



Ministério da Integração Nacional

PROGRAMA DE PREVENÇÃO À DESERTIFICAÇÃO

PBA-24



Projeto
São Francisco
Água a quem tem sede

ÍNDICE

24. PROGRAMA DE PREVENÇÃO À DESERTIFICAÇÃO	2
24.1. Introdução	2
24.2. Justificativa	2
24.3. Objetivo Geral	10
24.4. Objetivos Específicos	10
24.5. Metas Principais	10
24.6. Indicadores Ambientais	10
24.7. Público Alvo	11
24.8. Metodologia e Descrição do Programa	11
24.8.1. Implantação das Unidades Demonstrativas	12
24.9. Inter-Relação Com Outros Programas.....	16
24.10. Instituições Envolvidas	17
24.11. Atendimento a Requisitos Legais E/Ou Outros Requisitos.....	18
24.12. Recursos Necessários	19
24.13. Cronograma Físico	19
24.14. Responsáveis pela Implementação do Programa.....	19
24.15. Responsáveis Pela Revisão do Programa PBA 24	19
24.16. Referências Bibliográficas.....	20
24.17. Anexos	23



24. PROGRAMA DE PREVENÇÃO À DESERTIFICAÇÃO

24.1. Introdução

O Programa de Prevenção à Desertificação terá como base o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação – PAN-Brasil, elaborado em 2004 pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA de acordo com os fundamentos da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação – UNCCD da qual o Brasil é signatário desde 1997. O PAN-Brasil vem sendo implementado desde 2004 nas ASD sob a coordenação do MMA juntamente com os estados integrantes delas. As áreas suscetíveis à desertificação – ASD Figura 02, abrangem onze estados brasileiros, sendo nove do nordeste e partes do norte do Espírito Santo e noroeste de Minas Gerais, abrangendo inclusive toda a área de influência do Projeto de Integração da Bacia do São Francisco – PISF. É importante ressaltar que o PAN-Brasil foi um dos primeiros programas brasileiros construídos dentro dos modernos princípios do Desenvolvimento sustentável, onde foi levado em consideração os anseios da sociedade local envolvida e interessada nas ações a serem implementadas.

Dessa forma, além de levar em consideração os conhecimentos acumulados pelo Ministério do Meio Ambiente, o programa em pauta, implementará ações, já em curso, na construção de alternativas de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca da região em estudo.

Esse projeto visa à promoção do desenvolvimento sustentável da região da área de influência do PISF através da formação de parcerias e gestão compartilhada de ações e atividades. São parceiros a sociedade civil, a iniciativa privada e o poder público (municipal, estadual e federal).

24.2. Justificativa

ÍNDICE DE ARIDEZ

A definição de Índice de Aridez foi estabelecida, ainda em 1977, pelo Plano de Ação de Combate à das Nações Unidas e posteriormente publicada num trabalho intitulado "Map of the World Distribution of Arid Regions", UNESCO, 1979. Conforme esta definição, o grau de aridez de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração, ou a Evapo-Transpiração Potencial (ETP).



A fórmula de Thornthwaite, como é conhecido o índice de aridez, foi posteriormente ajustada por Penman a fim de que se elaborasse a classificação que é hoje aceita.. A fórmula de Thornthwaite, como é conhecido o índice de aridez, foi posteriormente ajustada por Penman a fim de que se elaborasse a classificação que é hoje aceita. A razão entre estas duas variáveis foi utilizada para o estabelecimento das áreas de risco e a elaboração do World Atlas of Desertification publicado pelo PNUMA, mapa este que tem servido de parâmetro em todo o mundo. Figura 24.1. De acordo com o índice de aridez, são estabelecidas 5 Categorias de Clima.

Figura 24.1. Índice de aridez: classificação climática de Thornthwaite.

<i>clima</i>	<i>índice de aridez</i>
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 a 0,20
Semi-árido	0,21 a 0,50
Subúmido seco	0,51 a 0,65

Associado à degradação das zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, está a pobreza, que vem sendo reconhecida em todo o mundo como sendo um dos principais fatores associados ao processo de degradação da terra, provocando perdas econômicas de grande monta.

DESERTIFICAÇÃO NO MUNDO

Do Quadro 02 depreende-se que as terras áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas compreendem cerca de 136.224.000 km², quase 33% de toda a superfície terrestre. Deste total excluem-se as áreas hiper-áridas, os desertos, que somam 9.780.000 km², 16% da superfície do globo. É um valor bastante considerável para tão pouca importância que está se dando ao tema.

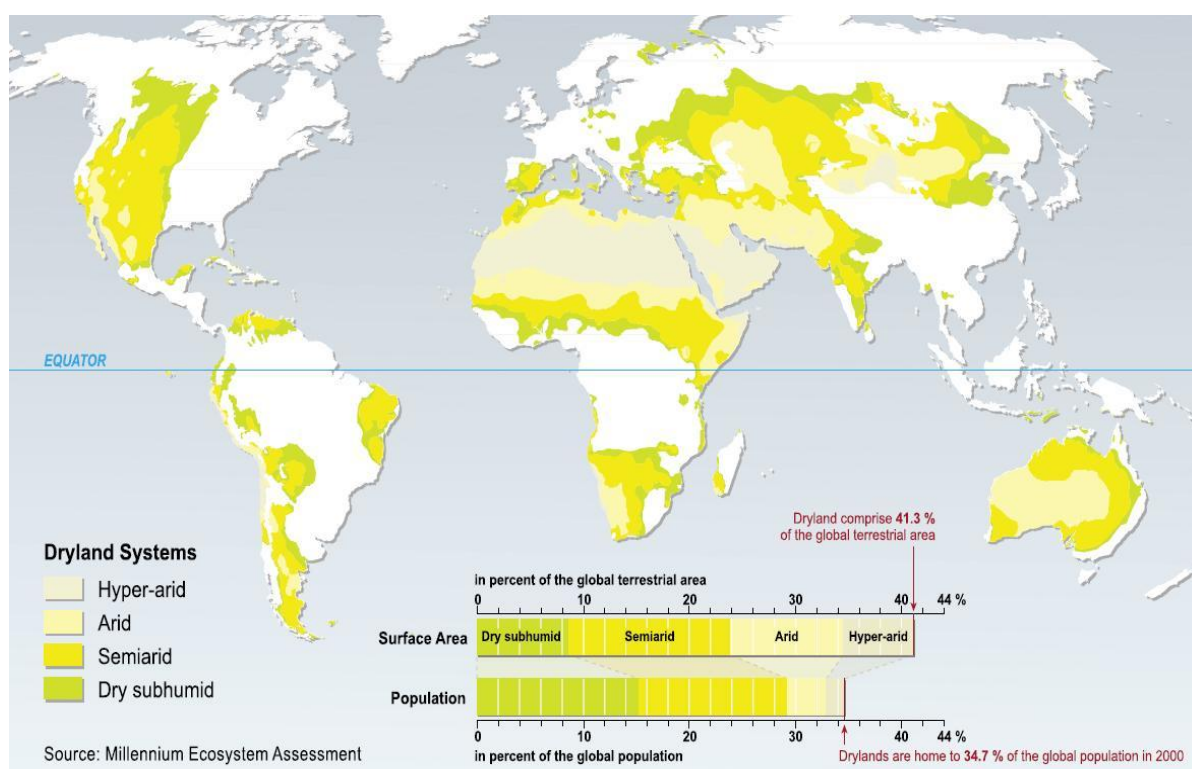
Quadro 24.1. Áreas Suscetíveis à Desertificação no Planeta Terra.

Área Total (km2) de Terras do Planeta por tipo de clima								
	África	Ásia	Austrália	Europa	América do Norte	América do Sul	Antártida	Total
Hiper Árido	6.720.000	2.770.000	0	0	30.000	260.000	0	9.780.000
Árido	5.040.000	6.260.000	3.030.000	110.000	820.000	450.000	0	15.710.000
Semi-Árido	5.140.000	6.930.000	3.090.000	1.050.000	4.190.000	2.650.000	0	23.050.000
Sub-Úmido seco	2.690.000	3.530.000	510.000	1.840.000	2.320.000	2.070.000	0	61.500.000
Área total	30.335.000	43.508.000	8.923.000	10.498.000	25.349.000	17.611.000	13.340.000	136.224.000

fonte: Atlas Mundial Times, 1995. Este Quadro mostra o total de terras do planeta e suas respectivas áreas por tipo de clima.

A razão entre estas duas variáveis foi utilizada para o estabelecimento das áreas de risco e a elaboração do World Atlas of Desertification publicado pelo PNUMA, Figura 24.2, mapa este que tem servido de parâmetro em todo o mundo

Figura 24.2. Desertificação no Mundo.



Mapa das Terras Secas, Fonte: MILLENNIUM (2005). http://www.inweh.unu.edu/inweh/MA/MA_report.htm

Um relatório compilado pela Universidade das Nações Unidas (ONU) aponta que a desertificação ameaça 75% das terras áridas e semi-áridas da América Latina, que constituem um quarto da superfície da região. Os pesquisadores criticam a forma como as

políticas de combate ao avanço do deserto têm sido postas em prática na região. Segundo o relatório da UNU "os esforços para combater a desertificação na América Latina têm sido implementados no nível dos países, limitando os resultados que poderiam ser alcançados se a política fosse feita em coletivo para todo o continente". Entre as estratégias de sucesso aplicadas individualmente pelos países latino-americanos, o estudo destaca a participação articulada de diferentes instituições, a promoção de pesquisas e de políticas educacionais, e o investimento de recursos governamentais na conservação e recuperação das terras afetadas. Quanto ao número de pessoas afetadas pela desertificação e pela seca, a Ásia é o continente mais prejudicado, de acordo com a ONU. Na América Latina, apesar das florestas tropicais úmidas da região, a perda de terras de cultivo e de vegetação afeta 313 milhões de hectares na região e no Caribe (250 milhões na América do Sul e 63 milhões na América Central e no México). No continente Sul Americano, caberia distinguir grandes sistemas que podem ser afetados por processos que conduzem à desertificação cobrindo extensas áreas dentro de um país ou envolvendo o território de dois ou mais países: as regiões áridas e semi-áridas de La Guajira, no Caribe colombiano que se estende pela Venezuela e pela Colômbia; o Nordeste brasileiro; a região do Grande Chaco, compartilhada por Argentina, Bolívia e Paraguai; os ecossistemas de altitude, na Argentina, Bolívia, Chile e Peru; as zonas áridas costeiras, que se estendem do sul do Equador, passando ao longo do Peru, até o Chile; e as estepes da Patagônia, no Chile e Argentina, que se estendem até a Terra do Fogo. Além disso, embora sob diferentes condições climáticas, devem ser considerados vários outros sistemas que estão sendo submetidos a intensa pressão pela expansão e intensificação das atividades agrícolas como o cerrado, a caatinga e os pampas uruguaios. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), os impactos das mudanças climáticas serão mais pronunciados sobre as regiões áridas e semi-áridas do planeta. Essas regiões estão sujeitas ao aumento da escassez de água, assim como da frequência e intensidade de secas e desastres naturais. Na América Latina, prevê-se um aumento na temperatura média anual entre 2° e 6° C. A tendência é que, até 2050, a desertificação e a salinização afetarão 50% das terras agrícolas da Região.

Segundo um estudo revelado na VI Reunião da América Latina e Caribe ocorrida em outubro de 2000 SAN SALVADOR, com a participação de delegados de 33 países, Na América do Sul, 170 milhões de hectares foram degradados, devido ao "desmatamento e superpastagem",



enquanto no Caribe "a urbanização acelerada e mal planejada resultou na perda de terras para uso agrícola, proteção de bacias e conservação da biodiversidade", indica o estudo. "Se aprofundarmos as causas e os motivos da desertificação veremos que são os modelos de desenvolvimento que se vêm aplicando", explica o documento. "A variedade climática também se soma aos fatores econômicos". Octavio Pérez, da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável da Argentina, disse que para solucionar o problema deve se buscar "um modelo de desenvolvimento que permita aumentar a qualidade de vida das pessoas, sem deteriorar o meio ambiente e este é o desafio". "Dizemos sempre que se a montanha ou a mata não dá de comer ao homem, o homem vai comer a mata por uma questão de sobrevivência", disse Pérez, diretor da Conservação de Solos na Argentina. A América do Sul pode perder até um quinto de suas terras produtivas até 2025, alerta a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD, sigla em inglês). Segundo a entidade, o processo de desertificação no continente sul-americano tem se intensificado nos últimos anos, principalmente em países de grandes extensões, como a Argentina e o Brasil.

DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL

No Brasil, as áreas de clima semi-árido e subúmido seco, denominadas áreas Suscetíveis à Desertificação- ASD estão concentrado nas regiões onde predominam os Biomas Caatinga e Cerrado. Abrangem os nove Estados do Nordeste Brasileiro e parte do noroeste dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Estes ecossistemas apresentam elevadas taxas de degradação ambiental devido à expansão da fronteira agrícola com a substituição da vegetação nativa adaptada por culturas agrícolas e pastagens.

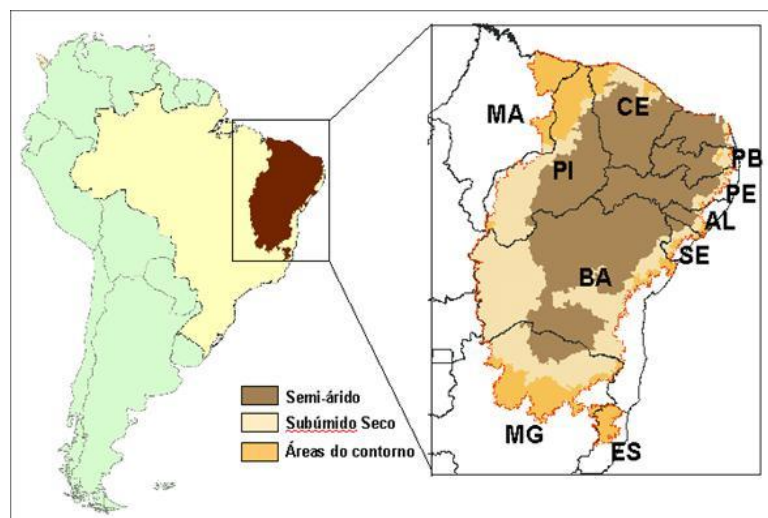
O mapa da susceptibilidade do Brasil, elaborado pelo MMA a partir de trabalho realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA Figura 24.3, determinou três categorias de susceptibilidade: Alta, Muito Alta e Moderada. As duas primeiras referem-se respectivamente às áreas áridas e semi-áridas definidas pelo índice de aridez. A terceira é resultado da diferença entre a área do Polígono das Secas e as demais categorias. Assim, de um total de 980.711,58 km² de áreas susceptíveis, 238.644,47 km² são de susceptibilidade Muito Alta, 384.029,71 km² são de susceptibilidade Alta e 358,037,40 km² são moderadamente susceptíveis. Área: 15,7% do território brasileiro (1.338.076 km²) Número



de municípios: 1.482 População em 2000: 18,6% da população do País (31.663.671 habitantes).

No sul do País, existem áreas que, apesar de úmidas, também são muito vulneráveis a processos erosivos por haver predominância de solos arenosos. Estas áreas apresentam alta incidência de precipitação, principalmente concentrada em chuvas torrenciais, ocasionando formação de ravinas e voçorocas.

