

**GERALDO MAGELA FREIRE MAGALHÃES**

**AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM TERRAÇOS NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, EM  
MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências Agrárias, concentração em Agroecologia, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias.

**Orientador:** Prof. Leonardo David Tuffi Santos

**Coorientador:** Prof. Flávio Gonçalves Oliveira

**Montes Claros**

**2012**

**M188a** Magalhães, Geraldo Magela Freire.  
**2012** Avaliação da retenção de água em terraços na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, em Minas Gerais / Geraldo Magela Freire Magalhães. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2012. 66 f: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

Orientador: Prof. Leonardo David Tuffi Santos.

Banca examinadora: Exedito José Ferreira, Flávio Pimenta de Figueiredo, Flávio Gonçalves Oliveira.

Inclui bibliografia: f. 63-66.

1. Bacia hidrográfica – Rio São Francisco. 2. Recursos hídricos. 3. Agroecologia. I. Santos, Leonardo David Tuffi. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 556.1

**GERALDO MAGELA FREIRE MAGALHÃES**

**AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM TERRAÇOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, EM MINAS GERAIS**

Aprovada em 6 de julho de 2012.

---

**Prof. Exedito José Ferreira  
(UNIMONTES)**

---

**Prof. Flávio Pimenta de Figueiredo  
(ICA/UFMG)**

---

**Prof. Flávio Gonçalves Oliveira  
(Coorientador - ICA/UFMG)**

---

**Prof. Leonardo David Tuffi Santos  
(Orientador – ICA/UFMG)**

**Montes Claros**

**2012**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao senhor Deus, por tornar este sonho possível e conceder-me forças, confiança, serenidade e sabedoria nos momentos difíceis da vida;

A meus pais, irmãos, minha esposa, meus filhos que, com carinho, paciência e incentivo contribuíram para vencer mais uma etapa na minha vida;

Ao amigo, professor Flávio Gonçalves Oliveira, pela paciência na orientação, incentivos e confiança em mim creditada, não somente durante o período do mestrado, mas pela jornada da vida que nos oportunizou o conhecimento;

Ao professor, Leonardo David Tuffi Santos, pelo apoio, paciência, presteza nas orientações durante a elaboração, correções e conclusão da dissertação;

À Emater-MG, pela oportunidade concedida para cursar esta pós-graduação;

Para não ser injusto com aqueles aqui não citados, só tenho a agradecer-los, pelo companheirismo, e compreensão dos meus impedimentos, na certeza da importância de suas colaborações na construção deste trabalho. Obrigado!

## RESUMO

No Brasil, a erosão hídrica é considerada a mais importante causadora da degradação das terras agrícolas, promovendo prejuízos sociais e ambientais expressivos à sociedade. A erosão do solo reduz a capacidade produtiva das terras, refletindo no aumento dos custos de produção e, conseqüentemente, uma redução no lucro obtido pelos agricultores. Apesar de ser uma prática antiga, o terraceamento apresenta ainda dificuldades relativas ao seu uso, sendo sua eficiência dependente do correto dimensionamento do espaço entre terraços, da lâmina de escoamento, da sua seção transversal e principalmente da dificuldade em manter sua uniformidade construtiva. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de retenção da água em terraços posicionados em nível, quanto a sua capacidade volumétrica de armazenamento necessária e efetiva. Foram estudados terraços tipo Nichols, de base média, construídos em duas áreas distintas em sub-bacias hidrográficas do Norte de Minas nos municípios de Icaraí de Minas, Pintópolis e Ubaí – MG, no âmbito do Programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco. Determinou-se na curva mediana de cada sistema de terraceamento, a média de quatro seções transversais do terraço, que associada ao seu comprimento obteve-se seu volume de armazenamento real. Através da seção obtida na cota mais baixa da crista do camalhão, combinada com a cota mais baixa de sua extremidade, determinou-se seu volume de armazenamento efetivo. A partir dos resultados obtidos através da relação entre o volume efetivo e necessário, foi possível observar que para Icaraí de Minas área 01 e 02, a eficiência variou de 76,4 a 44,8%, para Pintópolis, de 9,0 a 63,5% do potencial volumétrico de acumulação de água nos terraços, não sendo possível fazer a avaliação da eficiência para os terraços do município de Ubaí. Estes resultados evidenciam problemas na eficiência de terraços construídos pelo Programa de Revitalização, para as condições do Norte de Minas Gerais, na conservação do solo e retenção da água.

**Palavras-chave:** Erosão hídrica. Conservação do solo e da água. Recarga hídrica. Retenção. Terraços.

## ABSTRACT

In Brazil, the water erosion is considered the most important cause of degradation of agricultural lands, doing expressive social and environmental harms to society. The soil erosion reduces the productive capacity of lands, increasing the production costs and, consequentemente, a reduction in the profit gotten by the farmers. Although being one old practice, the terracing still presents relative difficulties to its use, being its efficiency dependent of the correct sizing of the space between terraces, the blade of draining, its transversal section and mainly of the difficulty in keeping its constructive uniformity. The objective of this work was to evaluate the water holding capacity in terraces located in level, as for its volumetric capacity of necessary and effective storage. Terraces type Nichols were studied, of average base, constructed in two distinct areas in sub-basins of the North of Minas Gerais in Icaraí de Minas, Pintópolis and Ubaí-MG cities, in the scope of the Program of Revitalization of Watersheds of the São Francisco River. It was determined in the medium curve of each terracing system, the average of four transversal sections of the terrace, that associated to its length it was gotten its volume of real storage. By means of the section gotten in the quota lowest of the crest of the ridge, combined with the quota lowest of its extremity, its volume of effective storage was determined. From the results gotten through the relation between the effective and necessary volume, it was possible to observe that for Icaraí de Minas area 01 and 02, the efficiency varied from 76.4 to 44.8%; for Pintópolis, from 9.0 to 63.5% of the volumetric potential of water holding in the terraces, not being possible to evaluate the efficiency for the terraces of Ubaí city. These results evidence troubles in the efficiency of terraces built by the Program of Revitalization, for the North of Minas Gerais conditions, in the soil conservation and water holding.

**Keywords:** Water erosion. Soil and water conservation. Water recharge. Holding. Terraces.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 -</b>	Representação do infiltrômetro de anel para determinar a infiltração acumulada da água no solo....	<b>37</b>
<b>FIGURA 2 -</b>	Área de contribuição para formação do escoamento superficial.....	<b>38</b>
<b>FIGURA 3 -</b>	Representação esquemática do perfil transversal de terraço, onde C é a cota da crista, $F_1$ e $F_2$ são cotas do fundo, FT a cota do fim, $C - F_1$ , $C - F_2$ , $C - FT$ as distâncias horizontais a cada ponto.....	<b>39</b>
<b>FIGURA 4 -</b>	Representação esquemática do levantamento de dados de um terraço, onde S representa pontos onde foram feitos os perfis das seções transversais, C pontos da crista, bi e bf os pontos das extremidades...	<b>39</b>
<b>GRÁFICO 1 -</b>	Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 01 do município de Icarai de Minas.....	<b>44</b>
<b>GRÁFICO 2 -</b>	Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 02 do município de Icarai de Minas.....	<b>45</b>
<b>GRÁFICO 3 -</b>	Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 01 do município de Pintópolis.....	<b>46</b>
<b>GRÁFICO 4 -</b>	Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 02 do município de Pintópolis.....	<b>47</b>
<b>GRÁFICO 5 -</b>	Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 01 do município de Ubaí.....	<b>48</b>
<b>GRÁFICO 6 -</b>	Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 02 do município de Ubaí.....	<b>49</b>
<b>GRÁFICO 7 -</b>	Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 01 do município de Icarai de Minas.....	<b>50</b>
<b>GRÁFICO 8 -</b>	Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 02 do município de Icarai de Minas.....	<b>51</b>
<b>GRÁFICO 9 -</b>	Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 01 do município de Pintópolis.....	<b>54</b>
<b>GRÁFICO 10 -</b>	Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 02 do município de Pintópolis.....	<b>55</b>

<b>GRÁFICO 11 -</b>	Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 01 do município de Ubaí.....	<b>57</b>
<b>GRÁFICO 12 -</b>	Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 02 do município de Ubaí.....	<b>58</b>



## LISTA DE TABELAS

1 -	Textura e fração de areia, silte e argila do solo na profundidade de 0 a 20 cm em $\text{dag kg}^{-1}$ .....	44
2 -	Área necessária ( $A_n$ ), área real ( $A_r$ ), e área efetiva ( $A_e$ ), em $\text{m}^2$ para terraços avaliados no município de Icaraí de Minas, Pintópolis e Ubaí.....	51
3 -	Volume de armazenamento necessário ( $V_n$ ), volume efetivo ( $V_e$ ), em $\text{m}^3$ e a eficiência, em (%) de terraços nos municípios de Icaraí de Minas, Pintópolis e Ubaí.....	53
4 -	Lâmina do escoamento superficial para o tempo de retorno de 8 anos nos municípios de Icaraí de Minas, Pintópolis e Ubaí.....	59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1	Considerações gerais relacionadas a erosão do solo..	16
2.2	Principais formas de erosão hídrica.....	18
2.2.1	Erosão pelo impacto da gota da chuva.....	18
2.2.2	Erosão laminar.....	19
2.2.3	Erosão em sulcos.....	20
2.2.4	Voçorocas.....	20
2.3	Infiltração da água no solo.....	21
2.4	Escoamento superficial.....	23
2.5	Aspectos gerais relacionados às práticas conservacionistas.....	25
2.6	Práticas para conservação do solo e da água.....	26
2.6.1	Práticas de caráter vegetativo.....	26
2.6.2	Práticas de caráter edáfico.....	26
2.6.3	Práticas mecânicas.....	27
2.6.3.1	Aspectos conceituais de terraços.....	27
2.6.3.2	Classificação quanto à função.....	27
2.6.3.3	Classificação quanto à forma construtiva.....	28
2.6.3.4	Classificação quanto à faixa de movimentação de terra.....	28
2.7	Critérios básicos no dimensionamento de sistema de terraceamento.....	29
2.7.1	Espaçamento entre terraços.....	29
2.7.1.1	Metodologia de Bentley.....	29
2.7.1.2	Metodologia de Lombardi Neto.....	30

2.7.2	Seção transversal do canal de terraço de retenção.....	31
2.7.2.1	Terraço de retenção com seção triangular.....	31
2.7.2.2	Terraço de retenção com seção trapezoidal.....	31
2.7.3	Escoamento superficial.....	32
2.7.3.1	Precipitação total.....	32
2.7.3.2	Abstrações iniciais.....	32
2.7.3.3	Intensidade de precipitação máxima média.....	33
2.7.4	Informações complementares.....	33
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1	Identificação e caracterização de áreas.....	35
3.2	Determinação de dados.....	36
3.2.1	Classe textural.....	36
3.2.2	Taxa de infiltração de água no solo.....	36
3.2.3	Área de contribuição para formação do escoamento superficial.....	37
3.2.4	Perfil da seção transversal.....	38
3.2.5	Lâmina de escoamento superficial.....	40
3.2.6	Capacidade de armazenamento necessária e efetiva..	40
3.2.6.1	Capacidade de armazenamento necessária.....	40
3.2.6.2	Capacidade de armazenamento efetiva.....	41
3.2.7	Avaliação da capacidade de armazenamento do terraço.....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
4.1	Taxa de infiltração da água no solo.....	43
4.2	Seções do canal e a eficiência de terraço.....	49

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
5.1	Recomendações.....	62
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ocorrência frequente de chuvas intensas associada, principalmente, ao manejo inadequado do solo, tem aumentado a erosão hídrica constituindo-a como a principal forma de degradação dos solos agrícolas, com graves prejuízos ambientais, sociais e econômicos. Práticas incorretas no cultivo podem destruir, em poucos anos, a camada arável do solo que a natureza levou milênios de anos para formar (BAHIA *et al.*, 1992).

Estimativas feitas por Hernani *et al.* (2002) demonstram que perdas anuais de solo, em áreas ocupadas por lavouras e pastagens no Brasil, são da ordem de 822,7 milhões de toneladas. Para Minas Gerais, é aceitável o valor médio de  $19 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de perdas de solo em culturas anuais. Esse fato tem acarretado aumento dos custos de produção na agropecuária, redução nos lucros obtidos pelos agricultores pela perda de fertilizantes, água e nutrientes do solo, forçando uma necessidade crescente de suas reposições, cujas perdas expressam valores da ordem de US\$ 173,6 Milhões (PRUSKI, 2009).

Além dos prejuízos associados às perdas de nutrientes, a erosão apresenta como consequência a redução da produtividade das culturas, assoreamento e contaminação dos corpos d'água, favorece a ocorrência de enchentes no período chuvoso e redução da disponibilidade hídrica nas épocas mais secas do ano, pode danificar vias de deslocamento e de comunicação prejudicando o acesso de moradores rurais aos serviços básicos como saúde e educação. Esses fatores associados contribuem para a poluição do ecossistema com reflexos no êxodo rural dessas populações.

Os problemas que vêm ocorrendo com os recursos naturais devem ser enfrentados de forma global e integrados. Aumentar a produtividade e a produção é uma necessidade, porém deve-se evitar o desgaste e empobrecimento do solo nas suas diversas fases e formas. O uso de práticas que aumentem a infiltração da água no perfil do solo, que intensifiquem a cobertura vegetal e que reduzam o escoamento superficial é recomendável. Assim, além de controlar a erosão e o empobrecimento do solo, obtêm-se,

como reflexo, melhorias da qualidade da água, a preservação da vida silvestre e do meio ambiente (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

A capacidade de absorção de água pelo solo assume papel fundamental nos aspectos hidrológicos dos terraços. Quanto maior a infiltração, menor será o escoamento superficial produzido; quanto maior a capacidade de absorção de água no interior do terraço, maior será o teor de umidade no perfil do solo e menores podem ser suas dimensões.

