
1997	1.9E+04	0.67	1.3E+04	2.588	0.0006	0.90	1.2E+04
1998	1.8E+04	0.67	1.2E+04	2.538	0.0006	0.90	1.1E+04
1999	1.8E+04	0.67	1.2E+04	2.489	0.0006	0.90	1.1E+04
2000	5.8E+04	0.67	3.9E+04	2.743	0.0006	0.90	3.5E+04
2001	3.3E+04	0.67	2.2E+04	2.727	0.0006	0.90	2.0E+04
2002	6.0E+04	0.67	4.0E+04	2.711	0.0006	0.90	3.6E+04
2003	4.5E+04	0.67	3.0E+04	2.695	0.0006	0.90	2.7E+04
2004	4.6E+04	0.67	3.1E+04	2.680	0.0006	0.90	2.8E+04
2005	3.0E+04	0.67	2.0E+04	2.665	0.0006	0.90	1.8E+04
2006	3.1E+04	0.67	2.0E+04	2.651	0.0006	0.90	1.8E+04
2007	2.0E+04	0.67	1.4E+04	2.637	0.0006	0.90	1.2E+04
2008	2.7E+04	0.67	1.8E+04	2.623	0.0006	0.90	1.6E+04

4. CONCLUSÕES

O NDVI pode ser útil para a estimativa do fator de cobertura vegetal da equação universal de perda de solo – USLE.

O pequeno volume assoreado estimado para o reservatório Tijuquinha foi determinado devido a uma taxa de 1% de perda da capacidade do reservatório em um período de 17 anos, ou seja, uma taxa de perda de capacidade de 0,06% por ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro (processo n° 483270/2010-5 e processo n° 486767/2012-4) e a UFC (Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri) pelo apoio à realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. C. (2003). “Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.8, n.2. p.39-56.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2005) *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone Editora, 355 p.
- EMBRAPA. (1997). “Manual de Métodos de Análise de Solo”. Rio de Janeiro – RJ. 2 ed. 212 p.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. (1994). *“Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments”*. San Diego: Academic Press, 1994, 588 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006). *“Censo Demográfico”*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 12 nov. 2008.

IRVEM, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. (2007). *“Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey”*. Journal of Hydrology. v. 336, p. 30-37.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará. (2008). *“Perfil básico municipal”*. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>> Acesso em: 12 nov. 2008.

MAMEDE, G. L. (2002). *“Modelagem hidrossedimentológica com vistas a cenários de mudança global”*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza-CE. 142p.

LOMBARDI NETO, F. MOLDENHAUER, W. C. (1992). *“Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)”*. Bragantia, v.51, n.2, p.189-196.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. (1975). *“Erodibilidade de solos paulistas”*. Campinas: Instituto Agrônomo, Boletim Técnico. n° 27. 12p.

MAMEDE, G. L. (2002). *“Modelagem hidrossedimentológica com vistas a cenários de mudança global”*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza-CE. 142p.

REINING, L. (1992). *Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southern central cordillera of Colombia*. Margraf, Hohenhein tropical agricultural series:1.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J. R. (1985). *“Modelos de Predição de Perdas de Solo: Uma ferramenta para Manejo e Conservação do Solo”*. In Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v. 128, p. 38-54, 1985.

VIANA, T. V. A.; RÊGO, J. L.; AZEVEDO, B. M.; ARAÚJO, W. F.; BASTOS, F. G. C. (2004). *“Efeitos de níveis de irrigação sobre o índice de área foliar, a matéria seca e o desenvolvimento da inflorescência na cultura do crisântemo”*. Irriga. v.9, n.3, p.248-255.