Figura 24.3. Áreas Suscetíveis à Desertificação no Brasil – ASD.



ESTATÍSTICAS DA DEGRADAÇÃO DOS SOLOS NAS ASD

Nas Figuras 24.4 a 24.8 e Quadro 24.2 a seguir, apresentam-se os números contendo as estatísticas das degradações das terras nas ASD e o inexorável avanço de desertificação.

Figura 24.4. Áreas Pilotos das ASD Destinadas a Intensificação das Pesquisas.

ÁREAS PILOTO SELECIONADAS	ESTADOS	REGIÕES NATURAIS E/OU MICRORREGIÕES HOMOGÊNEAS	MUNICÍPIOS
1	Piauí	Caatinga e Cerrado	Gilbuês, Simplicio Mendes, Cristino Castro, Ribeiro Gonçalves, Correntes, Bom Jesus e municípios vizinhos
2	Ceará	Inhamuns	Tauá, Arneiroz, Mombaça, Aluaba, Catarina, Saboeiro, Irauçuba e municípios vizinhos
3	Rio Grande do Norte	Seridó	Currais Novos, Acari, Parelhas, Equador, Carnaúba dos Dantas, Caicó e Jardim do Seridó
4	Paraíba	Cariris Velhos	Juazeirinho, São João do Cariri, Serra Branca, Cabaceiras e Camalaú
5	Pernambuco	Sertão Central	Salgueiro, Parnamirim, Cabrobó, Itacuruba, Belém do São Francisco, Petrolina, Afrânio, Ouricuri, Araripina e municípios vizinhos
6	Bahia	Sertão do São Francisco	Uauá, Macururé, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá, Gloria, Jeremoabo, Juazeiro e municípios vizinhos

FONTE: VASCONCELOS SOBRINHO, João. Desertificação no Nordeste do Brasil. Recife: Faturpe / UFRPE. 2002.

Quadro 24.2. Núcleos de Desertificação.

NÚCLEOS	SUPERFÍCIE (km²)	POPULAÇÃO (Habitantes)	CAUSAS PRINCIPAIS DA DESERTIFICAÇÃO E/OU DA DEGRADAÇÃO
1. Gilbués-PI	6.131	10.000	Região devastada por mineradoras
2. Irauçuba-CE	4.000	34.250	Ocupação desordenada do solo
3- Seridó-RN	2.341	244.000	Solos aluviais utilizados para a extração de argila e lenha
4. Cabrobó-PE	5.960	24.000	solo frágil não suportou a pecuária e a agricultura
TOTAL	18.431	312.250	

Fonte: PAN- Brasil, Dados Básicos: GUSMÃO, Marcos (1999)- “O Sertão Virou Pó”. **Revista VEJA**, São Paulo, Edição 1.613, Ano 32, nº35, 19.09.1999. APUD: ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Planejamento e Finanças-Seplan; Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura-IIICA & Conselho de Desenvolvimento Sustentável do Seridó-CDS. **Plano de desenvolvimento sustentável do Seridó do Rio Grande do Norte**. Caicó-RN, Seplan, set., 2000, vol. 1, p. 86 (tabela 3.2.6.1). 2 vol. Xerox.

Figura 24.5. Demografia das ASD.

ESPECIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS E INDICADORES	ANO	ÁREAS SEMI-ÁRIDAS	ÁREAS SUBÚMIDAS SECAS	ÁREAS DO ENTORNO (*)	ÁREAS SEMI-ÁRIDAS + ÁREAS SUBÚMIDAS SECAS	ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO-ASD	NORDESTE	BRASIL	ASD/ NORDESTE (%)	ASD/ BRASIL (%)
População (habitantes)										
Total	1991	13.237.542	7.493.355	7.904.801	20.730.897	28.635.498	42.497.540	146.825.475	67,38	19,50
	2000	14.235.815	8.248.638	8.179.218	22.484.453	31.663.671	47.741.711	169.799.170	66,32	18,65
Urbana	1991	6.257.786	3.872.435	5.531.267	10.130.221	15.661.488	25.778.279	110.990.990	60,76	14,11
	2000	7.866.006	4.882.266	6.944.208	12.748.272	19.692.480	32.975.425	137.953.959	59,72	14,27
Rural	1991	6.979.756	3.620.920	2.373.334	10.800.876	12.974.010	16.721.261	35.834.485	77,59	36,21
	2000	6.369.809	3.366.372	2.235.010	9.736.181	11.971.191	14.796.286	31.845.211	81,07	37,59
Taxa de Crescimento Populacional (%)										
Total	1991-2000	0,81	1,07	1,87	0,91	1,12	1,30	1,63	86,31	68,98
Urbana	1991-2000	2,57	2,61	2,56	2,59	2,58	2,77	2,45	92,90	105,38
Rural	1991-2000	-1,01	-0,81	-0,87	-0,94	-0,89	-1,37	-1,30	64,66	68,30
Taxa de Urbanização [População Urbana / População Total (%)]										
Taxa de Urbanização	1991	47,27	51,68	69,96	48,87	54,69	60,65	75,59	90,17	72,35
Taxa de Urbanização	2000	55,26	59,19	75,65	56,70	62,19	69,07	81,25	90,04	78,55
Área (km²)		710.437,30	420.258,80	207.379,90	1.130.696,10	1.338.076,00	1.553.917,00	8.514.204,90	86,11	15,72
Densidade Demográfica (hab/km²)	1991	18,63	17,83	38,12	18,33	21,40	27,35	17,24	78,25	124,10
Densidade Demográfica (hab/km²)	2000	20,04	19,63	44,26	19,89	23,66	30,72	19,94	77,02	118,66

FONTES DOS DADOS BÁSICOS: i) Fundação IBGE, Censos Demográficos de 1991 e de 2000; ii) Ministério da Integração Nacional-MI, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – Sudene (2003) – **Região Nordeste do Brasil em números**. Recife, Sudene, 2003; iii) Fundação Biodiversitas, Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/castlinga/>>. Acesso em 15.07.2003 e em 04.12.2003.; e iv) Carvalho & Egler, 2003.

(*) Áreas de Entorno das Áreas Semi-Áridas e das Áreas Subúmidas Secas.



Figura 24.6. Níveis de Degradação Ambiental por Tipo de Solo.

NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	TIPOS ASSOCIAÇÕES DE SOLOS	RELEVO	SENSIBILIDADE À EROSÃO	TEMPO DE OCUPAÇÃO	PERCENTAGEM EM RELAÇÃO ÀS ÁREAS MAIS SECAS DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE (%)
Severo	Bruno Não Cálculo	Suave ondulado e Ondulado	Forte	Longo (Algodão)	38,42
Acentuado	Litólicos	Ondulado, Forte ondulado e Montanhoso	Muito forte	Recente (Cultura de subsistência)	10,23
Moderado	Podzólico eutrófico, Terra roxa estruturada, Cambissolo ondulado e Forte ondulado	Ondulado e Forte ondulado	Moderado	Longo (Culturas comerciais)	10,21
Baixo	Planossolos	Plano e Suave ondulado	Moderado	Médio (Pastagem e Cultura de subsistência)	7,07
TOTAL	20.364.900 ha				65,93

Fonte: PAM- Brasil

Figura 24.7. Desertificação no Semi-Árido, Área da População Afetada.

GRAU DE COMPROMETIMENTO	ÁREA (km²)	POPULAÇÃO EM 1991 (hab.)	% DO SEMI-ÁRIDO	
			ÁREA	POPULAÇÃO
Muito Grave	52.425,00	1.378.064	5,86	7,72
Grave	247.831,00	7.835.171	27,68	43,90
Moderado	365.287,00	6.535.534	40,80	36,62
Semi-Árido Total Atingido	665.543,00	15.748.769	74,34	88,24
Nordeste Semi-Árido (*)	895.254,40	17.847.287		

Figura 24.8. Número de Municípios das ASD por Estado.

ESTADO	NÚMERO DE MUNICÍPIOS DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO - ASD			
	ÁREAS SEMI-ÁRIDAS	ÁREAS SUBÚMIDAS SECAS	ÁREAS DO ENTORNO	TOTAL DAS ASD
Maranhão	-	01	26	27
Piauí	96	48	71	215
Ceará	105	41	38	184
Rio Grande do Norte	143	12	03	158
Paraíba	150	47	11	208
Pernambuco	90	39	06	135
Alagoas	33	13	07	53
Sergipe	06	28	14	48
Bahia	159	107	23	289
Minas Gerais	22	61	59	142
Espírito Santo	-	-	23	23
TOTAL	804	397	281	1.482

24.3. Objetivo Geral

Implementar ações de combate à desertificação e difundir informação e conhecimento sobre o tema nas Vilas Produtivas Rurais.

24.4. Objetivos Específicos

Os principais objetivos são:

- Identificar áreas degradadas e susceptíveis a desertificação no âmbito das VPRs;
- Desenvolver e implementar unidades demonstrativas que estimulem modelos sustentáveis de produção;
- Contribuir com a recomposição florestal nas áreas de Reservas Legal e APPs das VPRs;
- Promover cursos e capacitações visando difundir conhecimento e informações sobre a conservação do solo, a convivência com o semi-árido e o uso sustentável da caatinga em articulação com os Programas de Reassentamento das Populações e Educação Ambiental.

24.5. Metas Principais

- Implantar no mínimo uma unidade demonstrativa por Trecho (I, II e V) nas vilas produtivas rurais abrangidas pelo Programa 08, com o objetivo de apresentar técnicas sustentáveis e contribuir na recomposição florestal das APPs e Áreas de Reserva Legal;
- Capacitação realizada que aborde conservação do solo, a convivência com o semi-árido e o uso sustentável da caatinga para os reassentados nas Vilas Produtivas Rurais e que tenham capacidade de multiplicação;
- Identificar e mapear as áreas susceptíveis a desertificação, no âmbito das VPRs.

24.6. Indicadores Ambientais

- Número de unidades demonstrativas implantadas nas VPRs;
- Número de capacitações realizadas e porcentagem de participantes;
- Número de áreas susceptíveis a desertificação identificadas e mapeadas;



24.7. Público Alvo

O Programa tem como público-alvo os moradores das Vilas Produtivas Rurais, para que tenham outro olhar para com o Bioma Caatinga onde sempre conviveram. Irão aprender a ter um desenvolvimento sustentável com a Caatinga. As vilas Produtivas rurais certamente se constituirão em modelo propagador do desenvolvimento sustentável na Caatinga com melhoria da qualidade de vida no local onde nasceram sem terem que migrar para os centros maiores.

24.8. Metodologia e Descrição do Programa

Combater a desertificação pressupõe desenvolver ações para controlar e prevenir a degradação do solo e seu avanço e, quando possível, recuperar áreas degradadas para uso produtivo. Para isso, consideram-se as soluções técnicas e as decisões políticas os pontos básicos para resolução do problema. Pode-se acrescentar que combater a desertificação implica, sobretudo, influir no comportamento social, econômico e político da sociedade.

Levando em consideração essa realidade, a estratégia adotada por este Programa foi disponibilizar aos moradores das Vilas Produtivas Rurais, formas alternativas sustentáveis de produção, através da implantação de Unidades Demonstrativas e de Dispositivos de Contenção das Águas das Chuvas.

Primeiramente serão realizados a identificação e o mapeamento das áreas susceptíveis a desertificação no âmbito das Vilas Produtivas Rurais, através de técnicas de geoprocessamento, assim como visitas a campo.

Posteriormente serão selecionadas, dentre as áreas mapeadas, aquelas mais aptas a receberem a instalação das unidades demonstrativas e dos dispositivos de contenção das águas das chuvas.

Serão realizadas ainda, capacitações que ocorrerão em articulação com os Programas de Reassentamento das Populações e Educação Ambiental. Também estarão em harmonia com este Programa as ações da Assistência Técnica a ser provida para as Vilas Produtivas Rurais pelo Programa de Reassentamento das Populações.



24.8.1. Implantação das Unidades Demonstrativas

As unidades demonstrativas visam estimular, por meio de tecnologias modernas, ecologicamente corretas e sustentáveis, a produção agropecuária local, apresentando aos pequenos produtores rurais, tecnologias sustentáveis com potencial de serem empregadas nas Vilas Produtivas Rurais. Nestas unidades, poderão ser implementadas as seguintes tecnologias:

a) Unidades Demonstrativas Produtivas:

- Permacultura
- Sistemas Agroflorestais
- Agricultura Familiar
- Criação de Pequenos Animais

b) Unidades Demonstrativas Tecnológicas:

- Energia Alternativa

c) Dispositivos de Contenção das Águas das Chuvas:

- Terraços
- Barraginhas
- Barragens Subterrâneas

24.8.1.1. Permacultura

Permacultura é uma síntese das práticas agrícolas tradicionais com idéias inovadoras. Unindo o conhecimento secular às descobertas da ciência moderna, proporciona o desenvolvimento integrado da pequena propriedade rural de forma viável e segura para o agricultor familiar. O projeto permacultural envolve o planejamento, a implantação e a manutenção de ecossistemas produtivos que tenham a diversidade, a estabilidade e a resistência dos ecossistemas naturais. Ele resulta na integração harmoniosa entre as pessoas



e a paisagem, provendo alimentação, energia e habitação, entre outras necessidades materiais e sócio-culturais, de forma sustentável.

No Brasil, a família rural é carente de informações e de recursos para sobreviver sustentavelmente, com o conseqüente êxodo rural que, por sua vez, tem repercussão na qualidade de vida nas zonas urbanas. A permacultura se adapta a transições lentas ou rápidas, podendo ser começada lentamente, utilizando uma pequena parcela de terra e os recursos disponíveis localmente, ou transformando toda a propriedade de uma só vez, de acordo com as condições financeiras e os meios disponíveis. Não esquecendo o auxílio que a natureza oferece, quando começamos a colaborar com ela.

Esta ação complementa a contenção das enxurradas pela construção das pequenas barragens. Como as barraginhas serão construídas nos talvegues e os terraços em curva de nível nas encostas, a revegetação será feita nas áreas terraplenadas dos taludes de jusante das barrabinhas, assim como nos terraços. O resultado da recuperação da degradação do solo terá tanto uma finalidade ambiental como produtiva, ou seja, produção agropecuária e ou energética.

A revegetação nativa terá como objetivo básico a recuperação ambiental, implicando na reintrodução das espécies nativas originárias da região.

A revegetação produtiva pode convergir para produção de produtos não madeiráveis (espécies melíferas, frutíferas, medicinais, entre outras) e para produção de produtos madeiráveis (lenha e energia).

Para a revegetação da área, durante o primeiro ano, recomendou-se ser produzidas mudas de diferentes espécies nativas na região. As espécies deverão ser escolhidas visando dois objetivos: (i) recuperação da vegetação nativa e (ii) recuperação vegetal visando a produção econômica (pecuária ou agrícola).

Deve ficar bastante claro que os cultivos a curto prazo não terão objetivo comercial, mas tão somente testar uma metodologia própria para a região, que num futuro próximo poderá ser um dos caminhos da luta contra a desertificação.

24.8.1.2. Sistemas Agroflorestais

Sistemas agroflorestais ou agrossilviculturais são sistemas de produção consorciada envolvendo um componente arbóreo e um outro, que pode ser animal ou cultivo agrícola,

de forma a maximizar a ação compensatória e minimizar a competição entre as espécies, com o objetivo de conciliar o aumento de produtividade e rentabilidade econômica com a proteção ambiental e a melhoria da qualidade de vida das populações rurais, promovendo, assim, o desenvolvimento sustentado.