Várias são as práticas utilizadas para controlar a erosão hídrica em solos agrícolas, sendo normalmente divididas em práticas edáficas, vegetativas e mecânicas, as quais apresentam sua eficiência potencializada quando usadas de forma integrada.

Problemas, semelhantes aos apresentados, também decorrentes do uso inadequado dos recursos solo e água na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, vêm, a cada ano, tomando proporções alarmantes e desastrosas a ponto de modificar seu ciclo hidrológico e empobrecer seu ecossistema.

Entretanto, Projetos de Manejo Integrado dos Recursos Naturais em Sub-Bacias Hidrográficas, com o propósito de reduzir os efeitos negativos da erosão do solo, promover a recarga hídrica das reservas subterrâneas e favorecer a estabilidade dos agroecossistemas, estão sendo implantados em municípios mineiros que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Os recursos financeiros são provenientes do Governo Federal com a contrapartida do Governo Mineiro.

O projeto está em fase de execução, tendo seu início pelo Norte de Minas Gerais com 19 municípios inseridos na área de abrangência do Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio São Francisco – CBH SF9, e tem como meta final 89 municípios da bacia.

Apesar de ser uma prática antiga, o terraceamento apresenta ainda dificuldades relativas ao seu uso, sendo sua eficiência dependente do correto dimensionamento do espaço entre terraços e da sua seção transversal (GRIEBELER *et al.*, 2005b).

Para determinar o espaçamento correto entre dois terraços consecutivos, deverá ser levado em consideração aspectos relacionados ao clima, solo, relevo, cultura, manejo, equipamento disponível e custos

operacionais na atividade. Assim, será possível obter um comprimento de rampa para o qual o escoamento superficial máximo não atinja velocidade capaz de promover a erosão do solo, mas que expresse também um custo benefício positivo.

Para uma determinação adequada da seção transversal do terraço, é fundamental conhecer o volume máximo de escoamento superficial, no caso de terraços de retenção (PRUSKI, 2009).

Estudos realizados por Pruski *et al.* (1995) demonstraram a variabilidade espacial da seção transversal de canais de terraços posicionados em nível, sendo que 22,7 a 41,3% da seção transversal de terraços fora inoperante no que diz respeito à acumulação de água. Já Griebeler *et al.* (1998) realizaram estudos semelhantes e encontraram valores variando de 42,9% a 31,7%.

Fidalski (1998), também estudando sistema de terraceamento agrícola proposto para a Região Noroeste do Paraná, identificou a instalação de terraços subdimensionados acarretando a exposição dos solos à ação dos processos erosivos, evidenciando o uso incorreto e a ineficiência desta prática.

Mesmo com o correto dimensionamento do sistema de terraceamento de retenção, sua eficiência é bastante influenciada pelo relevo irregular do terreno, devendo acompanhar pontos de mesmo nível e manter sua geometria teórica preservada. Tem-se, então, sua eficiência relacionada ao volume de água armazenado no canal do terraço, o qual é determinado pela sua seção transversal, combinada com a menor altura encontrada ao longo da crista do camalhão e pela obstrução simultânea de suas extremidades.

Considerando tais fatores, e ainda que um dos objetivos principais desses terraços no Programa de Revitalização seja reter e oportunizar a infiltração da água no solo, estes podem não estarem adequadamente dimensionados e ou posicionados para reter o volume de água proveniente do escoamento superficial. Os aspectos construtivos são também influenciados pelo tipo de solo, pela textura, pelo relevo, pela cobertura vegetal existente e pelo tipo de máquina utilizada. A combinação desses fatores pode alterar a estrutura geométrica projetada para o terraço, além de

proporcionarem sua ineficiência pela redução da capacidade de armazenamento do escoamento superficial e conseqüentemente infiltrado, podem promover graves problemas de erosão, reduzir a otimização dos recursos financeiros envolvidos e diminuir a disponibilidade de água para o ecossistema e para uso humano.

Portanto, o objetivo com este trabalho foi avaliar a capacidade de retenção da água em terraços posicionados em nível, construídos pelo Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, quanto a sua capacidade volumétrica de armazenamento necessária e efetiva.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Considerações gerais relacionadas a erosão do solo**

A erosão está intimamente ligada aos processos naturais de evolução da própria terra e do desenvolvimento da humanidade. É denominada de normal ou geológica quando oriunda de fenômenos naturais que atuam continuamente na superfície terrestre, constituindo-se como processo benéfico à formação do solo. A interferência humana nesse processo harmônico, por meio de práticas inadequadas, modifica o equilíbrio natural, acelerando e intensificando sua ocorrência, dando origem a erosão acelerada, denominada simplesmente de erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Esse processo assume lugar de grande importância nos dias atuais, uma vez que está associado a enormes prejuízos acarretados às atividades agropecuárias e urbanas, gerando problemas ambientais, sociais e econômicos, o que contribui para o empobrecimento geral do ecossistema terrestre (PRUSKI, 2009).

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado de partículas do solo causadas pelas ações da água e o vento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). A erosão quando tem como seu principal agente causador o vento é denominada de eólica, e de hídrica quando o principal agente é a água. A erosão hídrica é a mais frequente e importante no Brasil, principalmente pela magnitude dos problemas causados e por ser considerada como a principal forma de erosão na maioria dos estados brasileiros. A erosão eólica aparece com menor frequência de ocorrência no país, sendo um problema que afeta as regiões planas de vegetação escassa, velocidade do vento alta com baixa precipitação pluviométrica, sendo mais comuns em regiões áridas e no Nordeste Brasileiro (PRUSKI, 2009).

Segundo a Food Agriculture Organization of the United Nations – FAO (1996) perdia-se no mundo, somente pela erosão hídrica, cerca de 25 bilhões de toneladas de solo ao ano devido à má gestão de áreas agrícolas.

De acordo com Oldeman (1994), 15% dos solos do planeta (aproximadamente 20 bilhões de hectares), uma área do tamanho dos Estados Unidos e Canadá juntos, estão classificados como degradados devido às atividades humanas. Desse total de áreas, 5% encontram-se na América do Norte, 12% na Oceania, 14% na América do Sul, 17% na África, 18% na Ásia, 21% na América Central e 13% na Europa. Considerando as áreas inabitadas do mundo, o percentual de solos degradados no planeta sobe de 15 para 34%. Ainda segundo Oldeman (1994), cinco são os principais fatores de degradação dos solos mundiais:

- Desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização (29,4%);
- Superpastejo da vegetação (34,5%);
- Atividades agrícolas, estando incluída ampla variedade de práticas agrícolas, como uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas do solo (28,1%);
- Exploração intensiva da vegetação para fins domésticos como combustíveis, cercas, etc., expondo o solo à ação dos agentes erosivos (6,8%);
- Atividades industriais ou bioindustriais que causam poluição do solo (1,2%).

Entretanto, estudos mais recentes já indicam que 25% dos solos do planeta estão degradados, o que corresponde a 400 milhões de hectares de terras agrícolas comprometidas para produção de alimentos pelo uso de práticas culturais inadequadas, secas e pressão populacional (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO – FAO, 2009).

Segundo a Federação das Associações dos Engenheiros Agrônomos do Brasil, no país, são perdidos, a cada ano, 600 milhões de toneladas de solo agrícola pelo uso indevido das terras (BAHIA *et al.*, 1992). O estado de São Paulo contribui com 194 milhões de toneladas de terras anualmente Pruski (2009), o Paraná com 120 milhões de toneladas Paraná (1994), e

Minas Gerais com aproximadamente 68,9 milhões de toneladas (PRUSKI, 2009).

Além da perda de solo e nutrientes, a erosão promove a redução na capacidade de infiltração da água no solo, aumenta o escoamento superficial, reduz e a disponibilidade hídrica em áreas rurais. De Maria (1999) estima as perdas de água em áreas agrícolas em  $2.519 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , e em áreas de pastagens perdas em torno de 171 bilhões de  $\text{m}^3$  de água por ano.

A amplitude dos problemas ocasionados pela erosão assume dimensão mundial e traz como consequências a degradação dos solos, prejuízos econômicos, a escassez hídrica, a fome, a miséria, a degradação social e, sobretudo, compromete a manutenção da vida no planeta. Esses fatos evidenciam a necessidade urgente de manter a erosão a níveis controláveis e aceitáveis.

## **2.2 Principais formas de erosão hídrica**

A erosão hídrica do solo é um processo físico de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, provocada pela ação da água das chuvas e do escoamento superficial e afetada pela ação antrópica (CASSOL; LIMA, 2003).

A retirada da cobertura vegetal expõe o solo ao impacto direto das gotas da chuva, destruindo os agregados e promovendo o selamento superficial. Em seguida, as partículas do solo se soltam, o material desprendido é transportado pela água e, logo que a velocidade do escoamento é reduzida, esse material é depositado em nascentes, lagos, represas, açudes e rios.

### **2.2.1 Erosão pelo impacto da gota de chuva**

Esta erosão é o resultado do impacto da gota sobre a superfície do solo, quebrando os agregados em partículas e agregados menores. Grande quantidade de sedimentos é lançada ao ar, chegando a promover perdas de

50 a 90 vezes maior do que as causadas pela enxurrada (SCHWAB *et al.*, 1993).

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (1990), uma gota golpeando um solo úmido, forma uma cratera, compactando a área imediatamente abaixo sob o centro da gota, movimentando as partículas soltas para fora em um círculo em volta da sua área. Em terrenos cultivados sob declive, a força das gotas da chuva é tal que, mais da metade das partículas que foram desprendidas pode movimentar-se morro abaixo levando grande parte do solo. Ainda segundo esses autores, esses processos atuam simultaneamente diminuindo a capacidade de infiltração da água no solo.

### **2.2.2 Erosão laminar**

Consoante Bahia *et al.* (1992), a erosão laminar se caracteriza por arrastar uniformemente partículas do solo, sendo muitas vezes imperceptível nos seus primeiros estágios.

Entretanto, Silva *et al.* (2010) relatam que estudos empregando técnicas de microfotografia indicam que esta forma de erosão raramente ocorre. O que ocorre é a formação de pequenos sulcos. A dinâmica troca de posição desses microscópios sulcos dá a falsa impressão de que a erosão está desgastando uniformemente a superfície do solo. Então, a combinação de erosão pelo impacto da gota da chuva e erosão laminar resulta na erosão entre sulcos. Em estágio mais avançado, o solo apresenta cores mais claras, a enxurrada apresenta sedimentos em suspensão, há redução na produtividade das culturas, sendo comum observar o afloramento de raízes e mourões de cercas.

A quantidade de material carregado depende da capacidade de transporte da enxurrada que é influenciada pelo tamanho, densidade e forma das partículas do solo, e pelo efeito de retardamento da cobertura do solo ou de outras obstruções (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

### **2.2.3 Erosão em sulcos**

A erosão em sulcos, em canais ou em ravinas caracteriza-se pela presença de sulcos sinuosos que se localizam ao longo dos declives em consequência da concentração da enxurrada que escorre sobre o terreno por ocasião das chuvas intensas, ou chuvas cuja intensidade seja maior que a capacidade de infiltração de água no solo. Na maioria das vezes, a erosão laminar evolui para erosão em sulcos, embora nem sempre seja o início desta forma de erosão (SILVA *et al.*, 2010).

Essa erosão é a que mais chama atenção do produtor, principalmente pelo fato de que em seu estágio inicial ele consegue identificar facilmente as alterações sofridas na superfície do terreno. Com a evolução desse processo erosivo, há um desgaste e redução da fertilidade natural do solo, apresentando dificuldades para o agricultor preparar adequadamente a terra para o cultivo, devido a restrições impostas ao deslocamento de máquinas.

### **2.2.4 Voçorocas**

Essa forma de erosão pode ser entendida como o estágio mais avançado e complexo da erosão, ocasionada pela concentração do escoamento superficial com grande quantidade de energia, que seguidamente escoar pelo mesmo sulco, promovendo deslocamento do solo e formando grandes cavidades em extensão e profundidade.

As voçorocas podem ser formadas pela evolução gradual da erosão em sulcos, as quais têm suas dimensões aumentadas, tornando-se cada vez mais profundas, ou, então, diretamente a partir de um ponto de elevada concentração de águas sem que haja a devida dissipação de energia. Outro fator causador do aparecimento de voçorocas é a intervenção humana no ambiente visando a obras civis, com a construção de estradas, de represas e a exploração de jazidas minerais (CAPECHE *et al.*, 2008). Também conforme esses autores, a ocorrência das voçorocas está intimamente relacionada com o ambiente que a cerca, principalmente o relevo, tipo de solo e cobertura vegetal, tendo maior probabilidade de ocorrer em determinado tipo de relevo

que em outro. As áreas que apresentam uma topografia mais movimentada, por exemplo, propiciam uma concentração do escoamento superficial em determinadas irregularidades ou depressões da superfície do solo desprotegido ou trabalhado, originando sulcos que, caso o processo continue, evoluirão para voçorocas.

De acordo com Silva *et al.* (2010), alguns solos são mais susceptíveis a essa forma de erosão, principalmente aqueles cujo horizonte B e ou C são friáveis. Por outro lado, solos com horizonte B argílico são, comparativamente, mais resistentes a essa forma de erosão.

### **2.3 Infiltração da água no solo**

A infiltração consiste no processo da passagem da água através da superfície do solo. A parcela de precipitação que o atinge pode infiltrar ou escoar superficialmente dependendo da capacidade de infiltração do solo. A capacidade de um solo permitir que a água infiltre e a taxa com que isso ocorre depende da sua porosidade, cobertura vegetal, intensidade da chuva e umidade antecedente (TUCCI, 2002).

A taxa de infiltração é máxima no início da precipitação e decresce rapidamente conforme estrutura do solo. O tamanho e a distribuição de poros no solo interferem na taxa de infiltração. Solos arenosos, geralmente apresentam maior quantidade de macroporos o que determina maiores taxas de infiltração em relação aos solos mais argilosos onde comumente há uma maior concentração de poros capilares. Os macroporos são fundamentais para captar a água da chuva, mas para que esta água fique retida no perfil do solo é necessário que haja uma boa distribuição de poros capilares (PORTO *et al.*, 2011).