A agrossilvicultura é um sistema racional e eficiente de uso da terra. Nesse sistema, árvores são cultivadas em consórcio com culturas agrícolas e/ou criação animal que propicia, entre outras vantagens, a recuperação da fertilidade dos solos, o fornecimento de adubos verdes e o controle de ervas daninhas.

O objetivo desta unidade demonstrativa é introduzir na região sistemas agroflorestais enquanto estratégia de recuperação de áreas alteradas, com a viabilização da implantação de uma nova opção de renda para as famílias envolvidas.

24.8.1.3. Agricultura Familiar

Nesta unidade demonstrativa de agricultura familiar serão introduzidas várias subunidades como: pomicultura, oleaginocultura, silvicultura e forragicultura.

Em relação a pomicultura procurar-se-á mostrar na prática como se procede para a formação de um pomar, como por exemplo: escolha da área, clima da região, tipo de solo, escolha da copa, porta enxerto, adubação, calagem, abertura de covas, espaçamento, tratamentos culturais, tipo de cultura mais indicada para a região, susceptibilidade a pragas, etc.

Quanto a oleaginocultura serão estimulados o plantio de espécies como o pinhão-mansão e a mamona, entre outras com potencial para serem utilizadas como componente do biodiesel.

Na silvicultura serão demonstrados o plantio de espécies para uso doméstico e/ou com potencial de geração de renda.

Também serão demonstrados o plantio de espécies com potencial de servirem de alimento para a criação de animais.

24.8.1.4. Criação de Pequenos Animais

Será demonstrado aos produtores como é possível se obter uma produção viável com pequenos animais, utilizando-se material de baixo custo, técnicas adequadas de manejo, alimentação e prevenção das doenças.



24.8.1.5. Energia Alternativa

Nesta unidade serão instalados equipamentos baratos de produção de energia elétrica da forma não tradicional de forma a suprir uma residência ou pequena comunidade com os equipamentos simples, tais como luz elétrica, televisão e geladeira. Estes equipamentos têm o potencial de trazer uma grande melhoria na qualidade de vida da comunidade.

24.8.1.6. Terraços

As práticas mecânicas de contenção de água e controle de erosão são procedimentos em que se recorrem às estruturas artificiais de terra, formadas por corte (canal) e aterro (camalhão) dispostas adequadamente em relação ao declive do terreno, com a finalidade de parcelar o comprimento da rampa, possibilitando desta forma a redução da velocidade da água e sub dividindo o volume do deflúvio superficial para possibilitar a sua infiltração no solo, aumentando desse modo a recarga dos aquífero, de forma a diminuir o escoamento superficial, acarretando a laminação dos picos das cheias, aumentando o nível mínimo dos rios nas estiagens e diminuindo os imensos prejuízos com a redução da perda da camada fértil do solo com suas conseqüências nefastas, bem como aumentando o índice de umidade para as plantas ao longo do tempo. Constitui-se em uma das praticas mecânicas mais antigas e eficientes de controle de erosão das terras cultivadas. É uma Pratica de uso secular, já que sinais evidentes de seu emprego na idade antiga ainda hoje podem ser observados eu algumas regiões do Oriente Médio e da Ásia. Os terraços têm como princípio o seccionamento ou subdivisão dos comprimentos da rampa de forma a interceptar a enxurrada antes que ela se avolume e atinja alta velocidade ganhando poder erosivo.

24.8.1.7. Barraginhas

A construção de pequenas barragens ou “barraginhas secas” possuem o objetivo de promover a contenção do escoamento superficial, melhorando a recarga dos aquíferos, e disponibilizando uma maior oferta de umidade ao solo, contendo desta forma o avanço progressivo do processo erosivo.

A micro-bacia hidrográfica funciona como um telhado, coleta a água das chuvas na sua área de contribuição concentrando-a nos talwegues na forma de enxurrada, que se vai



avolumando até tornar-se uma onda de cheia erosiva e de alto poder destrutivo. A barraginha impede o incremento da energia cinética da enxurrada (termo $v^2/2g$), atuando como bacia de amortecimento, barrando as enxurradas no seu nascedouro através de cascatas de mini-açudes sucessivos. Ao diminuir a velocidade das enxurradas, os sedimentos transportados na massa líquida são aí depositados impedindo o seu carreamento para os cursos d'água a jusante impedindo assim o seu assoreamento, bem como a retenção dos poluentes neles contidos.

Ao encher a primeira pequena barragem, na parte mais alta, o excesso verte pelo sangradouro à segunda barragem e assim sucessivamente, até chegar às da baixada. Na maioria das chuvas, as da baixada nem chegam a verter.

24.8.1.8. Barragens Subterrâneas

Barragem subterrânea é toda estrutura que objetiva barrar o fluxo subterrâneo de um aquífero pré-existente ou criado concomitantemente à construção da barreira impermeável (Santos & Frangipani, 1978). Esses tipos de barragens foram construídos no Brasil, principalmente na região Nordeste, desde o início do século. Diversos autores (Tigre, 1949; Duque, 1980; IPT, 1981, entre outros) preconizam a construção dessas barragens com objetivo de aumentar a disponibilidade de água no meio rural. Alguns autores (Santos & Frangipani, 1978 e Silva & Rego Neto, 1992) definem barragem subterrânea ou submersível àquela firmada por uma parede da camada impermeável a uma altura acima da superfície do aluvião, de tal forma que nas épocas de chuvas, se forma um pequeno lago a montante. Já a barragem submersa tem sua parede totalmente no aluvião, ficando a água armazenada no perfil do solo.

24.9. Inter-relação com outros Programas

- Este Programa se inter-relaciona com os seguintes programas:
- Programa de Monitoramento de Processos Erosivos – PBA 27, no que tange a localizar com precisão as áreas com maior fragilidade física (regiões sujeitas a maiores suscetibilidades à erosão), que poderão sofrer início ou aceleração dos processos erosivos, carreamento de sólidos e movimento de massa;



- Programa de Recuperação de Áreas Degradadas- PBA 9, no que tange a proporcionar condições de recomposição de áreas de empréstimo, acessos, canteiros de obras por meio de soluções que proporcionem contribuições ecológicas e socioculturais às populações (reduzir, ao estritamente necessário, o dimensionamento das áreas de empréstimo, bota-fora e estradas de acesso); restabelecer a relação solo/água/planta; controlar processos erosivos decorrentes das obras a serem executadas (desestabilização dos terrenos em área de empréstimo, bota-fora, estradas de acesso, canais, túneis, casas de bombas e barragens); evitar, ao máximo possível, o desmate de áreas bem conservadas e/ou de porte arbóreo; conservar corredores de vegetação para a fauna e flora;
- Programa de Comunicação Social- PBA 3, como fonte básica para a discussão da educação ambiental, objetivando a socialização da informação e a viabilização do acesso à informação;
- Programa de Educação Ambiental PBA 4, no tocante à difusão do conceito de responsabilidade ambiental e de uso econômico de recursos naturais de forma não predatória e ecologicamente correta, que reverta em benefícios ambientais;
- Programa de Conservação da Fauna e da Flora – PBA 23, no que tange a garantir a integridade da fauna e flora na região estudada, através de uma gestão adequada do ponto de vista biológico e na geração de diretrizes básicas para o estabelecimento de Áreas de Preservação Permanente;
- Plano Ambiental de Construção – PBA 2, no cumprimento de requisitos legais e outros requisitos relativos ao empreendimento.
- Programa de Apoio e Fortalecimento dos Projetos de Assentamentos Existentes – PBA 18, no envolvimento com os moradores das Vilas produtivas Rurais no processo de produção sustentável.

24.10. Instituições Envolvidas

Instituições públicas e privadas e outras organizações que atuam direta ou indiretamente com os problemas socioeconômicos e ambientais da região do Semi-árido. Dentre estas podemos citar:

- Ministério do Meio Ambiente;



- Diretoria de Combate à Desertificação- DCD/SEDR/MMA;
- Articulação do Semi-Árido – ASA;
 - ✓ Universidades Federais e Estaduais;
 - ✓ Empresas Estaduais de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER;
 - ✓ Centros de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA;
 - ✓ Secretarias Planejamento Estaduais e Municipais;
 - ✓ Prefeituras Municipais;
 - ✓ Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste –SUDENE;
 - ✓ Departamento Nacional de obras Contra Secas – DNOCS;
 - ✓ Companhia de Desenvolvimento Do Vale do São Francisco e Parnaíba –CODEVASF;
 - ✓ Projeto Cooperar vinculado a Secretaria de Planejamento da Paraíba;
 - ✓ Secretarias Ciência e Tecnologia dos Estados;
 - ✓ Programa Paraibano de Tecnologias Apropriadas de estado da Paraíba;
 - ✓ Empresa Estaduais de Pesquisa Agropecuária;
 - ✓ Secretaria Estaduais de Educação e Cultura;
 - ✓ Projeto Empreendedor na Escola do estado da Paraíba;
 - ✓ Secretarias Estaduais do Meio Ambiente e Recursos Hídricos;
 - ✓ Banco do Nordeste;
 - ✓ Banco do Brasil S/A;
 - ✓ Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA;
 - ✓ Associação dos Municípios do Cariri Paraibano – AMCAP;
 - ✓ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR.

24.11. Atendimento a Requisitos Legais e/ou outros Requisitos

Todos os métodos de trabalho e processos que serão adotados respeitarão os artigos concernentes e aplicáveis contidos na Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965, que instituiu o Código Florestal Brasileiro, e em suas modificações pelas Leis 5.106, de 02.09.1966, 5.868, de 12.12.1972, 5.870, de 26.03.1973, 6.535, de 15.06.1978, 7.05.11, de 07.07.1986, 7803, de 18.07.1989, e 9.985, de 18.07.2000 e no PAN-Brasil.



24.12. Recursos Necessários

Os recursos de mão de obra e materiais para o desenvolvimento do presente programa serão estimados e avaliados para viabilização por parte do Ministério da Integração Nacional.

24.13. Cronograma Físico

O cronograma físico de implantação do presente Programa encontra-se no **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

24.14. Responsáveis pela Implementação do Programa

Ministério da Integração Nacional em parceria com a Diretoria de Combate à Desertificação da Secretaria de Desenvolvimento Rural Sustentável do Ministério do Meio Ambiente.

24.15. Responsáveis pela Revisão do Programa PBA 24

Coordenação do MI: Engenheira Agrônoma - Elianeiva de Queiroz Viana Odísio, com registro no Cadastro Técnico Federal do IBAMA nº 219.439.

Equipe Técnica: Engenheiro Agrônomo – André Keiti Ide.

Coordenação MMA: Engenheiro Agrônomo – Marcos Del Fabro – Coordenador do Programa de Combate à Desertificação – CCD/SEDR/MMA.

Equipe Técnica: Jonair Mongin, Eng. Civil e Agr. CREA 5865-D/RS; Especialista em Hidrologia Superficial, Doutor em Erosão e Sedimentação.

Coordenação CMT Engenharia Ltda: Engenheiro Civil - João Bosco Senra, com registro no Cadastro Técnico Federal do IBAMA nº 139.144.

24.16. Referências Bibliográficas

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – Desertificação em Revista, 1995

EMBRAPA SEMI-ÁRIDO - Revitalização do Núcleo de Desertificação da Região de Cabrobó, Plano de Trabalho, 2005

FUNDER - Fundação de Desenvolvimento Regional – Revitalização do Núcleo de Desertificação da Região de Cabrobó (PE): Construção de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental de Convivência com o Semi-Árido Brasileiro (NSA_PAN); Termo de Referência Para Carta de Acordo – MMA/Prefeitura de Cabrobó-PE (Funder/Embrapa/Senai-Certa/Sebrae/Codevasf/Ong's), 2005

LEAL FILHO, W - O Papel da Educação Ambiental e do Treinamento no Combate à Desertificação; Centro Europeu de Pesquisas em Educação Ambiental e Desenvolvimento, University of Bradford, Reino Unido

LOPES, P.R.C. – Alternativas de Manejo de Solo para o Semi-Árido Brasileiro. Brasil Rural; C & T no Campo, www.comciencia.br/reportagens/agronegocio/17.shtml, 2005

NIMER, E. - Subsídio ao Plano de Ação Mundial Para Combater a Desertificação - Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA). Revista Brasileira de Geografia, 42(3):612-637, jul./set. Rio de Janeiro, 1980.

OLIVEIRA, L.B. Avaliação da salinização dos solos sob caatinga no nordeste do Brasil. In: Alvarez V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS - UFV. 1996. p.113-123.

OLIVEIRA, L.B. Degradação e recuperação de solos na região semi-árida do Nordeste do Brasil. Congresso Brasileira de Ciência do Solo, 27, Brasília, 1999. Anais dos Simpósios, CD-ROM, 1999.



RODRIGUES, V. Desertificação: as relações entre suas causas e as atividades humanas. Interciência 12: 63-69, 1987.

RODRIGUES, V. et al. *A Desertificação no Nordeste do Brasil*. I. Diagnóstico e perspectiva. Fortaleza, ICID, 1992.

RODRIGUES, V. Un modelo de simulación para el fenómeno de la desertificación. México, Instituto Politécnico Nacional, 1984. 150p. (Tese de Doutorado).

SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. Congresso Brasileiro de Ciência de Solo, 26, Rio de Janeiro, 1997. Anais dos Simpósios, CD-ROM, 33p., 1997.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Metodologia para identificação de processos de desertificação: manual de indicadores. Recife, SUDENE, 1978. 20p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de desertificação no polígono das secas. Recife, UFRPE, 1971. ICB 1, p. 69-73.

VASCONCELOS, R. & TORRES, W. Impactos ambientais das atividades humanas na base de recursos naturais renováveis do semi-árido. Brasília, Áridas, 1994.

André Luiz de Moura Cadamuro & José Eloi Guimarães Campos, Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados no Distrito Federal: uma Ferramenta Para a Gestão dos Recursos Hídricos

Bandini, Alfredo. Hidráulica Fluvial. Escola de Engenharia de São Carlos, 1958.

Carvalho, Newton de Oliveira. Hidrossedimentologia Prática, Editora Interciência Rio de Janeiro 2008.



Evaldo Miranda Coiado & Luiz Evaristo Dias de Paiva. ANÁLISES SOBRE ALGUMAS FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA CAMADA DO LEITO. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. INTERNET 2010.

Quadros, Ruth Maria Bianchini, Representação Matemática e Simulação Numérica da Evoluçãodo Processo Erosivo em Sulcos. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, 2003.

Mongin, J. Estudos da Estabilidade Hidrossedimentológica da Calha Hidráulica de Nove travessias de Dutos de Hidrocarbonetos em Rios. sendo sete do COMPERJ: Rio Macacu, Rio Guapiaçu, Rio Guapimirim, Canal Matadouro, Rio Surui, Rio Estrela, e duas do GASEB. Relatório Técnico com 450 Pág. CONCREMAT/PETROBRAS, Janeiro de 2010.

Ministério do meio Ambiente. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil, 2004.

Mongin, J. Modelo Gestor Integrado de Combate à Desertificação em Giulbués-MOGIDES. Relatório Técnico com 125 Páginas. Secretaria de Recursosos Hídricos DCD/MMA, janeiro de 2006.

Mongin, J. Efeitos da Transposição de águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional, Informe Técnico com 36 Pág., Ministério Público Federal, Procuradoria Geral da República 4ª Câmara de Coordenação e Revisão Meio Ambiente e Patrimônio Cultural, maio de 2001.

Mongin, J. Modelo Matemático de Previsão de Cheias não Estruturante Associado a Previsão de Chuvas Utilizando Imagens de Satélite Meteorológico, para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe PE. Informe Técnico com 42 pág, Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente Brasil, março de 1998. Certidão de Acervo Técnico N°0090/2001 CREA/DF.



Mongin, J. Avaliação e Proposição de Métodos de Coleta de Descarga Sólida em Suspensão e de Fundo. Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – PPGRHSA do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, como sendo um dos requisito para obtenção do título de Doutor em Erosão e Sedimentação. 1997.

Mongin, J. Diagnóstico dos Recursos Hídricos e Avaliação do Regime Sedimentológico das Principais Bacias Hidrográficas do Noroeste do Brasil. Programa POLONOROESTE. Ministério das Minas e Energia-MME, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE. 1985

Souza, Podalyro Amaral. Modelos de Cálculo de Transporte de Sedimentos. INTERNET 2010.

24.17. ANEXOS

ANEXO 24.1: Cronograma Físico.

ANEXO 24.2: Considerações teóricas sobre degradação de terras.

ANEXO 24.3: Descrição dos dispositivos de contenção de água das chuvas visando à recarga dos aquífer



ANEXO 24.1: Cronograma Físico



CRONOGRAMA MASTER

[illegible]

24 - PROGRAMA DE PREVENÇÃO A DESERTIFICAÇÃO

[illegible]

ANEXO 24.2: Considerações teóricas sobre degradação de terras



ANEXO 24.2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE DEGRADAÇÃO DE TERRAS

O Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação -UNCCD, Desertificação é a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e atividades humanas. Um dos grandes fatores que contribuem grandemente para aumentar a situação de penúria dos seres humanos em qualquer lugar do mundo, no Brasil como um todo e em particular no semi-árido nordestino e no cerrado do Centro Oeste é a perda de solo. Entendendo por DEGRADAÇÃO DA TERRA a perda ou redução da produtividade econômica ou biológica dos ecossistemas secos, causadas por três fatores:

- Perda da vegetação natural;
- Erosão do solo;
- Deterioração dos recursos hídricos.

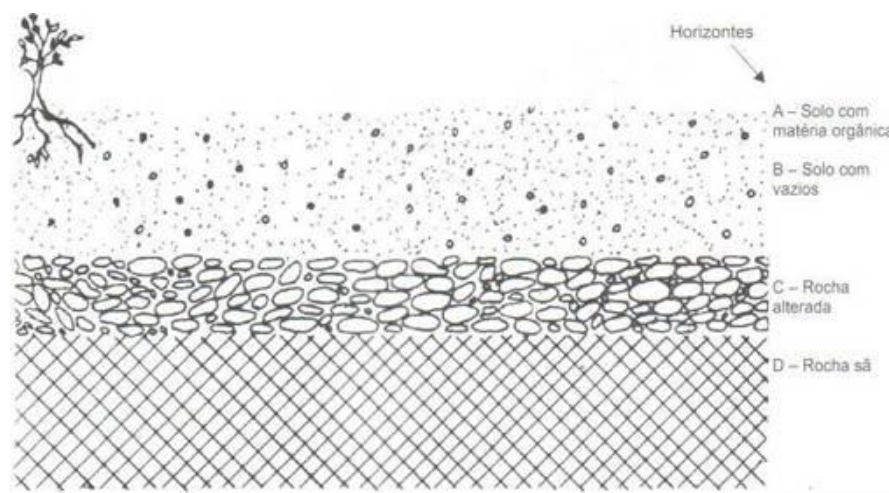
A ação antrópica constitui o maior agente promotor da perda da vegetação natural nos ecossistemas secos, sendo a condição inicial e facilitadora do avanço inexorável da degradação da terra na forma de erosão sobre estes solos desnudos que ficam vulneráveis a ação desagregadora da energia cinética das gotas das chuvas.

Entende-se por erosão o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos de rocha, pela ação combinada da gravidade, água, vento, gelo ou organismos. Os processos erosivos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o desmatamento inerente à agricultura tradicional(sulcos de morro a baixo) associado às queimadas, até obras urbanas e viárias, que, de alguma forma, propiciam a concentração das águas de escoamento superficial. O fenômeno de erosão vem acarretando, através da degradação dos solos e, por consequência, das águas(secam ou ficam assoreadas), um pesado ônus à sociedade, principalmente às comunidades mais pobres e sobretudo nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas. A quebra do equilíbrio natural entre o solo e o ambiente (remoção da vegetação), promovida e acelerada pela ação antrópica do homem conforme já exposto, expõe o solo a formas menos perceptíveis de erosão, que promovem a remoção da camada superficial deixando o subsolo sujeito à intensa remoção de partículas, podendo culminar com o surgimento de voçorocas. Quando as voçorocas não são controladas ou estabilizadas, além de inutilizar imensas áreas aptas à agricultura, podem ameaçar obras viárias, áreas



urbanas, assorear rios, lagos e reservatórios, comprometendo, por exemplo, o abastecimento das cidades, projetos de irrigação e até a geração de energia elétrica. A desintegração parcial dos agregados naturais no solo, ocorrem devido a energia cinética $(M(V^2/2g))$ disponível no golpe das gotas da chuva martelando os solos desnudos. Afetam primeiramente a estrutura da capa superficial, predispondo a um desprendimento das partículas. Libera partículas finas deslocando-as e projetando-as a uma certa distância, em seguida são carregadas pelo escoamento superficial para os álveos dos talwegues assoreando-os. Nas Figuras 03 a 10 apresentam-se as etapas deste processo, segundo Carvalho, Newton de Oliveira.

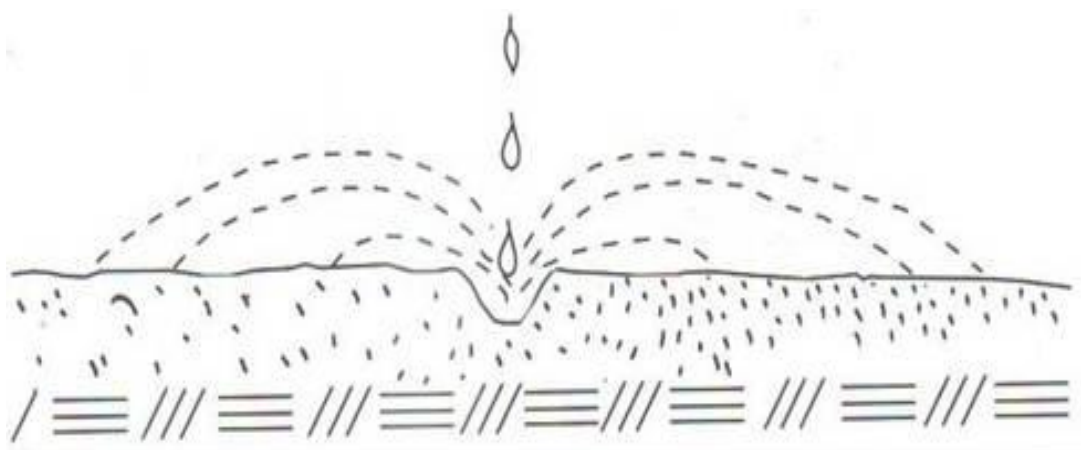
Figura 24.1. Solo Desnudo Antes da Chuva.



Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência 2008.

No meio natural, a desagregação da partícula no processo da erosão ocorre através da energia cinética, de impacto da gota de chuva no solo e pelas forças geradas devido a ação do escoamento das águas. As gotas de chuva caindo em terrenos inclinados e até mesmo planos, desagregam as partículas, provocando o seu deslocamento e lavam o solo, removendo a camada superficial. A erosão é tanto mais intensa quanto menor for a proteção do solo na forma de cobertura vegetal. Estando a partícula solta, ela é deslocada de sua posição, podendo ser transportada pelas enxurradas para os cursos d'água, ou ficar retida em depressões ou terrenos planos.

Figura 24.2. Impacto da Chuva no Solo Desnudo Plano.



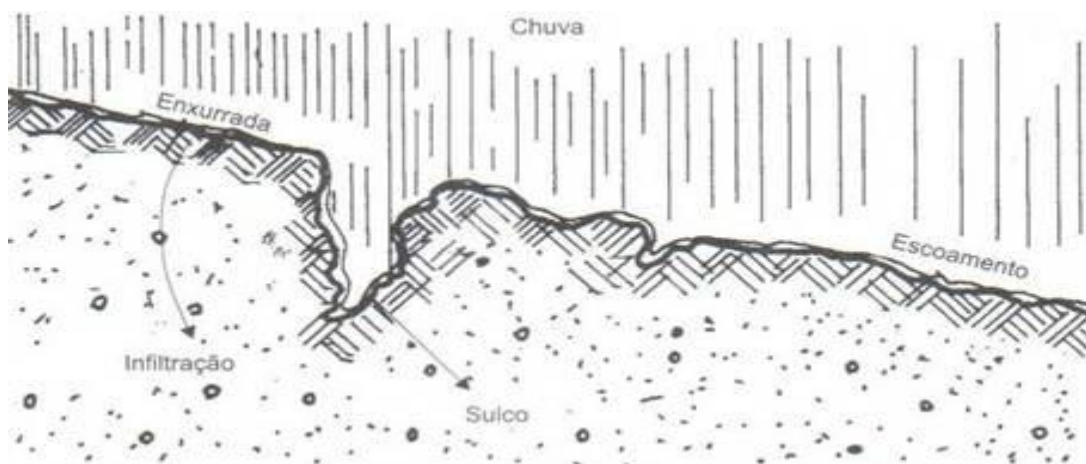
Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência 2008.

Figura 24.3. Impacto da Chuva no Solo Desnudo inclinado.



Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência Rio de Janeiro 2008.

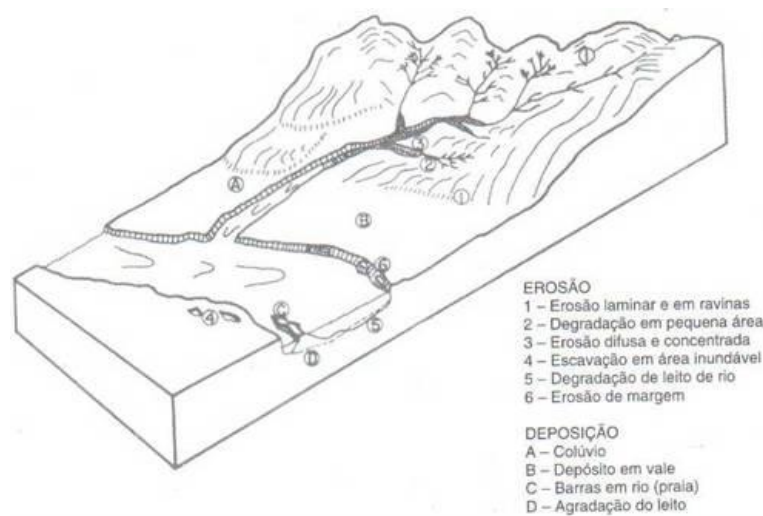
Figura 24.4. Início da Formação dos Sulcos Erosivos nos solos Desnudos.



Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência 2008

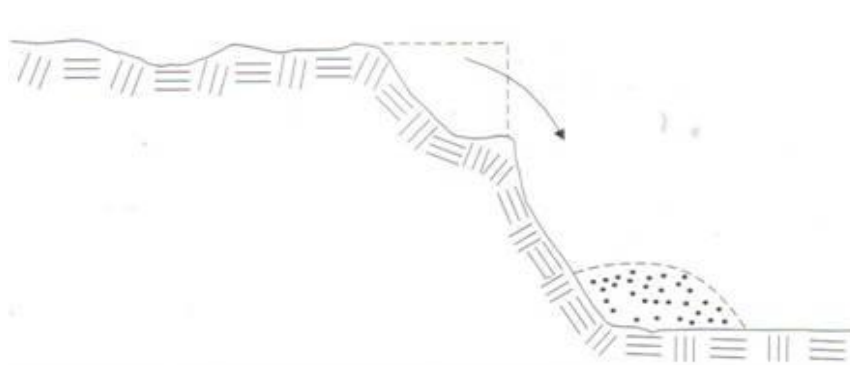
O Deslocamento e transporte da partícula do solo (sedimentos) depende da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando estas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição ou sedimentação.

Figura 24.5. Veiculação Hídrica da Partícula Desagregada do Solo Desnudo.



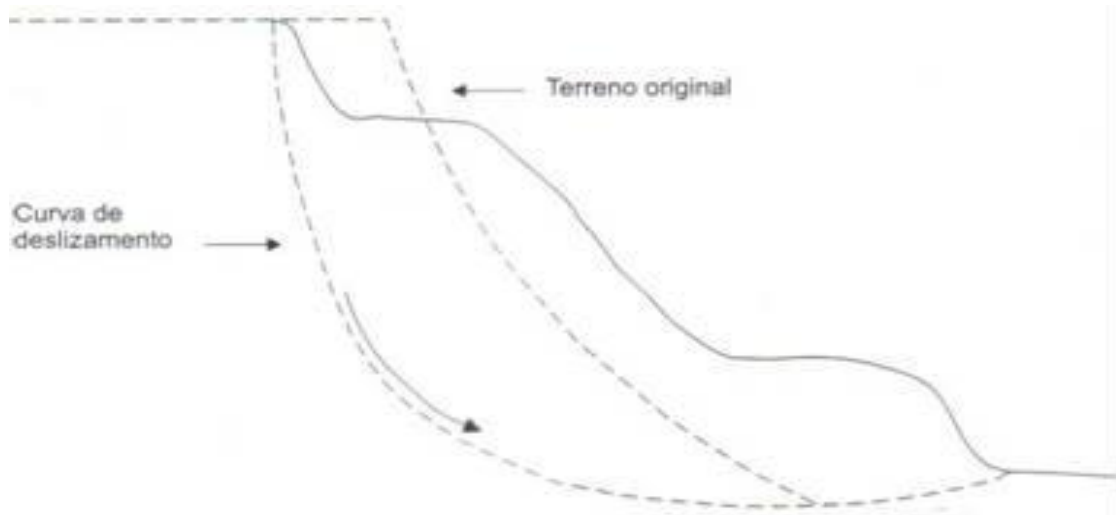
Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência Rio de Janeiro 2008.

Figura 24.6. Erosão e Deposição de Agregados.