A taxa de infiltração também é afetada pela variação na textura do perfil do solo, que é determinada pelo conteúdo de areia grossa e fina, de silte e de argila. Na definição da classe textural do solo não se leva em conta o teor de matéria orgânica, porém ela é de extrema importância, não só na melhoria da capacidade de infiltração do solo, mas, principalmente, na elevação da capacidade de retenção de umidade do perfil de solo (PORTO *et*

*al.*, 2011). Conforme esses autores, a estrutura, por sua vez, está determinada pelo arranjo ou disposição das partículas do solo, caso em que as partículas não mais devem ser vistas individualmente, mas sim como estão estruturadas.

Um solo arenoso no qual apresenta maior teor de argila em camadas logo abaixo da superfície pode apresentar alta taxa inicial de infiltração até que haja a saturação da camada arenosa, assumindo a partir desse momento taxas menores, em virtude da maior concentração de argila (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Geralmente esse processo ocorre em solos, como os Argissolos, que apresentam características pedogenéticas de acúmulo de argila no horizonte B (Bt). Solos dessa natureza, geralmente, são susceptíveis aos processos erosivos. Sendo a camada superficial também argilosa, a taxa de infiltração inicial será menor, assim como sua variação durante a chuva. A taxa de infiltração diminui com o aumento do tempo, entretanto há um aumento da infiltração acumulada. Além disso, a capacidade de infiltração deve ser entendida como a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo em certo intervalo de tempo (PRUSKI, 2009).

A compactação do solo é outro fator que influencia a infiltração pela alteração no tamanho e continuidade dos poros, causando uma drenagem interna deficiente e também reduzindo o movimento de água no perfil do solo. Dependendo do tipo do solo, um pequeno aumento de sua densidade aparente causado pela compactação pode diminuir a taxa de infiltração em até 80% (CINTRA *et al.*, 1983).

Uma boa cobertura vegetal é a forma eficiente para melhorar a infiltração da água no solo e controlar a erosão. A parte aérea da vegetação protege o solo contra o impacto das gotas da chuva e dificulta o movimento da enxurrada. O sistema radicular confere ao solo maior resistência à desagregação e ao transporte de partículas, além de melhorar a capacidade de infiltração no solo (SILVA *et al.*, 2010).

Conhecer o regime pluviométrico, principalmente as características de intensidade, duração e frequência da chuva, é fator indispensável para o sucesso no planejamento conservacionista de uma região. Com a chuva menos intensa, a água tem tempo de se infiltrar e distribuir-se no solo.

Chuvas intensas saturam rapidamente as primeiras camadas do solo promovendo aumento do escoamento superficial (BAHIA *et al.*, 1992).

Chuva intensa é toda chuva cuja lâmina precipitada supera um valor mínimo, o qual é em função do tempo de duração da chuva. Valores elevados de precipitação ocorrem com menor frequência do que as menores precipitações. O tempo de retorno (TR) é a forma mais usual de expressar a frequência e pode ser entendido como o intervalo médio de tempo em anos necessários para que determinado evento seja igualado ou superado em pelo menos uma vez (SILVA, 1998).

Em regiões onde a distribuição de chuvas é concentrada em poucos meses do ano, a quantidade de eventos de grande intensidade geralmente é maior, e conseqüentemente mais alto é o índice de erosividade e os danos causados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993).

Chuvas intensas favorecem a desagregação do solo pelo impacto das gotas com alto potencial energético, promove a ocorrência do selamento superficial, reduz a infiltração do solo e, conseqüentemente, aumenta o escoamento superficial e a erosão do solo. Esses atributos tornam a intensidade o fator pluviométrico mais importante da chuva.

A umidade inicial do solo também interfere na infiltração. Em um solo seco, inicialmente a infiltração é alta, função do gradiente hidráulico total entre a água na superfície e a água no interior do solo. À medida que o solo umedece, esse gradiente diminui, reduzindo também a taxa de infiltração.

## **2.4 Escoamento superficial**

Parte do volume de água precipitada que chega a superfície é interceptada pela vegetação e o restante atinge o solo, causando umedecimento e redução das forças coesivas de seus agregados. Além de provocar a desagregação de partículas, que obstruem os poros do solo, o impacto das gotas tende a compactá-lo, ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo sua capacidade de infiltração. Quando a precipitação atinge o solo com intensidade menor do que sua capacidade de infiltração, toda a água é absorvida por ele, provocando



diminuição progressiva na própria capacidade de infiltração. Persistindo a precipitação, com o decorrer do tempo, a taxa de infiltração igualará à capacidade de infiltração do solo, tendendo a um valor estável definido como a condutividade hidráulica do solo saturado.

A partir do momento em que a intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial. A primeira parcela do escoamento superficial é destinada ao preenchimento das depressões existentes na superfície do solo; esgotada a capacidade de retenção superficial, a água inicia o processo de escoamento. Associado ao escoamento superficial, ocorre o desprendimento e o transporte de partículas do solo, as quais serão depositadas quando a velocidade da água escoada for reduzida (PRUSKI, 2009).

O escoamento superficial é uma das fases do ciclo hidrológico importante para efeitos da conservação do solo, armazenamento da água e regularização dos extremos de seca e cheia. Reduzir a energia associada à velocidade do escoamento superficial, de maneira que não haja transporte de sedimentos, é parte dos princípios utilizados para controle dos processos erosivos do solo.

Segundo Tucci (2002), normalmente a capacidade de infiltração de solo sob floresta é alta, o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Para solos com a superfície desprotegida de vegetação e que sofre ação da compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir drasticamente, resultando em maiores quantidades do escoamento superficial.

A energia associada ao escoamento superficial tende a aumentar com o comprimento da rampa, sendo o transporte de sedimentos tanto maior quanto mais longo for o comprimento da rampa (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Estudo mais recente sobre quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives, realizado por Inácio *et al.* (2007), demonstrou que o solo coberto por pastagem também é eficiente para proteger o solo quando comparado com solo descoberto e que há um aumento de perdas de partículas com o aumento da declividade. Esses resultados evidenciam e

corroboram as interpretações realizadas por Tucci (2002); Bertoni e Lombardi Neto (1990) acerca do escoamento superficial em solo na ausência e presença de cobertura vegetal.

## **2.5 Aspectos gerais relacionados às práticas conservacionistas**

As práticas conservacionistas são técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Pode-se complementar, conforme Pruski *et al.* (2006), que podem ser consideradas conservacionistas todas as práticas às quais os solos agrícolas são submetidos com o intuito de minimizar as perdas de solo e de água. Relata-se que o ideal é o uso simultâneo dessas práticas, uma vez que cada uma resolve parcialmente o problema da erosão.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) esclarecem que nem todos os solos podem ser terraceados com êxito. Nos solos pedregosos ou muito rasos, com subsolo adensado, é muito dispendioso e difícil manter o sistema de terraceamento em condições de funcionamento adequadas. As dificuldades de construção e manutenção aumentam à medida que cresce a declividade e irregularidade do terreno.

Pruski *et al.* (2006) chamam atenção para o fato de que as técnicas para conservação do solo e da água devem ser usadas com critério e responsabilidade por parte dos produtores e do poder público, pois, caso contrário, as perdas de solo podem ter seus valores aumentados e a capacidade de infiltração e armazenamento de água ser reduzida.

Em áreas agrícolas de pastagens e florestais, a prática conservacionista do terraceamento retém, infiltra ou ainda esco lentamente a água proveniente do terraço de montante ao terraço analisado, agindo no controle da erosão de uma determinada área (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

## **2.6 Práticas para conservação do solo e da água**

### **2.6.1 Práticas de caráter vegetativo**

As práticas de caráter vegetativo são aquelas em que se utiliza a vegetação para proteger o solo contra a erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Uma boa cobertura vegetal é a forma mais eficiente de controle da erosão. A parte aérea e os resíduos vegetais protegem o solo contra o impacto das gotas da chuva e dificulta o movimento da enxurrada. Já o sistema radicular proporciona ao solo maior resistência à degradação e ao transporte de partículas. As práticas vegetativas de controle da erosão podem ser usadas em associação com métodos mecânicos ou usadas isoladamente desde que observadas as características locais de solo e declividade, podendo ser bastante eficientes no controle da erosão (SILVA *et al.*, 2010). Como exemplo de práticas vegetativas para conservação do solo e da água, destacam-se: rotação de culturas, culturas em faixas de rotação e de retenção, pastagem bem conduzida, alternância de capinas, cobertura morta, reflorestamento e uso do solo dentro de sua capacidade de uso.

### **2.6.2 Práticas de caráter edáfico**

São práticas conservacionistas que, com modificações do sistema de cultivo, além do controle de erosão, mantêm ou melhoram a fertilidade do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

O controle da erosão não é suficiente para manter a fertilidade do solo, visto que também contribui para sua degradação, o consumo de elementos nutritivos pelas plantas, a combustão da matéria orgânica e a lixiviação pelas águas de percolação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Como exemplo de práticas edáficas, Silva *et al.* (2010) citam: controle do fogo, adubação verde, adubação química, correção do solo, adubação orgânica e quebra-vento.

Consoante Bertoni e Lombardi Neto (1990), as queimadas utilizadas nos desbravamentos de terras destroem grande parte da matéria orgânica que a

natureza levou anos para formar, sendo esses elementos imprescindíveis à integridade produtiva do solo. Alertam ainda para o fato que a queima de pastagens deve ser evitada ou pelo menos controlada. Tais queimadas de limpeza e renovação tornam o solo mineralizado, pobre em nitrogênio e matéria orgânica, depois de anos subsequentes dessa prática, pode-se observar mudança de vegetação nativa e diminuição da capacidade de suporte das pastagens.

### **2.6.3 Práticas mecânicas**

Segundo Griebeler *et al.* (2005b), as práticas mecânicas são aquelas nas quais são utilizadas estruturas artificiais para redução da energia do escoamento da água, sendo o terraceamento de terras agrícolas a prática mecânica mais difundida e utilizada.

#### **2.6.3.1 Aspectos conceituais de terraços**

Os terraços são sulcos ou valas construídas transversalmente à direção do maior declive do terreno, sendo construídos basicamente para reduzir a velocidade do escoamento superficial, ordenar o movimento da água sobre a superfície do solo, controlar a erosão e aumentar a umidade do solo (MIRANDA, 2004).

A palavra terraço é usada, em geral, para significar camalhão ou a combinação de camalhão e canal, construído em corte da linha de maior declive do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

O tipo adequado de terraço a ser implantado em determinada área deve ser escolhido com base na análise das características da chuva, quantidade, intensidade, duração e frequência, e do solo, profundidade, textura dos horizontes e permeabilidade (PRUSKI, 2009).

#### **2.6.3.2 Classificação quanto à função**

São classificados nos seguintes tipos:

**a)** Terraço de retenção, infiltração ou em nível: construído com o canal em nível e as extremidades bloqueadas, de modo que a água proveniente do escoamento superficial seja retida e infiltrada no canal (PRUSKI, 2009).

**b)** Terraço de drenagem ou gradiente: construído com canal em pequeno declive, acumulando o excedente de água e conduzindo-o para fora da área protegida (PRUSKI, 2009).

**c)** Terraço misto: construído com o canal em nível com capacidade de retenção do escoamento superficial. Após coletado o escoamento e preenchido o espaço de acumulação, esse passa a funcionar como terraço de drenagem (PRUSKI, 2009).

### **2.6.3.3 Classificação quanto à forma construtiva**

Podem ser do tipo Nichols ou Manghum. O terraço do tipo Nichols é construído movimentando a terra sempre de cima para baixo, formando um canal triangular. Pode ser construído em declividades de até 18% (MARTINS; BAHIA, 1998). Tem como desvantagem principal não ser possível o cultivo em seu camalhão. O equipamento mais recomendado para sua construção é o arado reversível, embora se tenha usado com frequência as motoniveladoras.

O terraço tipo Manghum é construído fazendo a movimentação de terra nos dois sentidos, ora para baixo ora para cima. Apresenta canal mais largo e raso com maior capacidade de armazenamento de água que o Nichols. Pode ser construído com arados fixos ou reversíveis e se adapta melhor em terrenos com pequenas declividades (PRUSKI, 2009).

### **2.6.3.4 Classificação quanto à faixa de movimentação de terra**

Terraço de base estreita: construído com movimentação de terra de até 3,0 metros de largura. Pode ser implantado em terrenos com declividades entre 12 e 18%, por isso tem o plantio sobre o terraço dificultado, podendo ser o cultivo feito de forma manual (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Terraço de base média: construído com movimentação de terra de 3 a 6 metros de largura, podendo ser cultivado em seu camalhão. Mais indicado a declividades entre 8 e 12% (PRUSKI, 2009).

Terraço de base larga: construído com movimentação de terra de 6 a 12 metros de largura. Recomendado em terreno suavemente ondulado e ondulado com declividades preferencialmente situadas entre 2 e 8%. Este tipo de terraço facilita a manutenção mecânica e o cultivo sobre o camalhão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

## **2.7 Critérios básicos no dimensionamento de sistema de terraceamento**

Para o dimensionamento de sistemas de terraceamento é preciso determinar três de suas variáveis: o espaçamento entre terraços, lâmina máxima de escoamento superficial e sua seção transversal (PRUSKI *et al.*, 2006).