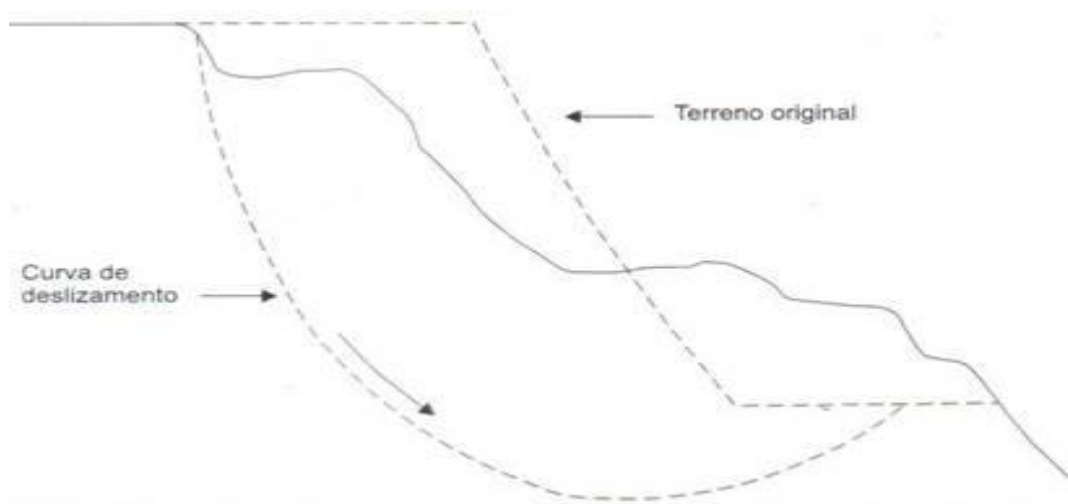
Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência Rio de Janeiro 2008.

Figura 24.7. Erosão e Deposição de Agregados.



Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência Rio de Janeiro 2008.

Figura 24.8. Erosão e Deposição de Agregados.



Fonte: Newton de Oliveira Carvalho Sedimentologia Prática Editora Interciência Rio de Janeiro 2008.

A segunda fase da erosão, em geomorfologia fluvial denominada modelação, corresponde à dinâmica das correntes líquidas operando lentamente nos leitos dos álveos, em uma escala de sucessivos séculos, acarretando profundas modificações nos álveos iniciais, em virtude do desequilíbrio entre a capacidade de erosão e de transporte da água e a resistência à desagregação, oferecida pelo material de que é formado o mesmo álveo. Essa fase somente termina quando praticamente for atingido o equilíbrio entre estas forças antagônicas. Então podemos dizer que o álveo está estável, com as forças hidrodinâmicas em equilíbrio, tendo o rio atingido sua fase de equilíbrio aluvial. Os pontos, cuja posição altimétrica ficam praticamente sem se alterar durante a modelação, chamam-se níveis de base. São pontos fixos como por exemplo, as rochas aflorantes nas cachoeiras, as embocaduras dos rios, os

receptores de grande extensão e de cota pouco variável, como o mar e os grandes lagos. Com efeito foi observado que os movimentos de avanço da foz não influem, praticamente, na evolução do curso de água a montante. Igualmente, os trechos em rochas também não são totalmente fixos e sofrem alterações muito lentas, devido à força de abrasão dos materiais de transporte. Mas sob o ponto de vista da hidráulica fluvial, esses movimentos são tão lentos que são considerados estáveis. A observação direta do fenômeno da modelação permitiu reconhecer os princípios gerais que regem o seu desenvolvimento.

Sabe-se que na corrente líquida em movimento, independente da velocidade dela, existe o que se denomina índice de saturação de sedimentos I_{ss} . Este índice vai condicionar se o rio naquele trecho e momento está erodindo ou assoreando suas margens e leito. Se a quantidade de sedimentos transportados pela corrente líquida estiver maior que I_{ss} , o rio estará depositando naquele trecho, se a quantidade de sedimentos transportada pela corrente líquida estiver menor que I_{ss} , e o material de constituição do leito e margens permitirem, o rio estará erodindo naquele trecho.

Princípio da Saturação: Uma corrente de água de vazão (Q) tem a capacidade de veicular uma certa quantidade máxima. de material sólido (I_{ss}) que indicar-se-á como valor limite de saturação. Este valor depende de (Q), da declividade longitudinal(i), de um fator de forma que pode-se identificar com o coeficiente de forma (R), raio hidráulico e finalmente, da granulometria (d) e do peso específico (γ) do material transportado. Seja Q_s o transporte sólido proveniente da erosão da bacia efetivamente veiculada pela corrente, se $Q_s > I_{ss}$, haverá sedimentação, todavia se $Q_s < I_{ss}$, haverá tendência à erosão.

Princípio da Declividade: A sedimentação e a erosão objetivam aproximar os valores (I_{ss}) e (Q_s) que procuram alterar a declividade do fundo e a secção transversal do álveo, perseguindo seu intento. Chamando de turbidez a relação entre descarga sólida (Q_s) e descarga líquida (Q), a declividade de equilíbrio será tanto maior, quanto maior for a turbidez e quanto menor for o (n) Coeficiente de rugosidade de Manning e o raio hidráulico da seção transversal (R); elementos estes que influem diretamente sobre a velocidade média de escoamento. Considerando, entretanto, o caso de turbidez nula (águas claras), para uma mesma vazão, a declividade de equilíbrio será tanto maior quanto maior for a granulometria



dos materiais que constituem o álveo e quanto menor for (n) e o raio hidráulico. Pode-se deduzir, então, que quando se verifica a condição $Q_s > I_{ss}$, a tendência para o equilíbrio dará lugar a sedimentação, com relativo aumento da declividade do fundo. Ao mesmo tempo, a conseqüente diminuição da turbidez e, eventualmente, do perímetro molhado (com aumento possível do raio hidráulico médio) conduzem a condição de equilíbrio. Por outro lado, se verifica que $Q_s < I_{ss}$, haverá erosão, com diminuição da declividade de fundo, sendo que a mesma erosão terá início em correspondência a um nível de base e se propagará para montante. Ao mesmo tempo, o aumento de turbidez e, eventualmente, do perímetro molhado, funcionam também como elementos equilibradores. Cabe acrescentar que as variações de declividade ocorrem pelas alterações concomitantes de dois elementos, isto é, o percurso e o desnível entre as extremidades de um determinado trecho do curso de água.

Princípio da Seleção: Este princípio congloba os seguintes pontos: verificando-se condições para a sedimentação, esta inicia-se com os materiais da granulometria maior. A erosão, todavia, tem início com os materiais mais finos. Se afluírem para a corrente materiais de dimensões superiores a uma parte dos materiais que constituem o álveo, verificar-se-á um intercâmbio. Os elementos de granulometria maior, transportados pela corrente, depositam-se no álveo, enquanto uma quantidade equivalente dos elementos mais finos do álveo entrarão em suspensão na mesma corrente. Subsiste, logo, a tendência da distribuição do material sólido, entre o álveo e a corrente, de modo que os elementos veiculados pela mesma, sejam todos de granulometria inferior aos materiais do álveo. Este fenômeno é explicado, considerando duas circunstâncias possíveis. Se o álveo é constituído por partículas de diferente granulometria e a declividade real supera a declividade de equilíbrio das mais finas, porém é inferior à declividade de equilíbrio das mais grossas, ter-se-á apenas a erosão dos primeiros. O perfil de equilíbrio será atingido pela seleção da granulometria dos materiais de fundo. De maneira análoga, se a corrente veicula materiais de granulometria diversa e a declividade real permite somente o transporte dos mais finos, haverá depósito dos mais grossos e a declividade de equilíbrio será atingida pela seleção dos materiais transportados pela corrente.

Conclui-se que, ao longo de um curso de água, uma vez alcançadas as condições de equilíbrio, as declividades e as granulometrias do álveo decrescem de montante para jusante, assim como as máximas dimensões dos materiais susceptíveis de serem veiculados pela corrente.

Pelos princípios enunciados permitem objetivar a sucessão e as modalidades das fases evolutivas da modelação. O ato inicial ou fundamental da modelação é a erosão que, ao socavar, dá lugar às primeiras formas do álveo. A modelação poderá ocorrer, em alguns trechos do álveo, por erosão e em outros por sedimentação dos materiais provenientes de montante, pela erosão do álveo e das ladeiras da bacia hidrográfica.

Os álveos e as formas correspondentes à configuração geomorfológica da bacia evoluem para uma condição de equilíbrio. Por consequência, diminui lentamente a intensidade da erosão até se anular. Concomitantemente, devido à redução da turbidez, aumenta a capacidade de erosão da corrente, também nos trechos onde se verifica, inicialmente, a sedimentação. Esta representa, pois, no processo evolutivo apenas uma fase transitória. Por outro lado, nos trechos em que a modelação se procede por erosão, esta nunca poderá ser interrompida por fases de sedimentação, uma vez que o afluxo sólido excetuando casos acidentais somente tende a diminuir. Conclui-se, portanto, que também o ato final da modelação é a erosão. As modalidades da modelação dependem essencialmente das características altimétricas da bacia.

Erosão: Quando a evolução se processa por erosão (excesso de declividade longitudinal) e os talvegues resultam bem individualizados devido aos acidentes do terreno, os álveos formam-se por aprofundamento e mantém-se mais ou menos, o andamento dos próprios talvegues. Se, entretanto, os talvegues se apresentam indefinidos, os álveos formam-se por alongamento que dão lugar a tortuosidades ou meandros. Observa-se que durante a propagação da erosão para montante, pode-se aflorar umbrais rochosos que constituem novos níveis de base e dividem o trecho de origem em trechos parciais, separados por saltos ou cachoeira.

Sedimentação: Nos casos de evolução por sedimentação os álveos mantêm-se bem estáveis, pois que qualquer alongamento resultaria incompatível com a tendência de aumento das



declividades. Os materiais que se depositam progressivamente, desde os níveis de base para montante, podem cobrir uma parte dos mesmos, unificando trechos originariamente diferentes. Os cursos de água (ou trechos) em que processo da modelação se apresenta com evidente intensidade e que, por consequência, estão muito longe de atingir as condições de equilíbrio, chamam-se torrenciais.

Nos trechos em que a evolução se tornou muito lenta, de modo a não ser perceptível em prazos longos de muitos anos, chamam-se estáveis, estabilizados ou aluviais. Entre estes e as torrentes temos, naturalmente, formas intermediárias.

Em seguida à fase inicial, o valor médio do afluxo sólido que é proveniente da erosão causada por ladeiras, pode permanecer durante longos períodos, praticamente constante, então, o curso de água tende a uma configuração planialtimétrica de compensação.

Sucessivamente, devido à diminuição das declividades, diminuem gradativamente a erosão das ladeiras, que tendem para uma configuração de equilíbrio, que será atingida ao cessar por completo a mesma erosão. Simultaneamente verificar-se-á a progressiva diminuição da turbidez da corrente, e o relativo aumento da capacidade de erosão, que será máxima quando as águas se tornarem claras. Após esta fase de evolução lentíssima, na qual prevalecem os efeitos médios da erosão, vem a chamada fase de estabilidade e termina na fase de fixidade, quando o curso de água atingir a sua forma e o seu perfil definitivo de equilíbrio.

Os cursos de água são classificados em duas categorias essenciais: as torrentes e os rios.

As Torrentes, como foi visto anteriormente, caracterizadas pela intensidade da modelação, cuja evolução ocorre nos períodos das enchentes. A origem da torrente é uma incisão inicial produzida numa vertente de forte declividade e susceptível de erosão. Em seguida, verifica-se o aprofundamento do sulco, a erosão superficial e o derrubamento das beiradas que se alargam, transformando-se em ladeiras íngremes, mais ainda sujeitas à erosão, devido à falta de camadas vegetais, capazes de consolidar a superfície do terreno. Sobre as novas ladeiras, ter-se-ão novos sulcos que evoluindo da mesma maneira que o sulco inicial, formarão uma rede de álveos (rede hidrográfica), cuja área de drenagem objetiva, justamente, a bacia da torrente. No vértice da ramificação tem início um trecho de álveo único e encaixado, chamado canal ou garganta, que desemboca no vale onde se escoar o curso de água receptor. Durante as enchentes, a corrente que desemboca da garganta,



cruzando o vale de limitada declividade, sedimentam os materiais grossos, formando o cone de dejeção, onde as águas se espalham com irregularidade, pela dificuldade de socavar um único sulco. O cone de dejeção pode faltar, se os materiais transportados são finos e a declividade transversal do vale é suficiente para evitar a sedimentação. Gradativamente, em virtude da diminuição das declividades e, eventualmente, das obras artificiais visando a consolidação, as ladeiras aproximam-se da condição de equilíbrio. Diminui, portanto, também o material proveniente da erosão e por consequência, a turbidez da corrente. Inicia-se, então a fase de socavação dos álveos da bacia e do canal, cujas declividades longitudinais resultam, em geral excessivas e, outrossim, a incisão do cone de dejeção, onde se forma um álveo unicursal ou pluricursal. Atingida a normalização dos álveos, pode-se considerar terminada a fase torrencial; diz-se, então, que a torrente está apagada.

Os rios são cursos de água de notável comprimento em que, o processo evolutivo se desenvolve muito lentamente. Em um rio, pode-se distinguir três trechos característicos:

Trecho montanhoso ou de erosão: constando de uma série de álveos convergentes que terminam na cabeceira de um vale ou de uma planície.

Trecho aluvional: no sopé da zona montanhosa, onde se verifica a sedimentação dos materiais de granulometria decrescente desde montante para jusante. Os depósitos ocupam toda a largura dos vales estreitos enquanto, nos vales largos, formam conóides de dejeção. O álveo de enchente e de estiagem apresenta características distintas; o primeiro tem andamento retilíneo e o segundo consta de uma rede de ramificações instáveis. À medida que diminui a erosão no trecho montanhoso, pode ocorrer que, no trecho aluvional, as declividades resultem excessivas em relação à diminuição da turbidez da corrente. Ter-se-á, então, a formação de um álveo unicursal tortuoso. Se, entretanto, não forem atingidas as condições necessárias para a erosão, o álveo ramificado de estiagem tornar-se-á praticamente estável. A sua configuração sofrerá apenas aquelas alterações que são produzidas pela passagem das enchentes e que consistem no aterro de alguns ramos e o aprofundamento de outros. Os álveos pluricursais estáveis são característicos dos conóides de dejeção.



Trecho de planície ou de incisão: Aonde a corrente chega relativamente clarificada, em virtude das precedentes sedimentações, acontece, em geral, que as declividades longitudinais do terreno superam as correspondentes de equilíbrio. Forma-se, então, pela erosão, um álveo unicursal tortuoso, com progressivo alongamento do percurso, até se atingirem as declividades relativas à condição de compensação. As referidas tortuosidades são constituídas por uma sucessão de curvas ou meandros que concordam em pontos de inflexão (concavidades alternadas) ou, excepcionalmente, de surflexão (curvatura no mesmo lado). A curvatura varia ao longo do meandro, sendo máxima no centro ou vértice e nula nos pontos de inflexão ou surflexão. Analogamente acontece com a profundidade da água que é máxima na proximidade do vértice e mínima na proximidade das inflexões ou surflexões. Às seções de máxima profundidade correspondem os sorvedouros e às seções de mínima profundidade correspondem as soleiras do álveo.

A linha que une os pontos mais profundos de cada seção transversal chama-se talvegue do álveo. Este talvegue passa pelo centro da seção transversal, simétrica, nas soleiras, deslocando-se progressivamente para a beira côncava e atingindo a mínima distância nos sorvedouros. Nos reservatórios artificiais provocados por qualquer tipo da ação antrópica, as leis da geomorfologia funcionam da mesma forma anteriormente descrita. Como a velocidade da corrente terá uma sensível diminuição a tendência natural é a deposição dos sedimentos por ela veiculada. A relação entre a quantidade de sedimentos depositados ou retidos no reservatório e o que passa livremente para jusante sobre o barramento (eficiência de retenção) vai depender entre outros fatores, principalmente da magnitude do seu volume de água armazenada e especificamente o volume útil.

Tem-se desta forma o fenômeno da modelação, que somente termina quando o equilíbrio entre estas duas ações for estabelecido. Desde então o álveo será considerado estável. Para que este estado de equilíbrio ocorra as forças hidrodinâmicas envolvidas na modelação tem que atingir à três princípios.

a – Princípio da Saturação

Uma corrente líquida de vazão (Q), tem a capacidade de veicular uma certa quantidade máxima de partículas sólidas em suspensão (Q_{smax}), denominada Valor de saturação. Este Q_{smax} depende de Q , da declividade longitudinal (i), de um fator de forma (R), da

granulometria (d) e do peso específico (λ_s) dos sedimentos em suspensão. Considerando (Q_{sa}) a quantidade de sedimento em suspensão veiculada pela corrente líquida no local de interesse, tem-se duas condições:

1 - Ocorrerá sedimentação quando $Q_{sa} > Q_{smax}$

2 - Ocorrerá erosão quando $Q_{sa} < Q_{smax}$

b – Princípio das Declividades

A erosão e a sedimentação trabalham no sentido de tentar igualar a desigualdade

$$Q_{sa} > Q_{smax}$$

No propósito de atingir este equilíbrio, alteram de forma contínua e ininterrupta a declividade do fundo e a seção transversal do álveo.

Quando se verifica a condição (1), a condição para o equilíbrio ocorre com a sedimentação e o relativo aumento da declividade do álveo (trecho de álveo da planície sedimentar). Na condição(2), ocorre o contrário, ocorrerá erosão com diminuição da declividade do fundo (trecho de álveo de cabeceiras).

c – Princípio da Seleção Granulométrica

- As condições para a sedimentação inicia com os materiais de granulometria maior;
- A erosão entretanto inicia com os materiais mais finos;
- Os elementos veiculados pela corrente são em sua maioria de granulometria inferior ao material do álveo. Se fluírem para a corrente materiais de granulometria superior a grande parte dos materiais que constituem o álveo, verificar-se-á um intercâmbio entre os elementos de granulometria maior que transitam em suspensão depositando no álveo enquanto uma quantidade equivalente de elementos mais finos do álveo passando a transitarem em suspensão na corrente.

Segundo Quadros, Ruth Maria Bianchin são duas as principais forças envolvidas na desagregação e posterior Movimento de uma partícula coesiva em um meio aquoso



repousando em uma superfície com um ângulo α . Forças de inércia e forças de resistência
Figura 11. No equilíbrio tem-se:

$$F + F'g \sin \alpha = F'g \cos \alpha \tan \phi + F_c$$

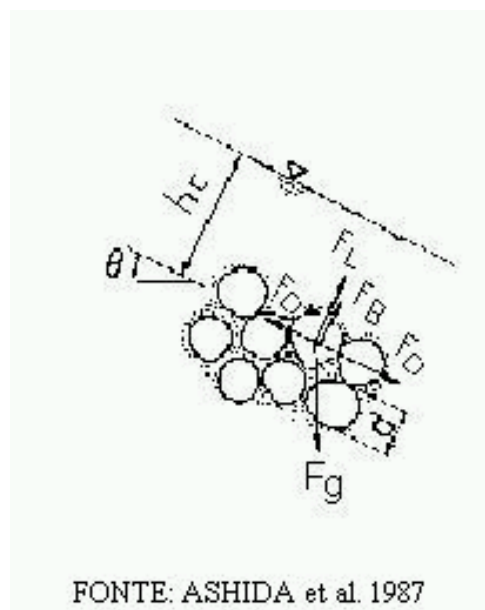
onde ϕ é o ângulo de atrito; F representa a força de inércia que tende a provocar a desagregação da partícula, e F_c é a força coesiva que age em sentido contrário. O coeficiente de atrito, $\tan \phi$ é dado pela razão entre a força aplicada sobre a partícula e a reação normal, R_n , igual ao peso da partícula sobre a superfície horizontal, ou seja:

$$\tan \phi = F/R_n$$

simplificando tem-se :

$$F = F'g(\tan \phi - \tan \alpha) + F_c$$

Figura 24.9. Forças Atuando em um Agregado.



Mais especificamente, pode-se determinar o efeito da coesão no movimento, considerando uma partícula de areia, dentro de uma mistura areia-argila, sob condições críticas para o início do movimento, em um escoamento de profundidade h_c , em um canal com ângulo α . Nesse estudo, considerou-se que existe pouca argila na mistura (só enchendo os vazios entre as partículas de areia) e que as forças de atrito e coesão atuam sobre as partículas de areia.

Admitindo que a força de atrito na mistura é a mesma que existiria se não houvesse argila, a condição para o início do movimento, conforme a Figura 06, é dada por

$$F'd + F'g \sin \alpha = (F'g \cos \alpha - F_l - F_b) \tan \phi + F_c$$

onde F_b é a força de empuxo. Desta equação obtém-se a tensão de cisalhamento crítica adimensional (τ_{cc}), para partículas de areia em uma mistura com areia-argila, ou seja:

$$\tau_{cc} = u_{2c} / ((\rho_p / \rho) - 1) g d = (\cos \alpha \tan \phi - (\rho_p / (\rho_p - \rho)) \sin \phi) \tau / (g (\rho_p - \rho) d \tan \phi) + (k_1 f_c / ((\rho_p - \rho) g k_3 d) \times (\tau / ((g (\rho_p - \rho) d \tan \phi)))$$

onde k_3 é um fator de forma para as partículas de areia. O último termo da equação anterior dá a quantidade de aumento da força de atrito devido ao teor de argila.

A seguir são mostradas as principais equações utilizadas para a determinação da taxa de desagregação de partículas coesivas, tanto para sulcos como voçorocas, onde as forças coesivas são determinadas, empiricamente. Estes estudos empíricos objetivando quantificar os princípios da modelação de forma a permitir qualificar ou classificar em que estágio da modelação encontra-se o trecho do rio objeto de estudo de um determinado local de interesse, remontam a meados do século passado envolvendo estudos em canais de irrigação, estáveis, construídos em território indiano. A primeira contribuição que se tem notícia foi a de Kennedy (1895), que classificou ou direcionou os estudos em duas vertentes. Equações baseadas na teoria do regime hidrodinâmico do canal e equações baseadas na teoria do Transporte de sedimentos. Nesta época, trabalhando nas observações das vazões dominantes (de seção plena) e respectiva geometria. A descarga dominante foi definida como a descarga que, caso houvesse um escoamento constante teria o mesmo efeito sobre toda a forma do canal como se fosse a descarga natural inconstante. A descarga dominante usada em estudos de estabilização de canal é normalmente considerada como aquela de transbordamento ou a descarga de pique tendo um intervalo de recorrência de aproximadamente dois anos num canal sem controle resultando na seguinte equação geral.

$$V = 1,29 \cdot m \cdot h_m^{0,24}$$



Onde:

V = velocidade média na seção;

h_m = profundidade média;

m = fator que dependa da natureza do material de fundo, tendo um valor normal para as areias médias igual a unidade e assumindo valores de 1,1 a 1,2 para as areias grossas e 0,8 a 0,9 para as areias finas.

O uso das equações baseadas na teoria do regime hidrodinâmico do canal foi recomendada para situações de baixas taxas de transporte de sedimentos, inferior a valores da ordem de 500 ppm para a vazão modeladora. Em situações onde a corrente líquida veicula taxas de sedimentos acima de 500 ppm recomendou-se a utilização das equações baseadas teoria do transporte de sedimentos.

Dentre os diferentes métodos empíricos existentes para se qualificar em que estágio da modelação encontra-se o trecho do rio, escolheu-se como procedimento de trabalho duas metodologias a seguir descritas:

- Método do Regime Hidrodinâmico do canal e do;
- Transporte de Sedimentos.

a) – Equações Baseadas no Regime Hidrodinâmico do Canal

As equações de Lacey(1958) admitem a simplificação de que a seção tenha uma largura da ordem de 20 vezes o valor da profundidade e que possa ser considerada retangular. Para as análises que serão feitas neste trabalho é bastante razoável fazer estas considerações, sem que se altere o conteúdo das conclusões.

Surgiram outras contribuições que resultam de algumas modificações do método de Lacey. Para efeito de confrontação com este método, será analisado um segundo conjunto de equações propostas por Blench (1957) e outro de Simons e Albertson (1963), dentro desta mesma escola:



Equações de Lacey (1958)

$$f = 55,7 \cdot D^{0,5}$$

$$V = 0,439 \cdot Q^{1/6} \cdot f^{1/3}$$

$$B = 4,84 \cdot Q^{1/6}$$

$$A = 2,27 \cdot Q^{5/6} \cdot f^{-1/3}$$

$$R_h = 0,572 \cdot Q^{1/3} \cdot f^{-1/3}$$

$$i = 0,000302 \cdot Q^{-1/6} \cdot f^{5/3}$$

$$P = A/R_h$$

Onde:

- f = fator de sedimentação de Lacey
- D = diâmetro do material do leito (m) = D₅₀ da curva granulométrica
- V = velocidade média na seção (m/s)
- Q = vazão modeladora (m³/s)
- B = largura superficial da linha d'água, também tomada como perímetro molhado (m)
- A = área da seção de escoamento plena (m²)
- R_h = raio hidráulico (m)
- i = declividade da linha de energia (m/m)
- h_m = profundidade média da lâmina d'água (m)

Equações de Blench (1957)

$$V = 7,75 \cdot D^{0,25} \cdot h_m^{0,5}$$

$$B = 17,33 \cdot D^{0,25} \cdot Q^{0,5}$$

$$A = 0,66 \cdot D^{-0,083} \cdot Q^{0,83}$$

$$R_h = 0,0381 \cdot D^{-0,333} \cdot Q^{0,333}$$

$$i = 0,077 \cdot D^{0,417} \cdot Q^{-0,167}$$



Equações de Simons-Albertson (1963)

$$V = 10,8 \cdot R_h \cdot i^{1/3}$$

$$B = 4,74 \cdot Q^{0,512}$$

$$A = 2,25 \cdot Q^{0,873}$$

$$R_h = 0,475 \cdot Q^{0,361}$$

$$i = 0,000369 \cdot Q^{-0,343}$$

b) - Equações Baseadas na Teoria do Transporte de Sedimentos do Canal

As equações baseadas na Teoria do Regime Hidrodinâmico do Canal admitem uma taxa de transporte sólido algo inferior a 500 ppm. Enquanto que, quando o transporte sólido for mais significativo é conveniente considerar-se as equações de resistência do fundo móvel denominadas de transporte sólido de Sedimentos do canal. Foram escolhidas as equações empíricas de Engelund-Hansen (1966) e Brownlie (1981),

Engelund-Hansen(1966)

$$V = 10,97 R_h^{5/4} \cdot i^{9/8} \cdot d^{-3/4}$$

$$B = 0,786 \cdot Q^{0,525} \cdot d^{-0,316}$$

$$A = 0,0849 \cdot Q^{0,842} \cdot d^{-0,106} \cdot (Q_s/Q)^{-0,286}$$

$$R_h = 0,108 \cdot Q^{0,317} \cdot d^{0,210} \cdot (Q_s/Q)^{-0,286}$$

$$i = 12,8 \cdot Q^{-0,212} \cdot d^{0,527} \cdot (Q_s/Q)^{0,571}$$

Onde (Q_s/Q) foi adotado com a condição limite desta teoria, 500 ppm, ou seja, 0,0005 kg/kg.

Brownlie (1981)

$$V = 14,31 \cdot d^{-0,029} \cdot R_h^{0,529} \cdot i^{0,389}$$

$$B = 13,9 \cdot R_h^{1,43}$$

$$A = 0,0783 \cdot d^{-0,146} \cdot Q^{0,879} \cdot (Q_s/Q)^{-0,239}$$

$$R_h = 0,118 \cdot d^{-0,060} \cdot Q^{0,362} \cdot (Q_s/Q)^{-0,0985}$$

$$i = 13,54 \cdot d^{0,531} \cdot Q^{-0,181} \cdot (Q_s/Q)^{0,749}$$



PRINCIPAIS TIPOS DE DEGRADAÇÃO DOS SOLOS NAS ASD

Dentre os principais tipos de degradação dos solos, citam-se os abaixo relacionados.

1. Erosão hídrica: perda de horizontes superficiais, alteração do terreno, movimentos de massa, deposição. **(Erro! Fonte de referência não encontrada.01 e 02).**
2. Erosão eólica: perda de horizontes superficiais, deformação do terreno, movimentos de massa, deposição.
3. Química: perda de nutrientes e/ou matéria orgânica, desbalanço de nutrientes, salinização, acidificação, poluição.
4. Física: compactação, selamento, encrostamento, inundação, aeração deficiente, excesso ou falta de água, destruição da vegetação por períodos prolongados.



Foto 24.1. Erosão em Sulcos em Área de Solos sódicos e Solódicos com Pedregosidade Superficial.



Foto 24.2. Efeitos da Erosão em Luvisolo Crômico Vértico Fase Pedregosa Relevo Suave Ondulado.

PRINCIPAIS TIPOS DE DEGRADAÇÃO DOS SOLOS NAS ÁREAS IRRIGADAS

Nas áreas irrigadas do Nordeste pode haver e ter havido degradação do solo, principalmente pela salinização (OLIVEIRA, 1996 e 1999; SAMPAIO & SALCEDO 1997). Do ponto de vista de alternativas químicas para recuperação de solos degradados por salinização, e em processo de desertificação, cita-se o uso do gesso, assim como o enxofre elementar. Ambos tem-se mostrado bons corretores para remoção de sais. Contudo, as práticas mais comuns para esse tipo de recuperação estão além das condições financeiras da maioria dos agricultores. Em relação aos aspectos pedológicos, as regiões mais vulneráveis ao processo de salinização na área de influência do Projeto ficam por conta dos municípios de Santana do Matos – RN e Triunfo – CE, no trecho norte e Sertânia e Boqueirão, no trecho leste, para a ocorrência dos Solonetz Solodizados. Os Planossolos Solódicos e Salinos encontram-se distribuídos

principalmente nas localidades de Jaguaretama, Cabrobó, Parnamirim, Salgueiro, Terra Nova e Ouricuri, no trecho norte e Floresta, Betânia, Sertânia e Custódia, no Tramo V (Mapa das áreas sujeitas a desertificação).

Entretanto, o maior risco encontra-se na agricultura de sequeiro, especialmente na itinerante, com suas queimadas, erosão e perda de nutrientes. Nessa região, a agricultura está em declínio, à exceção das irrigadas, pelas baixas produtividades e rentabilidades. Todavia, essa agricultura ainda é muito expressiva, pois continua a representar a subsistência de grande parte da população rural da região, usando como mão – obra; velhos, crianças e mulheres. A mão-de-obra mais capaz está migrando para procurar emprego em outros lugares mais promissores. A derrubada da vegetação para produção de lenha e carvão é outro fator de degradação cujo efeito tem sido pouco estudado.

Apesar de ocorrerem solos frágeis e de pouca sustentabilidade ao uso agrícola nessas áreas, observa-se sua utilização com a pecuária e cultivo da palma forrageira, caracterizando-se aí uma distorção de uso, favorecendo o processo de degradação e, conseqüentemente, a intensificação dos processos de desertificação.

Diante desse quadro de complexidade, pode-se afirmar que combater a desertificação pressupõe desenvolver ações para controlar e prevenir a degradação e seu avanço e, quando possível, recuperar áreas degradadas para uso produtivo. Para isso, consideram-se as soluções técnicas e as decisões políticas os pontos básicos para resolução do problema. Pode-se acrescentar que combater a desertificação implica, sobretudo, influir no comportamento social, econômico e político da sociedade.