Na literatura brasileira encontram-se diferentes metodologias para determinar o espaçamento entre terraços, sendo geralmente função da declividade do terreno e das características do solo. Destaca-se a metodologia de Bentley conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1980 citada por OLIVEIRA *et al.*, 1992) e a de (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

### **2.7.1 Espaçamento entre terraços**

#### **2.7.1.1 Metodologia de Bentley**

Na metodologia de Bentley, deve ser conhecido o tipo de solo, onde o sistema de terraceamento será implantado, e a declividade do terreno. O espaçamento vertical (EV) é calculado pela equação 1:

$$EV = (2 + D/X) \cdot 0,305 \quad (1)$$

em que:

EV – espaçamento vertical, em m;

D – declividade do terreno, em %;

X – fator dependente do solo e sua resistência à erosão, sendo: 2,5 para solos argilosos, 3,0 para solos textura média e 3,5 para solos arenosos;

0,305 – fator de ajuste.

O espaçamento horizontal (EH) é calculado pela equação 2:

$$EH = (EV/D) \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

EV – espaçamento vertical, em m;

D – declividade do terreno, em %.

### 2.7.1.2 Metodologia de Lombardi Neto

Lombardi Neto *et al.* (1994) desenvolveram metodologia mais completa que, além de considerar fatores relacionados ao relevo e ao solo, consideram ainda o seu uso e manejo, como mostra a equação 3:

$$EV = 0,4518 \cdot K \cdot D^{0,58} \cdot (U + M)/2 \quad (3)$$

em que:

EV – espaçamento vertical, em m;

K – parâmetro que depende do tipo de solo (varia de 1,25 associado à alta resistência à erosão a 0,75 à baixa resistência);

D – declividade do terreno, em %;

U – fator de uso do solo (variando de 0,50 a 2,00);

M – fator de manejo do solo (variando de 0,50 a 2,00).

Uma vez determinado o espaçamento vertical (EV), o espaçamento horizontal (EH) é obtido pela equação (2).

Em estudos econômicos na implantação de terraços realizados por Griebeler *et al.* (2000), obtiveram-se custos em torno de 35,0%, mais baixos quando utilizaram a metodologia proposta por Lombardi Neto *et al.* (1994) em relação com a proposta por Bentley.

## 2.7.2 Seção transversal do canal de terraço de retenção

A capacidade de armazenamento de um terraço de retenção está relacionada com a seção transversal, que deve ser dimensionada em função do volume de água que escoar sobre a superfície do solo (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Para a determinação correta da seção transversal do terraço de retenção, é necessário conhecer o volume máximo do escoamento superficial, conforme demonstram as equações 4 e 5 em função da geometria do terraço segundo a Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo - CODASP (1994 citada por PRUSKI, 2009).

### 2.7.2.1 Terraço de retenção com seção triangular

$$H = \sqrt{((ES \cdot EH \cdot S_t \cdot S_m)/500 \cdot (S_t + S_m))} \quad (4)$$

em que:

H – altura da água acumulada no canal, em m;

ES – escoamento superficial, em mm;

$S_t$  – declividade do terreno, em  $m \cdot m^{-1}$ ;

$S_m$  – declividade da parede de jusante do terraço, em  $m \cdot m^{-1}$ .

### 2.7.2.2 Terraço de retenção com seção trapezoidal

$$H = (-B + \sqrt{(B^2 + (4 \cdot ES \cdot EH)/1000 \cdot S_d)}) / (2/S_d) \quad (5)$$

em que:

H – altura da água acumulada no canal, em m;

B – largura do fundo do canal, em m;

ES – escoamento superficial, em mm;

EH – espaçamento horizontal, em m;

$S_d$  – declividade do talude de jusante do canal do terraço, em  $m \cdot m^{-1}$ .



### 2.7.3 Escoamento superficial

Pruski *et al.* (1997) desenvolveram metodologia para determinar a lâmina máxima do escoamento superficial em localidades em que a equação da intensidade, duração e frequência da precipitação são conhecidas. Para determinação da lâmina máxima de escoamento superficial, é utilizado o balanço da água na superfície do solo, conforme equação 6:

$$ES = PT - I_a - I - E_v \quad (6)$$

em que:

ES – lâmina de escoamento superficial máximo, em mm;

PT – precipitação total, em mm;

$I_a$  – abstrações iniciais, em mm;

$I$  – infiltração acumulada, em mm;

$E_v$  – evaporação, considerada nula, em mm.

#### 2.7.3.1 Precipitação total

A precipitação total, correspondente a uma duração  $t$ , em minutos, será obtida pela equação 7:

$$PT = (im \cdot t)/60 \quad (7)$$

em que:

PT – precipitação total, em mm;

$im$  – intensidade de precipitação máxima média, em  $mm \cdot h^{-1}$ ;

$t$  – tempo de duração da chuva, minutos.

#### 2.7.3.2 Abstrações iniciais

As abstrações iniciais expressam a parcela da precipitação ocorrida até o início do escoamento superficial e dependem da interceptação, do

armazenamento em depressões e da infiltração que antecede o escoamento superficial. Os valores das abstrações iniciais são determinados pelo método do número da curva, utilizando-se a equação 8:

$$I_a = 50,8 \cdot (100/CN - 1) \quad (8)$$

em que:

$I_a$  - abstrações iniciais, em mm;

CN - número da curva que define o complexo hidrológico solo-vegetação, adimensional.

### 2.7.3.3 Intensidade de precipitação máxima média

Para determinação da intensidade de precipitação máxima média, é utilizada a equação de intensidade, duração e frequência, conforme demonstra a equação 9:

$$I_m = K \cdot T^a / (t + b)^c \quad (9)$$

em que:

$I_m$  – intensidade de precipitação máxima média, em  $\text{mm h}^{-1}$ ;

$T$  – período de retorno, em anos;

$t$  – tempo de concentração, em minutos;

$K, a, b, c$  – parâmetros relativos à localidade.

### 2.7.4 Informações complementares

Os parâmetros climáticos da equação de chuvas intensas podem ser determinados para grande número de localidades brasileiras através do *software* Plúvio 2.1 desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - GPRH do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e está disponível em [www.ufv.br/dea/gprh](http://www.ufv.br/dea/gprh).

Para terraços construídos em nível, toda água escoada deverá ficar retida para posterior infiltração. Assim, a altura que o camalhão do terraço deve apresentar é em função do volume de água gerado pelo escoamento superficial. Pruski *et al.* (1997) desenvolveram um modelo para obtenção da lâmina de escoamento superficial que permite a obtenção do volume do escoamento a ser retido por terraços construídos em nível. Griebeler *et al.* (2001) realizaram comparações entre os resultados por este modelo e aqueles observados no campo, obtendo-se coeficientes de correlação 0,97 de diferença percentual média de 1,7. Denardin *et al.* (1998) obtiveram resultados satisfatórios ao utilizar o modelo proposto por Pruski *et al.* (1997) no terraceamento em área cultivada sob plantio direto, mesmo sob condições de precipitação intensas.

Estudos realizados por Griebeler *et al.* (2005b) revelaram que a altura dos terraços é variável em função da área de contribuição do escoamento para cada terraço e do seu comprimento, pois, para uma mesma área, porém com terraço de maior comprimento, a altura do camalhão pode ser menor, em virtude da maior capacidade para acúmulo de água. Observou-se ainda que maiores taxas de infiltração no solo proporcionam menores alturas aos camalhões dos terraços, uma vez que a lâmina escoada também é menor. Ainda ressalta-se que formas de manejo que favorecem a infiltração, reduzem os riscos de erosão.

Estudando modelos para determinação de espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas, Griebeler *et al.* (2005a) concluíram que solos mais resistentes, notadamente com menos erodibilidade e maior valor de tensão crítica, apresentam maiores espaçamentos entre os desaguadouros. Todavia, o aumento da declividade do terreno traduziu a uma redução desse espaçamento. Analogicamente podem-se associar esses resultados a estudos que visam à implantação de sistemas de terraceamento por se tratar de parâmetros semelhantes aos dois objetivos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Identificação e caracterização de áreas

As avaliações ocorreram no início do período seco nos meses de abril a junho de 2011, em terraços de retenção do tipo Nichols de base média. O estudo foi realizado em sistemas de terraceamento implantados há menos de um ano em três sub-bacias hidrográficas localizadas no Norte de Minas Gerais nos municípios de Icaraí de Minas, Pintópolis e Ubaí–MG, onde se avaliaram duas áreas por município.

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo de clima predominante na área em estudo é o Aw, caracterizado pela existência de uma estação seca, bem acentuada no inverno, tendo pelo menos um mês com precipitação inferior a 60 mm, em que a temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C (ANTUNES, 1994).

Os terraços identificados para estudos estão localizados em áreas terraceadas sob coordenadas geográficas como segue:

Icaraí de Minas:

Área 01: 16° 08' 09" S e 44° 41' 34" W;

Área 02: 16° 08' 17" S e 44° 41' 32" W,

Pintópolis:

Área 01: 16° 03' 05" S e 45° 09' 14" W;

Área 02: 16° 02' 55" S e 45° 09' 15" W.

Ubaí:

Área 01: 16° 24' 01" S e 44° 51' 40" W;

Área 02: 16° 24' 02" S e 44° 51' 51" W.

No município de Icaraí de Minas, os terraços foram construídos em solo classificado com predominância do Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média, declividade média de 6%, sendo construídos com motoniveladora. A cultura predominante nessas duas áreas identificadas foi a pastagem de braquiária (*Brachiária ssp.*), tendo como preparo inicial do solo a gradagem realizada com o uso da grade aradora pesada.

Para o município de Pintópolis, o solo predominante também foi o Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média, declividade média 3%, cujos terraços foram construídos por motoniveladora. A cobertura vegetal é composta por braquiária, cujo preparo inicial do solo também foi realizado com uso de grade aradora pesada.

Já no município de Ubaí, os terraços foram construídos em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, declividade média de 4%, com trator de pneus acoplado ao arado de 03 discos. A cultura predominante nas áreas identificadas foi a pastagem de capim-andropogom (*Andropogon gayanus*), tendo como preparo inicial do solo a gradagem realizada com o uso da grade aradora pesada.

### **3.2 Determinação de dados**

#### **3.2.1 Classe textural**

Foram coletadas de forma aleatória três amostras de solo com trado tipo holandês na camada de 0 a 20 cm de profundidade em cada área pré-estabelecida e à montante da curva média de cada sistema de terraceamento. Essas amostras foram misturadas e encaminhadas para laboratório de análises de solo da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Regional de Montes Claros onde se determinaram as frações argila, silte e areia do solo sendo feita em seguida sua classificação textural.

#### **3.2.2 Taxa de infiltração da água no solo**

A infiltração acumulada de água no solo foi determinada pelo método do infiltrômetro de anel instalado de forma concêntrica, na vertical, e enterrado 15 cm no solo (FIG. 1), sendo representada pela equação do tipo potencial descrito por Kostiaikov. Foram usados intervalos de tempo variando de 5 a 120 minutos com a infiltração vertical da água medida no interior do cilindro interno. A altura da lâmina nos anéis foi de 5 cm, com variação máxima de 2 cm. Para cada área à montante da curva média, obteve-se a

taxa de infiltração acumulada da água no solo pela média de três pontos determinados de forma aleatória. Já a taxa de infiltração estável foi determinada pela derivada da equação da infiltração acumulada em relação ao tempo conforme apresenta Bernardo *et al.* (2008).



**FIGURA 1** - Representação do infiltrômetro de anel para determinar a infiltração acumulada da água no solo

**Fonte:** ARQUIVO PESSOAL, 2011.

### 3.2.3 Área de contribuição para formação do escoamento superficial

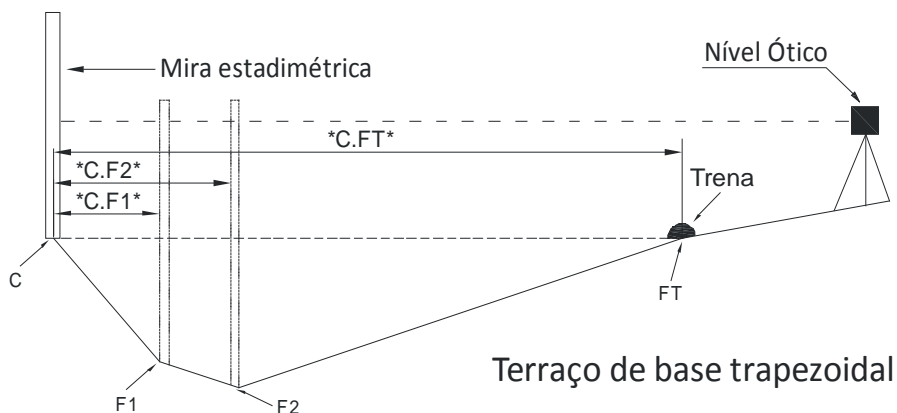
O levantamento da área de contribuição, para formação do volume proveniente do escoamento superficial entre o terraço médio e o de montante, foi obtido com uso da trena métrica. Foi considerando o produto entre a medida do comprimento do terraço avaliado e a distância média de três leituras, tomadas de forma equidistante entre as duas curvas, nas quais foi considerada a variação do relevo (FIG. 2).



**FIGURA 2** - Área de contribuição para formação do escoamento superficial  
Fonte: HIDROS, 2006.

### 3.2.4 Perfil da seção transversal

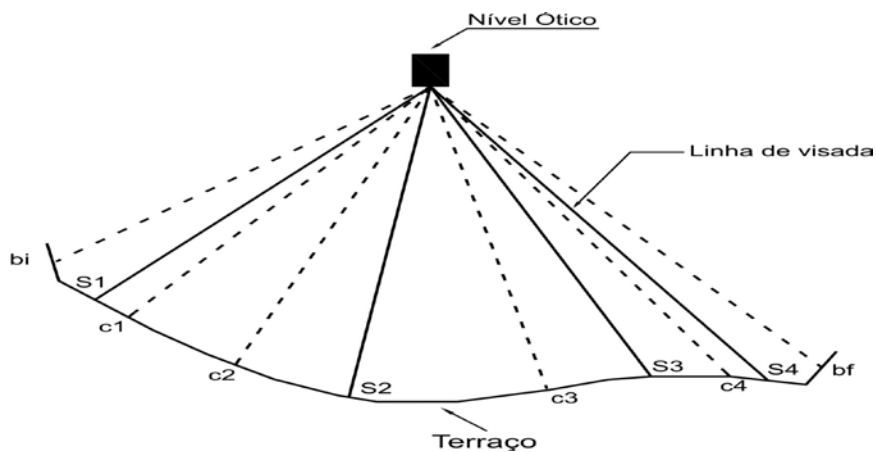
O perfil da seção transversal foi traçado na curva média de cada sistema de terraceamento pré-identificado por município, onde, com o uso do nível ótico e da mira estadimétrica, foi delineado o perfil da seção em quatro pontos equidistante dentro de cada curva ao longo do terraço. Para cada seção, determinaram-se cotas perpendiculares em cada perfil por meio de quatro leituras que acompanharam a forma geométrica do canal, tendo seu início na crista do camalhão e término no ponto de igual altura em direção ao terraço de montante (FIG. 3).



**FIGURA 3** - Representação esquemática do perfil transversal de terraço, onde C é a cota da crista,  $F_1$  e  $F_2$  são cotas do fundo, FT a cota do fim,  $C - F_1$ ,  $C - F_2$ ,  $C - FT$  as distâncias horizontais a cada ponto

Fonte: PRUSKI, 2009.

Para identificar o ponto mais baixo da crista do camalhão (altura crítica) e da cota das extremidades, realizaram-se diversas leituras ao longo da crista do terraço e nas suas respectivas extremidades (FIG. 4).



**FIGURA 4** - Representação esquemática do levantamento de dados de um terraço, onde S representa pontos onde foram feitos os perfis das seções transversais, C pontos da crista, bi e bf os pontos das extremidades

Fonte: PRUSKI, 2009.



### 3.2.5 Lâmina de escoamento superficial

Na determinação do escoamento superficial máximo para cada localidade onde a relação entre intensidade, duração e frequência da chuva é conhecida, foi usada a metodologia proposta por Pruski *et al.* (1997). Essa metodologia está baseada em fundamentos físicos da engenharia, no balanço da água na superfície do solo e na premissa de que o solo se encontra com umidade próxima à saturação no momento da chuva de projeto. Para permitir o uso desse procedimento e processar as informações, foi utilizado o modelo computacional HIDROS desenvolvido por Pruski *et al.* (2006).

A entrada de dados para localização do terraço e a determinação da lâmina do escoamento, foi feita através de coordenadas geográficas obtidas com uso do GPS.

### 3.2.6 Capacidade de armazenamento necessária e efetiva

O modelo físico-matemático utilizado para cálculo de parâmetros relevantes aos terraços de absorção possibilitou a obtenção da relação cota versus volume para o cálculo da capacidade efetiva e obtenção da capacidade necessária de armazenamento.

#### 3.2.6.1 Capacidade de armazenamento necessária

Depois de obtidos os dados relativos às distâncias médias entre dois terraços e seu respectivo comprimento, a área de contribuição é calculada pela equação 10:

$$A_c = D_m \cdot L_t \quad (10)$$

em que:

$A_c$  – área de contribuição para formação do escoamento superficial, em  $m^2$ ;

$D_m$  – distância média entre terraços, em m;

$L_t$  – comprimento do terraço, em m.

O volume de armazenamento necessário é dado pela equação 11:

$$V_n = ES \cdot A_c \quad (11)$$

em que:

$V_n$  – volume de armazenamento teórico necessário, em  $m^3$ ;

ES – escoamento superficial produzido, em m;

$A_c$  – área de contribuição, em  $m^2$ .

### 3.2.6.2 Capacidade de armazenamento efetiva

A área de cada perfil da seção transversal medida foi calculada com base nas cotas levantadas e suas respectivas distâncias horizontais. A partir das cotas medidas entre as extremidades dos terraços e do ponto mais baixo da crista do camalhão, determinou-se a área molhada da seção do canal.

Com o cálculo da área em quatro seções transversais estipulada de forma equidistante, obteve-se a média representativa da seção transversal do canal do terraço, permitindo assim a estimativa da capacidade efetiva de armazenamento de água no terraço pela equação 12:

$$V_e = A_m \cdot L_t \quad (12)$$

em que:

$V_e$  – volume de armazenamento efetivo, em  $m^3$ ;

$A_m$  – área média molhada da seção do canal do terraço, em  $m^2$ ;

$L_t$  – comprimento do terraço, em m.

### 3.2.7 Avaliação da capacidade de armazenamento do terraço

Para determinar os valores da capacidade necessária e efetiva de armazenamento de água nos terraços de absorção e suas respectivas

eficiências, foi usado o modelo computacional TERRALTIM 1.0 desenvolvido por Miranda *et al.* (2008), com a equação 13:

$$E_f = V_e/V_n \cdot 100 \quad (13)$$

em que:

$E_f$  – eficiência de armazenamento do terraço, em %;

$V_e$  – Volume de armazenamento efetivo, em m<sup>3</sup>;

$V_n$  – Volume de armazenamento teórico necessário, em m<sup>3</sup>.

Os resultados da eficiência de armazenamento são classificados segundo padrões a seguir:

A -  $V_e/V_n$  maior ou igual a 100% e cota mais baixa da crista do camalhão acima do bigode, terraço adequado;

B -  $V_e/V_n$  maior ou igual a 100% e cota mais baixa da crista do camalhão abaixo do bigode, terraço inadequado;

C -  $V_e/V_n$  menor que 100% e cota mais baixa da crista do camalhão acima do bigode, terraço inadequado;

D -  $V_e/V_n$  menor que 100% e cota mais baixa da crista do camalhão abaixo do bigode, terraço inadequado.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

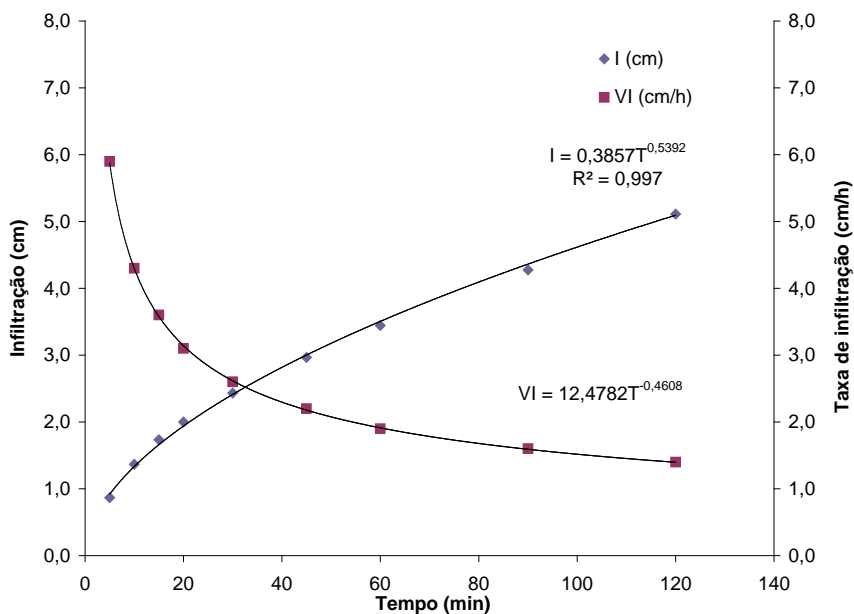
### 4.1 Taxa de infiltração da água no solo

As taxas de infiltração de água no solo para o município de Icarai de Minas estão representadas respectivamente pelos GRAF. 1 e 2. Ambas as áreas caracterizam-se por apresentarem textura média (TAB. 1), com taxa de infiltração estável 1,4 e 2,1 cm h<sup>-1</sup>. Maiores teores de areia fina associada com as frações de silte e argila distribuída no perfil do solo (TAB. 1) podem ter influenciado na dinâmica de infiltração da água nesses solos, determinando valores para taxa de infiltração inicialmente alta com redução gradativa ao longo do tempo. O solo da área 02 inicialmente apresentou maior taxa de infiltração inicial 8,2 cm h<sup>-1</sup> quando comparado com o solo da área 01 com 5,9 cm h<sup>-1</sup>. É possível que este fato se deva a uma maior proporção de areia grossa nas camadas iniciais do solo, o que possibilita uma maior presença de macroporos e maiores taxas de infiltração. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), um solo arenoso no qual apresenta maior teor de argila em camadas logo abaixo da superfície pode apresentar alta taxa inicial até que haja a saturação da camada arenosa, assumindo, a partir desse momento, taxas de infiltração menores, em virtude da maior concentração de argila. Considerando a infiltração acumulada em 5,1 e 6,7 cm para os solos das áreas 01 e 02, constata-se que este último possui uma melhor capacidade de drenagem quando comparado com o primeiro, sendo uma característica desejável em terraços de absorção.

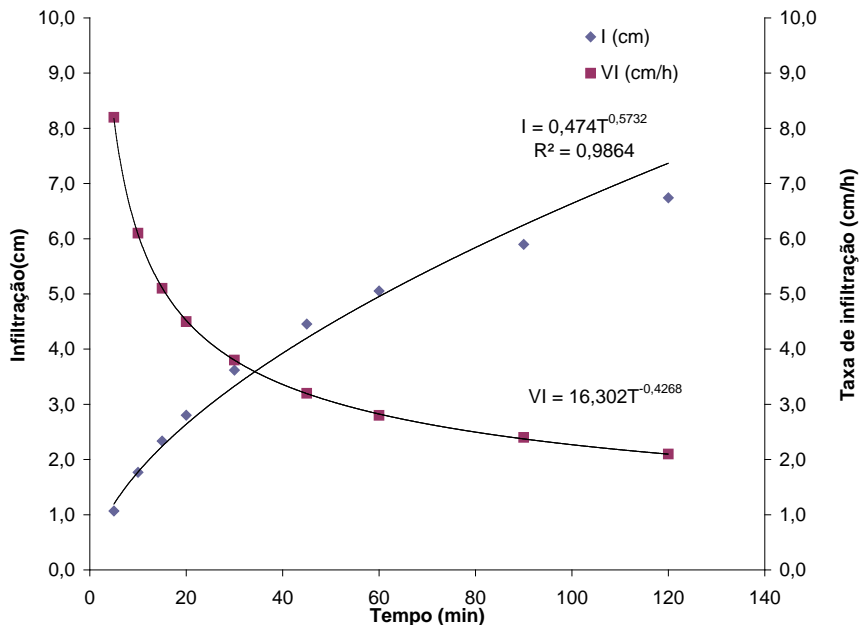
TABELA 1

Textura e fração de areia, silte e argila do solo na profundidade de 0 a 20 cm em  $\text{dag kg}^{-1}$ .

Fração do solo	Icarai de Minas		Pintópolis		Ubaí	
	Área 01	Área 02	Área 01	Área 02	Área 01	Área 02
Areia grossa	22,80	27,80	26,50	38,50	13,00	15,50
Areia fina	55,20	50,20	38,50	31,50	76,00	71,50
Silte	6,00	8,00	12,00	10,00	4,00	5,00
Argila	16,00	14,00	23,00	20,00	7,00	8,00
Textura	Média	Média	Média	Média	Arenosa	Arenosa



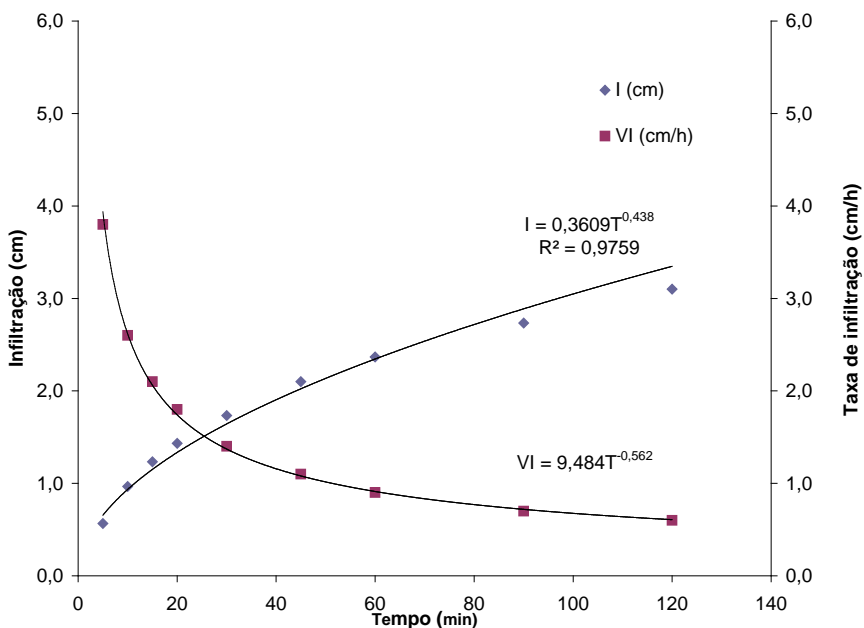
**GRÁFICO 1** - Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 01 do município de Icarai de Minas



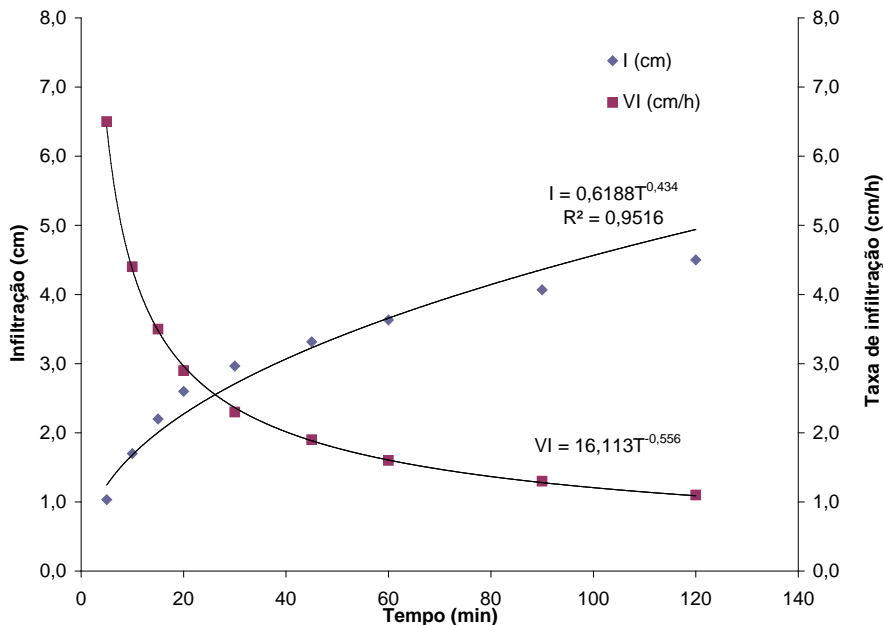
**GRÁFICO 2** - Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 02 do município de Icaraí de Minas

A infiltração acumulada e a taxa de infiltração estável para as duas áreas estudadas no município de Pintópolis estão representadas pelos GRAF. 3 e 4. Dentre os municípios estudados, essas duas áreas apresentaram os menores valores para infiltração acumulada e taxas de infiltração. Esses solos apresentam maior concentração das frações silte e argila no perfil, o que pode indicar uma maior presença de microporos. Mesmo sendo esses solos classificados como de textura média, apresentam como característica marcante a variação textural no perfil do solo pela concentração de argilas nas camadas inferiores, tendo por consequência uma redução nas taxas de infiltração de água no solo. Essa é uma característica comum aos Argissolos como descrito anteriormente. Ainda analisando essas duas áreas, nota-se que a área 01 apresentou menores valores de infiltração que a área 02 e, portanto, representa as menores taxas do estudo sendo obtido  $0,6 \text{ cm h}^{-1}$  para taxa de infiltração estável e  $3,1 \text{ cm}$  para infiltração acumulada. Esses valores são influenciados pela maior concentração dos teores da fração silte e argila nesse solo.