Foto 24.3. Aspectos da Caatinga Moderadamente Degradada ao Longo da Estrada Cabrobó - Santa Maria, PE.



ANEXO 24.3: Descrição dos dispositivos de contenção de água das chuvas visando à recarga dos aquífer

ANEXO 24.3 - DESCRIÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA DAS CHUVAS VISANDO A RECARGA DOS AQUÍFEROS

Serão propostos os seguintes dispositivos:

- 1) - Terraceamento nas Encostas com Revegetação e Plantio em Curvas de Nível;**
- 2) - Barraginhas de Contenção nos Talvegues;**
- 3) - Barragens Subterrâneas nos Vales em Aluviões;**
- 4) - Poços Sumidouros nas Comunidades.**

1) - TERRAÇOS

As práticas mecânicas de contenção de água e controle de erosão são procedimentos em que se recorrem às estruturas artificiais de terra, formadas por corte (canal) e aterro (camalhão) dispostas adequadamente em relação ao declive do terreno, com a finalidade de parcelar o comprimento da rampa, possibilitando desta forma a redução da velocidade da água e sub dividindo o volume do deflúvio superficial para possibilitar a sua infiltração no solo, aumentando desse modo a recarga dos aquífero, de forma a diminuir o escoamento superficial, acarretando a laminação dos picos das cheias, aumentando o nível mínimo dos rios nas estiagens e diminuindo os imensos prejuízos com a redução da perda da camada fértil do solo com suas conseqüências nefastas, bem como aumentando o índice de umidade para as plantas ao longo do tempo.

Um dos dispositivos de contenção de água bastante utilizado é o terraço, constituindo-se em uma das praticas mecânicas mais antigas e eficientes de controle de erosão das terras cultivadas, sendo formado por um canal e um camalhão ou dique levantado com a terra revolvida do canal, com o objetivo de seccionar a lançante, diminuindo o seu comprimento e, consequentemente, a velocidade das enxurradas. É uma Pratica de uso secular, já que sinais evidentes de seu emprego na idade antiga ainda hoje podem ser observados eu algumas regiões do Oriente Médio e da Ásia. Os terraços tem como princípio o seccionamento ou subdivisão dos comprimentos da rampa de forma a interceptar a enxurrada antes que ela se avolume e atinja alta velocidade ganhando poder erosivo.

Antes da adoção desta tecnologia deve ser feito um estudo criterioso das condições locais de clima, solo, declividade do terreno, sistema de cultivo e tipo de culturas a serem implantadas, e equipamento disponível para que se tenha segurança e eficiência no



funcionamento do dispositivo, de forma a atingir seu objetivo, que é o controle da perda da água e do solo das áreas cultivadas.

A região Centro Oeste composta pelos estados de Goiás Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal, adota hoje para dimensionamento de seus terraços, a equação experimental do Estado de São Paulo adaptada pela EMBRAPA Centro de Pesquisas Agropecuária do Cerrado. Esta equação utilizada no cálculo do espaçamento dos terraços em todo o Estado de Goiás teve sua origem no Estado de São Paulo, principalmente do antigo Departamento de Engenharia Agrícola, DEMA (extinto) e da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), onde as pesquisas foram desenvolvidas. Nos primórdios de sua utilização, com raras exceções, muitos terraços foram construídos inadequadamente com seções insuficientes, rompendo-se com facilidade quando das chuvas mais erosivas da região. Isto era devido principalmente ao fato dos agricultores diminuírem o número de passadas das máquinas para fazerem economia na construção, acarretando funestas consequências para a credibilidade de sua eficiência.

CÁLCULO DO ESPAÇAMENTO DOS TERRAÇOS

O cálculo do espaçamento das estruturas de contenção das águas das chuvas (terraços e barraginhas) será feitos com a utilização da equação recomendada pelo Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC/EMBRAPA) baseada nas fórmulas:

$$E_v = (2 + D/X) * 0,305$$

E_v = Espaçamento vertical entre as estruturas, em metros;

D = Declividade do terreno em %;

Onde:

$x = 2,5$ para solos argilosos;

$x = 3,0$ para solos de textura media;

$x = 3,5$ para solos de textura arenosa.

Sendo o espaçamento horizontal em metros E_h , calculado pela fórmula:

$$E_h = (E_v/D) * 100$$

Estas fórmulas devem ser usadas para terrenos com declividades compreendidas entre **3% < D < 18%.**



O espaçamento do terreno E_t pode ser do teorema de Pitágoras, onde:

$$E_t = (E_h^2 + E_h^2)^{0,5}$$

Para pequenas declividades, na prática $E_h = E_t$

Para o Estado de São Paulo, BERTONI (1959). Utilizando dados de determinações e perdas por erosão obtidos nos principais grandes tipos de solo do Estado de São Paulo. (PAIVA NETO et al., 1951) numa media de dez anos de observações em talhões coletores com diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, sob culturas anuais, desenvolveu estudos que permitem calcular as perdas médias de solo para os diferentes graus de declive e comprimento de rampa. Como o terraceamento se baseava, essencialmente, no efeito do grau de declive e do comprimento da rampa, propõe uma equação que foi utilizada para determinar espaçamentos de terraços e organizar as tabelas. A equação proposta por BERTONI (1959), sendo:

$$E_v = 04518 * K * D^{0,58}$$

Onde:

K = Índice variável para cada tipo de solo.

Posteriormente, BERTONI (1978) determinou o valor de K desta equação para a maioria das classes de solo do Estado de São Paulo, segundo BRASIL (1960) com base nos dados de tolerância de perdas de solo calculado por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975). As pesquisas demonstram que o uso e o manejo do solo influem grandemente nas perdas por erosão, assim a equação inicial foi modificada segundo a seguinte proposta:

$$E_v = 0,4518 * K * D^{0,58} * (u + m) / 2$$

Onde:

u = fator de uso do solo;

m = fator de manejo do solo (preparo do solo e manejo de restos culturais). Para a organização da tabela de espaçamento de terraços utilizando a equação acima foram adotados critérios referentes a: solo; uso da terra; preparo do solo e manejo dos restos culturais e declividade. O critério referente ao solo será detalhado a seguir.

Baseado no índice **K** de BERTONI (1978), foram estabelecidos quatro tipos de solos com os índices a seguir para serem aplicados na equação.

Grupo

Índices

Grupo de Solos K

A	1,25
B	1,10
C	0,90
D	0,75

Os solos foram reunidos nesses grupos de acordo com qualidades e características específicas

TIPOS DE TERRAÇOS

Desde o início de sua utilização, os terraços vem sofrendo variações na sua forma em funções, sobretudo, das condições locais (clima, solo, declividade e sistema de cultivo) e da disponibilidade de maquinas e implementos para a construção e manutenção. Dai a existência, na atualidade, de diversos tipos de terraços que poderiam ser classificados de acordo com a sua função, modo de construção, dimensões e forma de seu perfil. Cada um atendendo melhor as condições específicas de cada gleba cultivada ou propriedade agrícola. Embora existam vários tipos de terraços a sua finalidade e sempre parcelar o comprimento da rampa evitando que o deflúvio superficial se avolume e ganhe velocidade suficiente para causar erosão, contribuindo para que esta água que certamente iria provocar a erosão do solo, contribua para aumentar a recarga do aquífero.

TERRAÇOS QUANTO A FUNÇÃO

A finalidade básica de todo terraceamento é o controle da erosão e a recarga dos aquíferos. Este objetivo é atingido por terraços que proporcionam a interceptação e o disciplinamento do escoamento superficial, ou por aqueles que, retendo a água do escoamento superficial promovam a sua infiltração no solo. Pode-se portanto, quanto a função, distinguir dois tipos básicos de terraços: terraços em desnível ou de drenagem, com gradiente, com função de interceptar e escoar disciplinadamente o excesso de água que se escoar superficialmente; e terraços em nível ou de infiltração com a função de reter o deflúvio superficial promovendo a infiltração da água no perfil do solo. No caso do projeto em questão, o terraço recomendado é o em nível, sendo portanto, apropriado para solos que possuam boa permeabilidade, possibilitando uma rápida infiltração das águas até as camadas mais



profundas. O terraço em desnível é indicado para solos com permeabilidade moderada ou lenta no seu perfil, que impossibilite uma infiltração em intensidade adequada das águas provenientes das chuvas. Portanto este tipo de terraço está sempre associado a canais escoadouros, sejam eles naturais ou artificiais com a finalidade de conduzir disciplinadamente as águas da chuva que excede a capacidade de infiltração do solo.

A escolha do tipo de terraço a ser construído, quanto a sua função, está ligada, principalmente as propriedades físicas do solo que determinam a permeabilidade da água no seu perfil, daí a importância do conhecimento da textura, estrutura, profundidade efetiva e permeabilidade da camada superficial e sub-superficial do solo, no planejamento de um terraceamento.

TERRAÇOS QUANTO A CONSTRUÇÃO

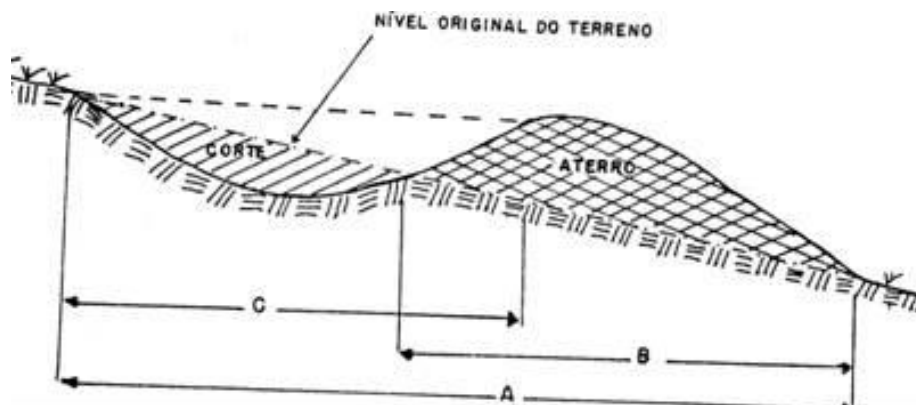
Na construção dos terraços para a formação do canal e do camalhão, a movimentação de terra pode ser feita de duas maneiras diferentes, dando origem a dois tipos básicos de terraços: o Nichols e o Mangum.

O terraço tipo Nichols é construído cortando-se a terra e movimentando-a sempre de cima para baixo. Portanto a terra que forma o camalhão é retirada da faixa imediatamente superior, resultando nela o canal. Este tipo de terraço apresenta o canal em forma triangular, podendo ser construídos em terrenos com declividades mais acentuadas. Tendo em vista que o camalhão é formado com a terra da faixa superior, através de “tombamentos” sucessivos sempre para baixo. o implemento que melhor rendimento apresenta para esta forma de construção é o arado reversível ou a patrol. Este tipo de terraço é o que recomendamos seja adotado neste projeto.

O terraço tipo Mangum, é construído movimentando a terra de uma faixa mais larga que o anterior, ‘cortando’ de cima para baixo e de baixo para cima, ora num sentido, ora no outro, alternadamente, em “passadas” de idas e voltas do implemento. São terraços com canais mais largos e rasos que o anterior e as seções do canal têm a forma trapezoidal. Este tipo de terraço pode ser construído com implementos fixos ou reversíveis e sua construção é facilitada em terrenos com declividades mais suaves.

Figura 24.18. Representação Esquemática de um terraço Genérico.





A faixa de Movimentação de Terra, B Camalhão ou Dique, C Canal.

Figura 24.19. Esquema de um Terraço Mostrando a retenção das águas da enxurrada com o Parcelamento do Declive.

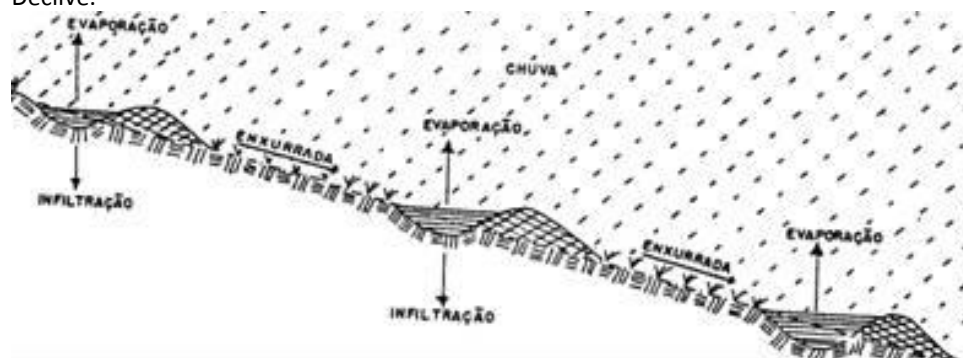
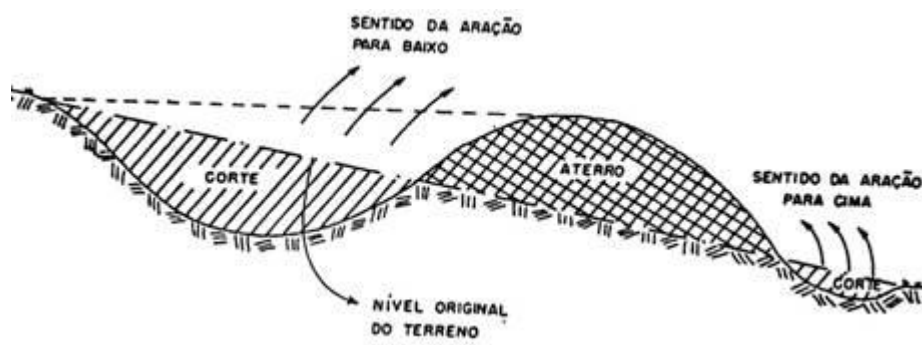


Figura 24.20. Terraço tipo Nichols construído com arado tombando somente de cima para baixo.



Figura 24.21. Terraço tipo Mangum Construído com arado tombando para baixo e para cima alternadamente.



Entre os implementos disponíveis nas propriedades agrícolas, que podem ser usados na construção de terraços citam-se o arado de tração animal ou mecânica, fixo ou reversível, de discos ou aivecas, draga em “V”, arado redemoinho, lamina acoplada ao trator de pneu, patrol ou motoniveladora, trator de esteira com lâmina e pá carregadeira. Em função do tipo de implemento disponível para a construção dos terraços podem ocorrer pequenas variações quanto a construção ou a forma dos tipos básicos apresentados.

TERRAÇOS QUANTO A DIMENSÃO

Considerando a dimensão do terraço ou seja a largura da faixa de movimentação de terra os terraços podem ser classificados em terraços: de base estreita, de base média e de base larga. O terraço de base estreita é construído em uma faixa de movimentação de terra de ate 3 metros de largura. Esse tipo de terraço é recomendado nas condições em que não seja possível instalar o terraço de base média ou larga. Não deve ser utilizado em áreas extensas com declividades inferiores a 15 -16% onde outras alternativas possam ser adotadas. Seu uso fica restrito portanto, as lavouras pequenas, em terrenos inclinados, em caso de deficiência de implementos de maior porte ou precariedade de recursos financeiros do agricultor. O terraço de base estreita é também conhecido como cordão em contorno, podendo ser construído com ferramentas manuais, com tração animal ou mecânica. O plantio e cultivos sobre a faixa desse tipo de terraço só pode ser feita com ferramentas manuais, não havendo possibilidade de mecanizá-la, daí serem recomendados para pequenas propriedades com baixos índices de mecanização agrícola.