Normalmente solos de textura fina, com maior teor de argila, apresentam maior proporção de microporos e taxas de infiltração inferiores (BRANDÃO *et al.*, 2010). Ainda segundo esses autores, o aumento da proporção de silte reduz a infiltração, uma vez que esta fração possui baixa potencialidade em formar agregado e apresenta relativamente pequeno diâmetro (0,002 a 0,05 mm), sendo facilmente deslocado para camadas inferiores do solo, onde causa entupimentos dos poros.



**GRÁFICO 3** - Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 01 do município de Pintópolis



**GRÁFICO 4** - Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 02 do município de Pintópolis

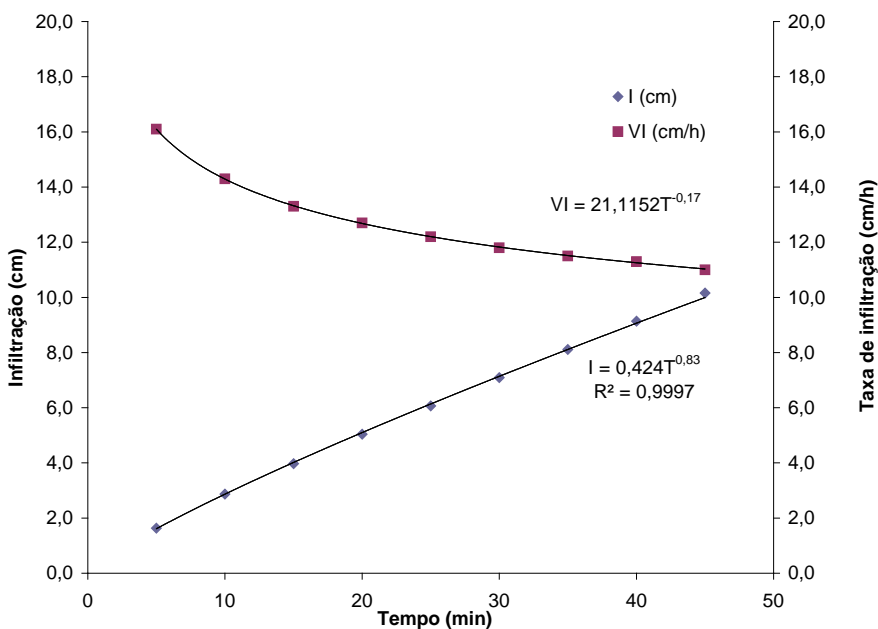
Diferentemente das áreas estudadas nos municípios de Icarai de Minas e Pintópolis, as duas áreas do município de Ubaí demonstraram textura arenosa e comportamento hidráulico diferentes. Influenciado principalmente pela textura, essas áreas apresentaram altas taxas inicial e final para infiltração acumulada e infiltração estável (GRAF. 5 e 6). A área 01 revelou infiltração acumulada de 10,2 cm e 11,0 cm h<sup>-1</sup> para taxa de infiltração estável, já a área 02, com infiltração de 12,2 cm e taxa de 19,0 cm h<sup>-1</sup>, representa os maiores valores para estes parâmetros nos solos estudados.

A textura arenosa dos solos favorece uma maior presença de microporos e influenciam determinadamente o comportamento hidráulico das áreas Brandão *et al.* (2010), o que torna esses fatores primordiais para as altas taxas de infiltração encontradas. Solos arenosos geralmente apresentam maior quantidade de macroporos, o que determina maiores taxas de infiltração em relação aos solos mais argilosos, onde geralmente há maior presença de microporos (BRANDÃO *et al.*, 2010). Ainda consoante esses autores, a textura e a estrutura são determinantes da quantidade, forma e

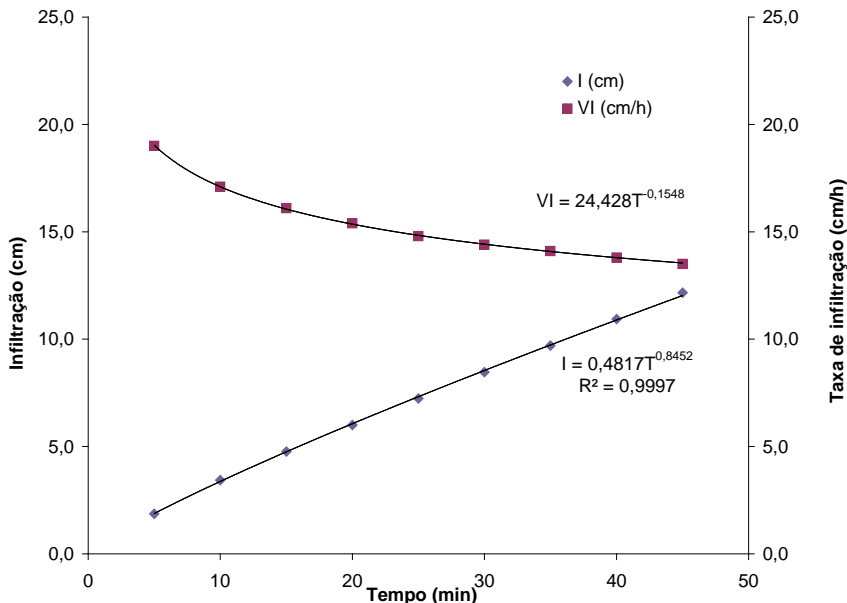


continuidade dos macroporos, características físicas que influenciam mais expressivamente a condutividade hidráulica e a estabilidade dos agregados.

A maior proporção de areia grossa no perfil do solo da área 02 determina uma maior taxa de infiltração inicial quando comparado com a área 01. A taxa de infiltração também é afetada pela variação da textura do perfil, tamanho e a disposição dos espaços porosos. Em solos arenosos, com grandes espaços porosos, pode-se esperar mais alta taxa de infiltração que nos siltosos e argilosos, que têm relativamente menores espaços porosos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).



**GRÁFICO 5** - Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 01 do município de Ubaí



**GRÁFICO 6** - Infiltração acumulada e taxa de infiltração estável na área 02 do município de Ubaí

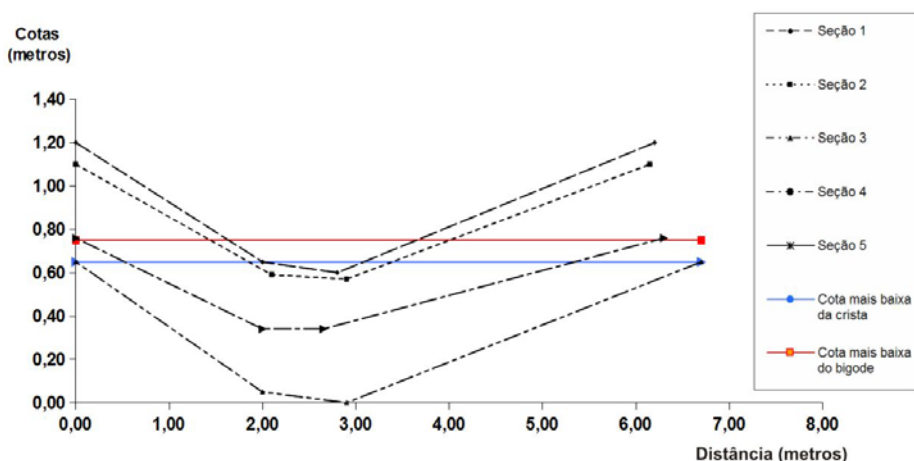
#### 4.2 Seções do canal e eficiência de terraço

Terraços construídos no município de Icaraí de Minas, áreas 01 e 02, estão representados pelos GRÁF. 7 e 8, respectivamente. As seções de terraço da área 01 apresentam irregularidade principalmente quanto a sua cota de crista e da profundidade. A maior diferença na profundidade identificada é de 0,60 m entre a seção 1 e 3, enquanto que a seção 1 com 1,20 m e a seção 3 com 0,65 m representam a maior diferença de cotas de crista do terraço. A inclinação de taludes à jusante e à montante é suave, revelando uma boa capacidade de armazenamento, o que pode ser demonstrado pela área real média calculada em 1,93 m<sup>2</sup> (TAB. 2). A cota mais baixa da crista, 0,65 m, combinada com a cota da extremidade, 0,75 m, limita a capacidade de armazenamento da água no terraço a 142,8 m<sup>3</sup>. A área real média encontrada no campo é maior que a área necessária média (TAB. 2), o que representa uma superestimação entre as seções de 175,5%.

Dentre os dados apresentados, a maior eficiência foi obtida por esse sistema de terraços, 76,4% (TAB. 3). Apesar de apresentar variação,

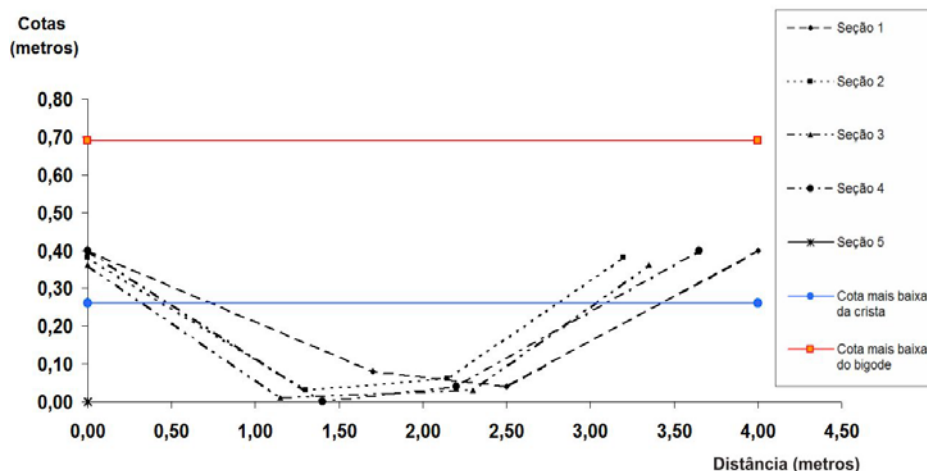
principalmente na profundidade e na altura da crista, a associação entre as alturas do ponto mais baixo da crista, 0,65 m, com a cota da extremidade em 0,75 m, apesar de não atingir a diferença mínima recomendada, 0,15 m, segundo Pruski (2009), propiciou menor variação entre seus volumes efetivo e necessário (TAB. 3) alcançando a melhor eficiência. Considerando esses valores, é possível verificar que 23,6% da sua seção transversal está inoperante, o que corresponde a um volume de água não armazenado de 44,2 m<sup>3</sup>.

### Seções do canal do Terraço



**GRÁFICO 7** - Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 01 do município de Icaraí de Minas

## Seções do canal do Terraço



**GRÁFICO 8** - Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 02 do município de Icarai de Minas

**TABELA 2**

Área necessária ( $A_n$ ), área real ( $A_r$ ), e área efetiva ( $A_e$ ), em  $m^2$  para terraços avaliados no município de Icarai de Minas, Pintópolis e Ubai

Município	Área		01			02	
	Seção	$A_n$	$A_r$	$A_e$	$A_n$	$A_r$	$A_e$
Icarai de Minas	1	1,10	2,0	0,03	0,87	0,80	0,35
	2	1,10	1,8	0,08	0,87	0,70	0,35
	3	1,10	2,4	2,40	0,87	0,80	0,46
	4	1,10	1,5	0,85	0,87	0,90	0,41
	Média	1,10	1,93	0,84	0,87	0,80	0,39
Pintópolis	1	2,10	1,20	0,14	1,70	2,40	0,93
	2	2,10	1,10	0,53	1,70	2,45	0,94
	3	2,10	1,70	0,02	1,70	2,70	1,03
	4	2,10	1,30	0,05	1,70	3,00	1,42
	Média	2,10	1,33	0,19	1,70	2,64	1,08
Ubai	1	0,05	3,70	0,67	0,04	2,40	0,02
	2	0,05	2,60	0,70	0,04	2,00	0,04
	3	0,05	3,20	0,52	0,04	1,80	0,13
	4	0,05	3,0	0,80	0,04	1,80	0,24
	Média	0,05	3,1	0,67	0,04	2,00	0,11

A área 02 apresenta maior uniformidade entre as seções, com maior discrepância para seção 1, proporcionada pela menor inclinação no talude a jusante. De forma geral, as quatro seções apresentam suavidade na

inclinação dos taludes, representando uma capacidade média real unitária de armazenamento de  $0,80 \text{ m}^3$ .

Analisando a diferença de  $0,04 \text{ m}$  obtida entre a maior profundidade da seção 1 e 4 iguais em  $0,40 \text{ m}$  para a seção 3 com  $0,36 \text{ m}$ , evidencia-se uma boa uniformidade desse parâmetro. A maior cota de crista está representada simultaneamente pela seção 1 e seção 4, em  $0,40 \text{ m}$ , enquanto que a menor cota está indicada pela seção 3. A combinação desses parâmetros propiciou à seção 4 uma maior área transversal real,  $0,9 \text{ m}^2$ , e uma menor área para seção 2, com  $0,70 \text{ m}^2$ , o que não se confirmou para seção 3. A área real média da seção do terraço,  $0,80 \text{ m}^2$ , é menor que a área necessária para o armazenamento,  $0,87 \text{ m}^2$ , representando  $92,9\%$  do seu valor, o que evidencia um subdimensionamento em  $7,1\%$ . A cota mais baixa da crista,  $0,26 \text{ m}$ , limita a capacidade de armazenamento da água no terraço, enquanto que a cota da extremidade, em  $0,69 \text{ m}$ , não representa uma limitação, mas deveria, como fator de segurança, estar posicionada em, no mínimo,  $0,15 \text{ m}$  abaixo da menor cota da crista.

Apesar de esses terraços apresentarem maior uniformidade entre as seções, isso não se reflete na sua melhor qualidade, visto que atingiu apenas  $44,8\%$  de eficiência. Para esse sistema de terraços, a baixa eficiência encontrada está associada, principalmente, à pequena altura de crista encontrada ao longo do terraço com apenas  $0,26 \text{ m}$ ; sendo, então, responsável pela baixa capacidade de armazenamento de água no interior do canal. Além de estar associada a esta baixa eficiência, contribui para que  $55,2\%$  da sua seção transversal sejam inoperantes, correspondendo a um volume de água não armazenado de  $108,48 \text{ m}^3$ .

TABELA 3

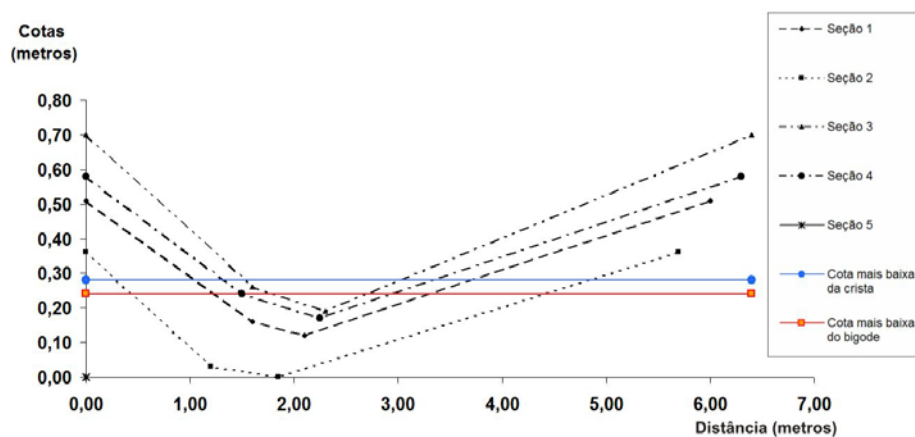
Volume de armazenamento necessário (Vn), volume efetivo (Ve), em m<sup>3</sup> e a eficiência, em (%) de terraços nos municípios de Icarai de Minas, Pintópolis e Ubaí

Município	Área 01		Área 02	
	Volume	Vn	Ve	Vn
	187,00		142,80	196,62
Icarai de Minas	Ef(%) (Ve/Vn)	76,40		44,80
	840,00		76,00	685,10
Pintópolis	Ef(%) (Ve/Vn)	9,00		63,5
	14,50		194,30	8,00
Ubaí	Ef(%) (Ve/Vn)	1.340,00		275,00

Terraços construídos no município de Pintópolis, áreas 01 e 02, estão representados pelos GRÁF. 9 e 10. A área 01 apresenta desuniformidade entre as quatro seções estudadas, principalmente entre os valores de cotas de crista e de profundidade, sendo a seção 2 a que mais contribui para esse fato. Nota-se uma maior variação em alturas de crista, o que ocorre entre as seções 4 e 2, com 0,70 e 0,36 m, respectivamente, indicando uma diferença de 0,34 m. A profundidade dos canais apresenta uma variação de 0,18 m, sendo o maior valor correspondente à seção 3, com 0,50 m, e o menor na seção 2, com 0,32 m. Valores de profundidade, associados à largura, possibilitam o cálculo de áreas reais transversais de seções, com os quais a seção 3 apresenta maior área de seção e a 2 com menor área, representando uma diferença de 0,60 m<sup>2</sup>. Para as quatro seções há uma menor inclinação do talude de jusante em relação ao de montante. Esse fato, associado ao comprimento de base reduzido, determina uma menor disponibilidade de área na seção dos terraços. Como a área média real transversal de 1,33 m<sup>2</sup> é menor que a média necessária de 2,1 m<sup>2</sup>, representando 63,3% do seu valor, demonstra-se seu subdimensionamento em 36,7%. A cota da extremidade na altura 0,24 m, associada à cota mais baixa da crista, 0,28 m, limita a capacidade de armazenamento de água no interior do terraço em 76,0 m<sup>3</sup>.

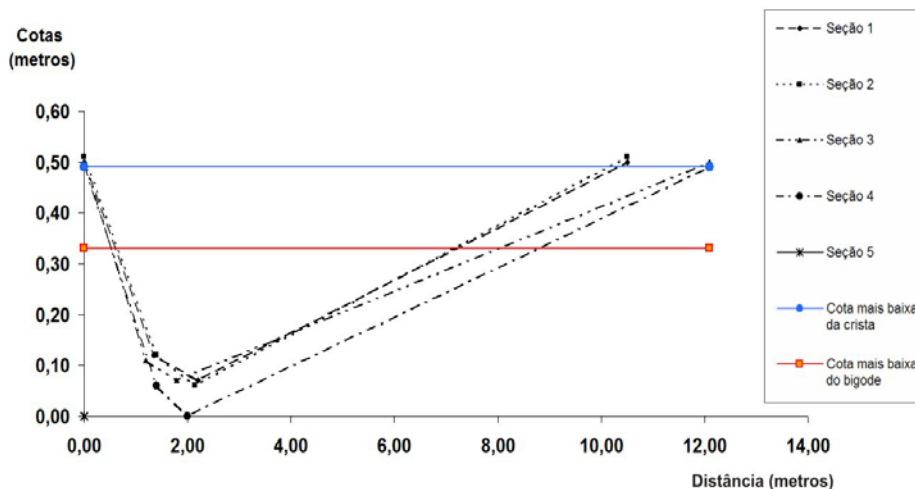
Dentre as eficiências calculadas, essa área representa o sistema de terraceamento com a menor eficiência (9,0%). Essa baixa eficiência obtida está relacionada às pequenas alturas de cotas encontradas para a extremidade e para o ponto mais baixo ao longo da crista do terraço. Esses fatores são determinantes para que haja uma maior diferença entre o volume efetivo de armazenamento e o volume necessário. Essa variação expressa sua baixa eficiência, mantendo 91,0% de sua seção inoperante, correspondendo a um volume de água não armazenado de 764,0 m<sup>3</sup>.

### Seções do canal do Terraço



**GRÁFICO 9** - Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 01 do município de Pintópolis

## Seções do canal do Terraço



**GRÁFICO 10** - Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 02 do município de Pintópolis

Na área 02, nota-se uma melhor uniformidade entre as seções construídas, sendo que a seção 4 é a que mais se afasta das demais, principalmente quanto a sua profundidade. A variação entre as profundidades dos canais é de 0,12 m, proporcionada pela maior profundidade do canal da seção 4, e pela menor profundidade da seção 1. O cálculo de áreas reais de terraços é também influenciado por esses parâmetros, demonstrando uma maior área para seção 4, e menor área para seção 1. A conformação geral das seções está condicionada à inclinação dos taludes, sendo, nesse caso, mais influenciada pela inclinação do talude à jusante. A área média real dos terraços, 2,64 m<sup>2</sup>, em relação à média necessária, 1,70 m<sup>2</sup>, representa 155,3% do seu valor, evidenciando seu sobredimensionamento em 55,3%. A cota da extremidade em 0,33 m é o principal limitante da capacidade de armazenamento do terraço. Nesse caso, a cota da crista, praticamente, não influencia nesta capacidade de armazenamento devido a sua boa uniformidade construtiva obtida ao longo de todo o terraço.

Esses terraços apresentaram uma eficiência de 63,5%, sendo maior que as eficiências encontradas para Pintópolis área 01, e Icaraí de Minas



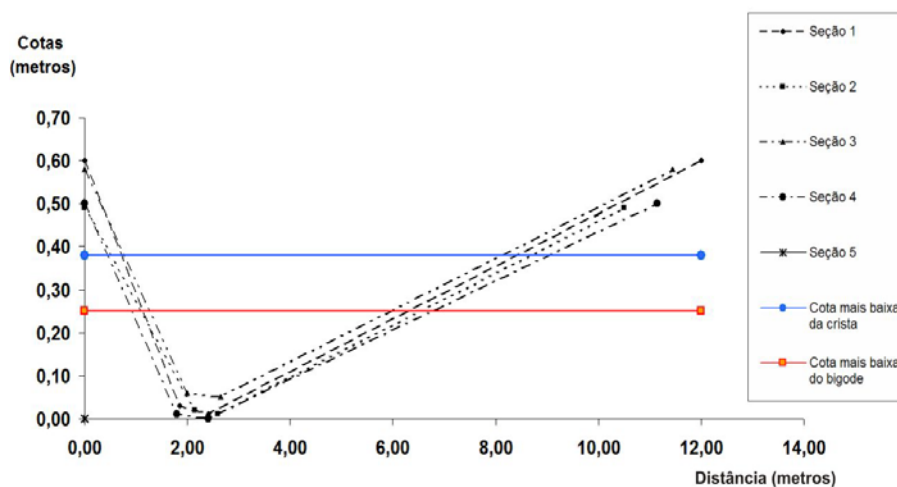
área 02, mas inferior a Icarai de Minas área 01. Essa eficiência é proporcionada pela boa uniformidade entre as seções de canal e por apresentar uma maior altura encontrada na crista do terraço identificada como sendo o local mais baixo, com 0,49 m. Neste caso a cota da extremidade posicionada a uma altura de 0,33 m é o fator crítico na limitação de sua eficiência. Para esses terraços, 36,5% da sua seção transversal está inoperante, correspondendo a 249,86 m<sup>3</sup> de água não armazenada.

Terraços construídos no município de Ubaí, áreas 01 e 02, estão representados pelos GRÁF. 11 e 12. Os terraços da área 01 demonstram uma boa uniformidade entre as quatro seções estudadas quanto ao aspecto geométrico. A cota da crista apresenta uma pequena variação de 0,11 m representada pela diferença entre a seção 1 com 0,60 m e a seção 2, com 0,49 m. A profundidade do canal nas seções está variando de 0,14 m, sendo a maior profundidade identificada na seção 4, com 0,60 m, e a menor profundidade na seção 2, com 0,46 m. A maior dimensão da seção 1, com 3,70 m<sup>2</sup>, está sendo influenciada principalmente pelo maior comprimento do talude de montante 12,0 m. A seção 2 apresenta menor área das quatro seções com 2,60 m<sup>2</sup>, expressando uma diferença de 1,1 m<sup>2</sup>. A menor inclinação do talude de jusante influencia no aspecto geral da geometria das seções do terraço, colaborando para menores disponibilidades de áreas reais. Entretanto, mesmo com esta inclinação menor, a área média real das seções, 3,1 m<sup>2</sup>, é bem superior à área média necessária para armazenamento da água, 0,05 m<sup>2</sup>. Esse fato demonstra a importância de se conhecer a lâmina do escoamento superficial no dimensionamento correto da seção de terraço posicionado em nível (PRUSKI, 2009). Avaliando a diferença entre tais áreas, é possível concluir que há um superdimensionamento desse parâmetro. Fidalski (1998), estudando sistemas de terraceamento agrícola no Nordeste do Paraná, também identificou estruturas superdimensionadas para o controle da erosão. A cota da extremidade posicionada em 0,25 m, associada à cota mais baixa da crista em 0,38 m, delimita a capacidade máxima unitária de armazenamento em apenas 0,67 m<sup>3</sup>.

Relacionando áreas de seção efetiva e necessária ao comprimento do terraço, é possível determinar sua capacidade volumétrica de armazenamento efetiva e necessária em 194,3 e 14,5 m<sup>3</sup>. Esse fato demonstra que 179,8 m<sup>3</sup> de canal não será utilizado.

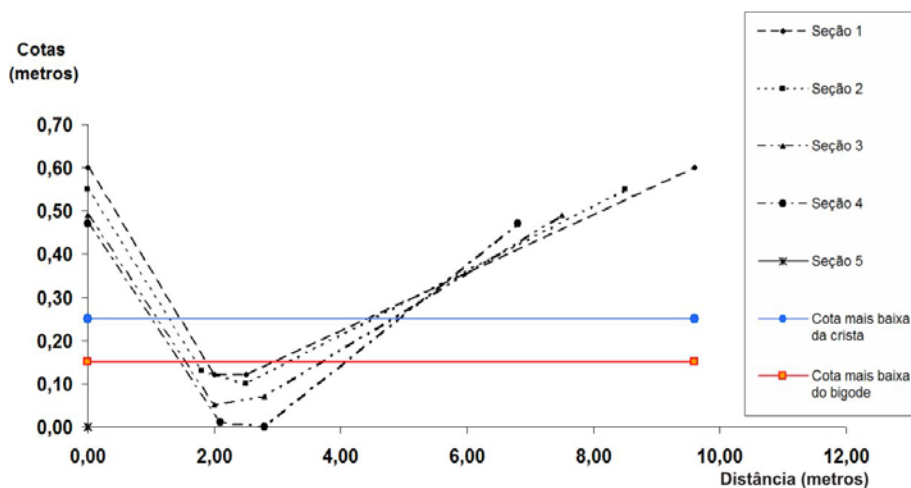
Na área 02, é possível observar certa desuniformidade entre as seções propiciada, principalmente, pelas variações na profundidade, na cota da crista e no comprimento dos taludes de montante. A maior variação encontrada na profundidade do canal do terraço está representada pela seção 4, com 0,47 m, em relação à menor profundidade da seção 3, com 0,40 m. A combinação desses parâmetros possibilitou o cálculo de áreas reais de seções, cuja maior área obtida está indicada pela seção 1, e a menor indicada simultaneamente por duas seções, 3 e 4, com valores iguais em 1,80 m<sup>2</sup>.

### Seções do canal do Terraço



**GRÁFICO 11** - Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 01 do município de Ubá

## Seções do canal do Terraço



**GRÁFICO 12** - Perfil da seção transversal de canal de terraço na área 02 do município de Ubaí

De forma geral, a conformação geométrica das seções do terraço sofre maior influência pela maior inclinação apresentada no talude de jusante, quando comparada com o talude de montante. A cota da extremidade em 0,15 m, associada à cota mais baixa da crista em 0,25 m, expressa os limites críticos que determinam a capacidade de armazenagem unitária do terraço em 0,11 m<sup>3</sup>.

Analisando os valores encontrados para a área média real, 2,0 m<sup>2</sup>, e área média necessária, 0,04 m<sup>2</sup>, verifica-se que o valor de seção encontrado no campo é bem superior ao necessário para reter o escoamento superficial, indicando um superdimensionamento desta estrutura. Esse fato, como ocorre na área 01, reforça a necessidade e a importância em se determinar corretamente a lâmina do escoamento superficial para o dimensionamento correto da seção de terraço posicionado em nível. Considerando agora a diferença entre a área média efetiva com 0,11 m<sup>2</sup> e a média necessária com 0,04 m<sup>2</sup>, também constata-se sua superestimação, mesmo tendo sua média efetiva limitada em 0,11 m<sup>2</sup>.

Considerando então sua capacidade volumétrica de armazenamento efetiva e necessária no interior do canal de 22,0 e 8,0 m<sup>3</sup>, respectivamente, nota-se que 14 m<sup>3</sup> do terraço não serão utilizados.

As altas taxas de infiltração estável determinadas nesses solos proporcionam a formação de pequenas lâminas de escoamento superficial quando comparadas com os outros solos (TAB. 4). Esse fato determina que o volume necessário do terraço para o armazenamento do escoamento superficial seja também reduzido; entretanto, o volume do canal construído para reter o escoamento produzido, nas duas áreas deste município, é bem superior ao necessário. Assim, a relação entre estes parâmetros gerou valores de eficiência bem superior a 100%, como pode ser observado na TAB. 3) o que torna incoerente sua avaliação, não sendo possível determinar valores representativos para este parâmetro.

**TABELA 4**

Lâmina do escoamento superficial para o tempo de retorno de 8 anos nos municípios de Icarai de Minas, Pintópolis e Ubaí

Município	Lâmina do escoamento superficial (cm)	
	Área 01	Área 02
Icarai de Minas	3,93	3,22
Pintópolis	6,83	5,69
Ubaí	0,33	0,13

Lâminas do escoamento superficial determinadas neste estudo demonstram que para os solos de textura arenosa e média, como os que ocorrem em Ubaí e Icarai de Minas, as taxas de infiltração estável foram maiores e conseqüentemente obtiveram-se menores valores para lâmina do escoamento superficial. Já os solos de Pintópolis que, apesar de apresentarem textura média, visto que possuem maiores teores da fração argila no perfil do solo, revelaram menores valores de taxa de infiltração estável e as menores lâminas para o escoamento superficial.

Segundo Pruski *et al.* (2006), determinar corretamente a Lâmina máxima do escoamento superficial é fundamental para o dimensionamento

correto da seção transversal de terraços, pois quanto maior a capacidade de infiltração de água no solo, menor será o escoamento superficial produzido e menores podem ser suas dimensões. Conhecer o processo de infiltração é de essencial importância para o manejo e conservação do solo e da água, por ser determinante na ocorrência do escoamento superficial (BRANDÃO *et al.*, 2010). Ainda de acordo com Griebeler *et al.* (2001), em projetos de estruturas para o controle da erosão, como os terraços, cujo objetivo é reter e ou armazenar a água, o conhecimento do volume de água escoado deve ser conhecido para que o sistema dimensionado seja eficaz e economicamente viável. Grandes diferenças encontradas entre áreas de seção transversal necessária e real, ou seja, a que realmente foi determinada no campo, evidenciam que o escoamento superficial não tem sido levado em conta para o dimensionamento dos terraços. Considerando este fato e que o custo operacional está relacionado ao movimento de solo, é possível prever um aumento nos custos de implantação devido seu superdimensionamento.

Resultados encontrados por Pruski *et al.* (1995); Griebeler *et al.* (1998) acerca da capacidade efetiva de acumulação de água em terraços posicionados em nível, revelaram variabilidade de 58,7 a 78,3% e 57,1 a 79,6%, respectivamente. Comparando esses resultados com os encontrados neste estudo, nota-se que a amplitude de variação encontrada 9,0 a 76,4% é bem superior aos resultados desses dois autores. Isso demonstra a dificuldade técnica e operacional na locação, execução, acompanhamento e controle na construção dos terraços em projetos desta magnitude.

Griebeler *et al.* (1998) afirmam que, em virtude dos elevados custos de construção e manutenção de sistemas conservacionistas, é importante otimizar seu dimensionamento visando a satisfazer o controle da erosão e a economia do projeto. Pruski (2009) salienta que, antes da adoção dessa tecnologia, deve-se realizar um estudo criterioso sobre as condições de clima, solo, sistema de cultivo, culturas a serem implantadas, relevo do terreno, equipamento disponível no sentido de possibilitar um controle da erosão com segurança e eficiência. Comenta, ainda, que o rompimento de um terraço pode levar à destruição dos outros que estão à jusante.

Os resultados do presente trabalho direcionam para a possibilidade de se obter maior eficiência com menores custos na implantação de sistemas de conservação de solo e água, principalmente para os terraços. Todavia, é oportuno, no momento do planejamento, considerar as características peculiares das glebas a serem conservadas além de adotar método que considere interação adequada entre a relação solo, chuva e planta, práticas de manejo, condições de relevo, geometria do canal, maquinário agrícola, disponibilidade de mão de obra qualificada com os aspectos socioeconômicos e ambientais no dimensionamento.

## 5 CONCLUSÃO

A taxa de infiltração estável da água no solo apresenta variação de 0,6 a 13,5 cm h<sup>-1</sup>, influenciada pela textura do solo.

O posicionamento inadequado das extremidades com 67% e o rebaixamento da crista dos terraços com 33% dos casos estudados determina a redução de sua eficiência.

Dos terraços avaliados, 67% têm suas dimensões superestimadas por apresentar volume de armazenamento real superior ao volume necessário.

Diferenças expressivas entre o volume de armazenamento necessário e efetivo determinam a variabilidade na eficiência de terraços construídos pelo Programa de Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco de 9,0 a 76,4%.

### 5.1 Recomendações

Diante das dificuldades encontradas na execução desse projeto, principalmente pela sua magnitude, diversidade climática, de ambiente e cultural, tendo em vista melhorias no custo operacional e na eficiência de terraços, recomenda-se:

Posicionar corretamente as extremidades de terraços em relação à crista para aumentar a segurança contra rupturas.

Utilizar a lâmina máxima do escoamento superficial no planejamento conservacionista.

Combinar a uniformidade da crista na máxima cota com o posicionamento adequado do terraço a uma seção transversal corretamente dimensionada.

Inspeccionar, avaliar e adequar sistematicamente dimensões de campo às teóricas prescritas para reduzir os desvios operacionais na construção de terraços.

Usar máquina adequada às condições do ambiente local associada ao operador experiente na atividade para propiciar a construção de terraços mais eficientes e econômicos.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 181, p. 15-19, 1994.

BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N.; MARQUES, J. J. G. S. Fundamentos de erosão do solo: tipos, formas mecanismos, fatores determinantes e controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1993. 352 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 120 p.

CAPECHE, C. L.; MACEDO, J. R.; PRADO, R. B.; PIMENTA, T. S.; MELO, A. S. Degradação do solo e da água: Impactos da erosão e estratégias de controle. In: TAVARES, S. R. L.; MELO, A. S.; ANDRADE, A. G.; ROSSI, C. Q.; CAPECHE, C. L.; BALIEIRO, F. C.; DONAGEMMA, G. K.; CHAER, G. M.; PoLidoro, J. C.; MACEDO, J.; R.; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D.; PIMENTA, T. S. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Cap. 5, p. 105-132.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão entre sulcos sobre diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, jan. 2003.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J.; SCOPLE, I. Caracterização do impedimento mecânico em um latossolo roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 323-327, set./dez. 1983.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO - CODASP. **Manual técnico de motomecanização agrícola**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 1994. 101 p. *apud* PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 279 p.



DE MARIA, J. C. Erosão e terraços em plantio direto. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 17-21, jul./set. 1999.

DENARDIN, J. E.; BERTON, A.; TROMBETTA, A.; KOCHHANN, R. A.; FALCÃO, H. Terraceamento em lavoura planejada sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 1998, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal do Ceará, 1998. p. 198-199.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de levantamento e conservação de solos. **Práticas de conservação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980. 88 p. *apud* OLIVEIRA, G. C.; PEREIRA, J. C.; MESQUITA, M. G. B. F. Espaçamento de terraços em função dos fatores que afetam as perdas por erosão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 50-56, 1992.

FIDALSKI, J. Sistema de terraceamento agrícola proposto para região noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 20, n. 3, p. 313-316, 1998.

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Our land our future**. Rome: FAO, 1996.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D. F.; MATOS, A. T. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o sistema de informações geográficas: estudo de caso: bacia do Rio Caxangá, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 299-303, maio/ago. 2000.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; BRAGA, A. P.; ABRAHÃO, W. A. P. Variabilidade espacial da seção transversal de terraços posicionados em nível. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 1-11, 1998.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 411-417, abr./jun. 2001.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D. Modelo para determinação do espaçamento entre desaguadores em estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 3, 397-405, maio/jun. 2005a.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, D. D. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 696-704, set./dez. 2005b.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. A erosão e seu impacto. In: MANZATO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. Cap. 5, p. 47-60.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagens com diferentes declividades na micro bacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 355-360, jul./ago. 2007.

LOMBARDI NETO, F.; BELINAZZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I. F.; OLIVIERA, J. B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P. A.; DRUGOWICH, M. I. **Terraceamento agrícola**. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 1994. 39 p. (Boletim Técnico, 206).

MARTINS, M. V.; BAHIA, V. G. Tecnologias disponíveis para o controle do escoamento superficial. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 28-34, ago. 1998.

MIRANDA, A. C. R.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. P.; MELLO, E. L. **Terraltim 1.0**: ferramenta computacional para avaliação da capacidade de armazenamento dos terraços implantados. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, 2008.

MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; SILVA, K. O.; LIER, Q. J. Van.; NOVA, N. A. V. Dimensionamento de terraços de infiltração pelo método do balanço volumétrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 169-174, maio/dez. 2004.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOCLS, I. (Eds.). **Soil resiliense and sustainable land use**. Wallingford: Cab International, 1994. p. 99-118.

OLIVEIRA, A. H.; LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N. S.; FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. A.; PEREIRA, P. H.; SANTOS, D. G.; VEIGA, F. Implantação de práticas conservacionistas em áreas agrícolas e estradas, objetivando a recarga de água na sub-bacia das posses, município de Extrema, MG. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 17., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras, UFLA, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO – FAO. **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam a segurança alimentar**. Brasília: FAO, 2009. Disponível em: < <https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>>. Acesso em: 1 maio 2012.

PARANÁ. Secretária de Estado da Agricultura e do Abastecimento - SEAB. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba: SEAB, 1994. 306 p.

PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. Conservação e uso racional da água na agricultura dependente de chuvas. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Eds.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. Cap. 3, p. 59-84.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 279 p.

PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L.; BHERING, E. M.; SILVA, J. M. A. Metodologia baseada no uso de sistemas de informação geográfica para obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer localidade do estado do Paraná. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 254-265, 1997.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SENN, D. Variabilidade espacial da seção transversal de canais posicionados em nível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 1776-1778.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A.; GRIEBELER, N. P. **Hídros**: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. Viçosa: UFV, 2006. 259 p.

SCHWAB, G. O.; FANGMEIR, D. D.; EILLOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 507 p.

SILVA, A. M. Hidráulica de terraços. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 35-38, 1998.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Manejo conservacionista do solo e da água. In: \_\_\_\_\_. **Formação de agentes de ATER em manejo ecológico e conservação dos solos e da água**: aspectos técnicos e legais que implicam na produção rural e em práticas conservacionistas nas pequenas propriedades rurais do estado de MG. Lavras: UFLA, 2010. 59 p.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2002. 150 p. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hp01/textos/reclima.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2012.