Os terraços de base média são construídos em faixa de movimentação de terra com largura variando entre 3 (três) e 6 (seis) metros. São terraços que podem ser cultivados na maior parte de sua extensão, resultando uma perda de apenas 2,5 a 3,5% do total da área terraceada. Este tipo de terraço pode ser construído com arados de 3 (três) a 5 (cinco) discos



ou aivecas fixos ou reversíveis. São indicados para pequenas e médias lavouras onde exista disponibilidade de maquinaria de pequeno ou médio porte e a declividade do terreno esteja no máximo entre 10 e 12%.

Figura 24.22. Terraço de Base Larga.

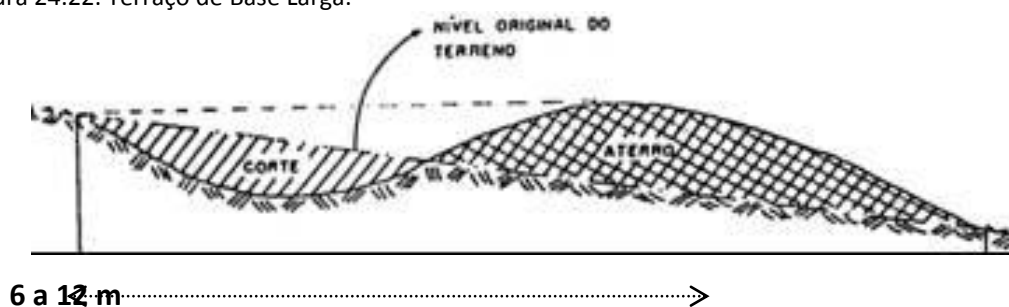


Figura 24.23. Terraço de Base Média.

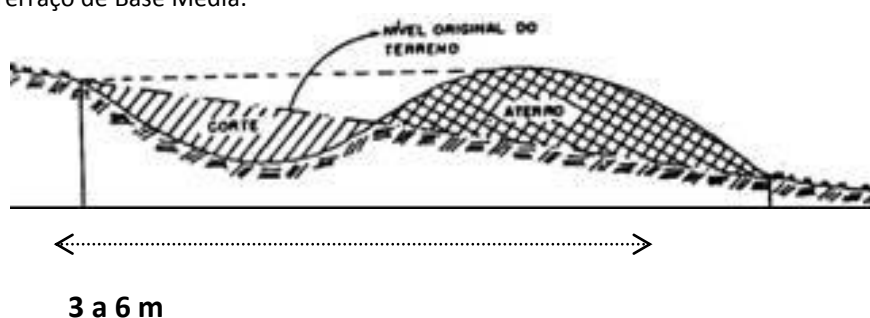
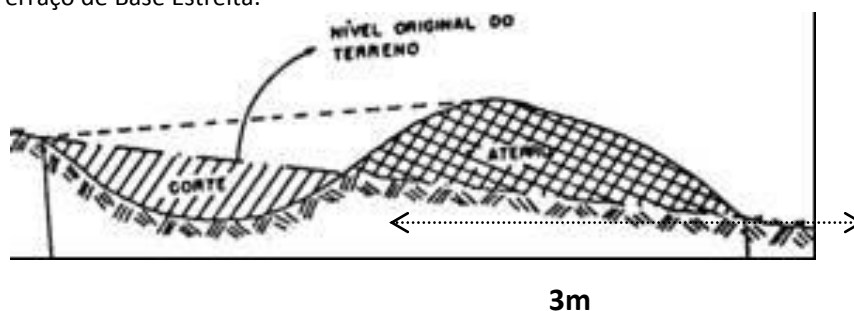


Figura 24.24. Terraço de Base Estreita.



Os terraços de base larga são construídos numa faixa de movimentação de terra com largura entre 6 (seis) e 12 (doze) metros. Este tipo de terraço, qualquer que seja o implemento usado na sua construção, constitui-se em solução ideal e definitiva para o controle da erosão. É recomendado para lavouras extensas em terrenos ondulados com declividade até 6 a 8%. Seu alto custo inicial é compensado ao longo dos anos, tendo em vista que pode ser cultivado em toda sua extensão, além de que sua manutenção é feita com o preparo normal do solo. Como neste caso o cultivo é da área total, não ocorre uma faixa sem plantio onde poderão

se multiplicar ervas daninhas, transformando-se em possíveis focos de infestação de doenças e pragas. Qualquer que seja o tipo de terraço há necessidade, de após a construção, fazer periodicamente a sua manutenção para que a capacidade de retenção de água do canal seja mantida ao longo do tempo. Seja o terraço de base estreita, média ou larga o seu dimensionamento (Seção do canal) deve ser calculado em função do espaçamento, regime pluviométrico, cultura a ser implantada, características físicas e o manejo do solo para que o seu canal tenha dimensões suficientes para reter águas do deflúvio superficial. Por outro lado a definição do tipo de terraço a ser construído é função do sistema de produção e exigência da cultura em tratos culturais. Pois a observação de campo tem mostrado que os terraços de base estreita e média se adaptam melhor nas áreas de culturas permanentes e os terraços de base larga facilitam os tratos culturais mecanizados das culturas anuais.

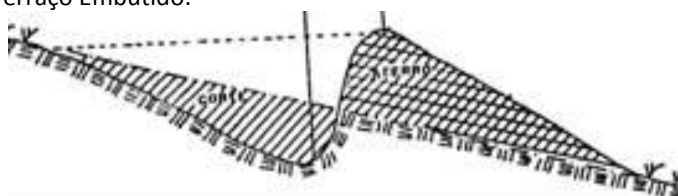
TERRAÇOS QUANTO A FORMA

Outra maneira de classificar os terraços é quanto a forma de seu perfil, podendo denominá-los de terraço comum e terraço patamar.

O terraço comum é uma construção de terra em nível ou em desnível composta de um canal e um camalhão ou dique. Este tipo de terraço é usado em condições normais de agricultura, em terrenos com declividade inferior a 18%. Grande parte das culturas econômicas brasileiras são implantadas em terrenos com declividades inferiores a 18%, portanto os terraços comuns são os mais usados.

Na figura 24.42, apresenta-se o terraço “embutido” mostrando o talude vertical e a pequena faixa que se deixa de ser aproveitada no plantio.

Figura 24.25. Terraço Embutido.



O terraço embutido caracteriza-se por ser construído de modo que o canal tenha a forma triangular, ficando o talude que separa o canal do camalhão praticamente na vertical. Este tipo de terraço tem boa aceitação entre os agricultores, tendo em vista a sua estabilidade e

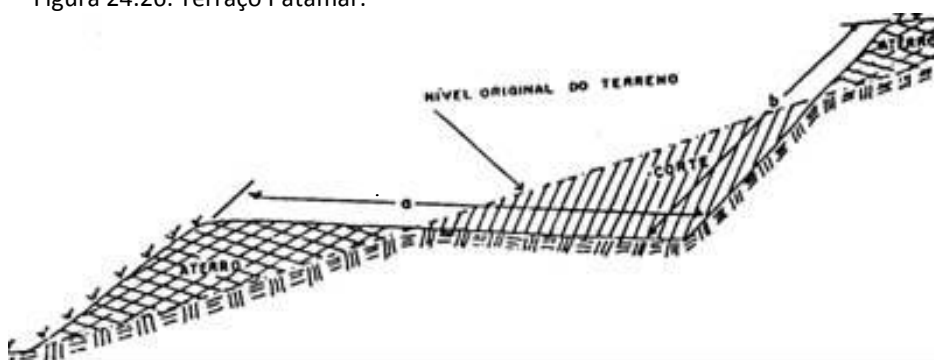
a pequena área inutilizada no plantio, construído normalmente com motoniveladora ou trator de lamina.

O terraço “murundum” ou “leirão” geralmente é construído com o trator de lamina movimentando grande volume de terra, caracterizando-se por ter um camalhão alto (+- 2,0 metros) e um canal em forma triangular. Este tipo de terraço, dada a grande movimentação de terra feita por máquinas pesadas, tem custo elevado em relação aos outros tipos. Dada a altura do camalhão, representar sério entrave ao trânsito de máquinas, além de redução da produção na faixa imediatamente superior, seja pela remoção do solo ou em alguns casos por problemas de encharcamento por períodos mais ou menos longos.

Os terraços em patamar são os verdadeiros terraços, sendo que deles se originaram os outros tipos de terraços. São utilizados em terrenos com declividade superior a 18%, sendo construídos transversalmente a linha de maior declive. O patamar não só controla a erosão, mas também facilita as operações agrícolas devido a sistematização do terreno. O terraço patamar é construído de uma plataforma onde são plantadas as culturas e de um talude que deve ser estabilizado com revestimento de grama ou outro tipo de vegetação.

Na figura 24.43, apresenta-se o perfil esquemático de um terraço patamar, mostrando a plataforma (a) com pequeno declive no sentido do talude e o talude (b) com inclinação variável em função da textura do solo.

Figura 24.26. Terraço Patamar.



A plataforma do terraço patamar deve ser limitada por um pequeno cordão de terra na superfície e ter pequena inclinação para o interior a fim de evitar o escoamento da água de um terraço para o outro imediatamente inferior. Caso ocorra escoamento de um terraço para outro pode provocar erosão no talude, pondo em risco todo o terraceamento.

Normalmente o terraço patamar é construído com trator de esteira com lâmina, mas em alguns casos podem ser feitos com implementos de tração animal e até manualmente. Este tipo de terraço, considerando seu alto custo de construção, só é viável economicamente em áreas valorizadas para culturas de alto rendimento.

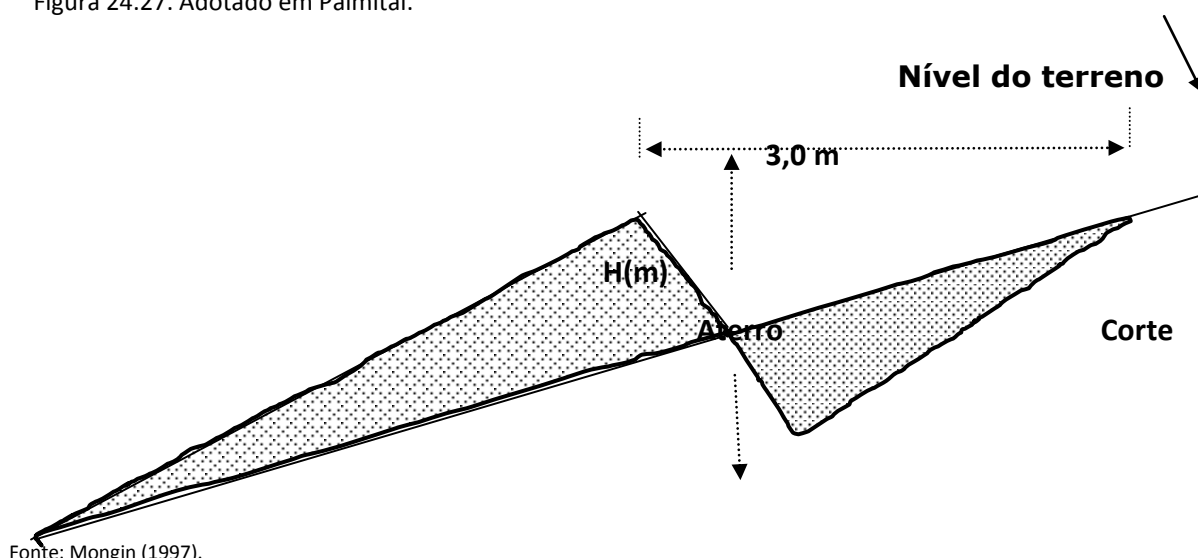
Uma variação do terraço em patamar é o terraço de irrigação que difere do anterior por ter a plataforma em nível, limitada por um pequeno cordão de terra, onde é feita a cultura com irrigação por inundação. Este tipo de terraço é muito usado no sudeste asiático em culturas irrigadas, principalmente arroz.

Quando se tem, no terreno, obstáculos, como pedras ou afloramentos rochosos, que não permitam a construção de patamares pode-se adotar uma variação do patamar que é a banquetta individual ou patamar descontínuo. A banquetta individual é construída manualmente, sendo indicada para culturas permanentes, pois cada planta é cultivada em uma pequeno terraço isolado.

DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DA MICROBACIA PALMITAL

Apresenta-se na Figura 38 e Quadro 12, um exemplo de dimensionamento das estruturas de contenção das águas das chuvas, calculado e adotado na bacia do rio Palmital município de Luziânia. Para as condições de solos daquela bacia. No Projeto executivo do MOGIDES, deverá ser definido o tipo de estrutura a ser adotada.

Figura 24.27. Adotado em Palmital.



Quadro 24.1. Dimensionamento dos Dispositivos de Contenção das Águas das Chuvas (terraços) na Bacia do Rio Palmital

GLEBA			VAZÃO			PARÂMETROS			TERRAÇO			
Nº Área	D %	Solo X	t _o (min)	I (cm/h)	Q(l/s)	V ₁ (m ³ /m)	E _v (m)	E _h (m) =L _o	E _t (m)	V ₂ (m ³ /m)	Base (m)	Altura (m)
1	9,6	2,6	9,33	5,15	0,571	1,11	1,74	18,1	18,2	1,11	3,00	0,74
2	37,0	2,6	6,70	7,17	0,452	0,63	4,95	13,4	14,3	0,63	3,00	0,42
3	22,0	2,6	7,55	6,36	0,470	0,74	3,19	14,5	14,9	0,74	3,00	0,49
4	38,0	2,6	6,66	7,21	0,452	0,62	5,07	13,3	14,3	0,62	3,00	0,41
5	9,4	2,6	9,37	5,12	0,575	1,12	1,71	18,2	18,3	1,13	3,00	0,75
6	11,2	2,6	8,94	5,37	0,545	1,01	1,92	17,2	17,3	1,01	3,00	0,67
7	6,6	2,6	10,34	4,64	0,656	1,43	1,38	21,0	21,0	1,43	3,00	0,95
8	8,6	2,6	9,60	5,00	0,593	1,19	1,62	18,8	18,9	1,19	3,00	0,79

Fonte: Mongin (1997)

2) – BARRAGINHAS SECAS DE DETENÇÃO

O projeto de recuperação de áreas degradadas terá como um dos seus componentes a construção de pequenas barragens ou “barraginhas secas” com o objetivo de promover a contenção do escoamento superficial, melhorar a recarga dos aquíferos, disponibilizar uma maior oferta de umidade ao solo, contendo desta forma o avanço progressivo do processo erosivo.

BARRAGINHAS SECAS CONSTRUÍDAS COM MATERIAIS VARIADOS

A micro-bacia hidrográfica funciona como um telhado, coleta a água das chuvas na sua área de contribuição concentrando-a nos talwegues na forma de enxurrada, que se vai avolumando até tornar-se uma onda de cheia erosiva e de alto poder destrutivo. A barraginha impede o incremento da energia cinética da enxurrada (termo $v^2/2g$), atuando como bacia de amortecimento, barrando as enxurradas no seu nascedouro através de cascatas de mini-açúdes sucessivos. Ao diminuir a velocidade das enxurradas, os sedimentos transportados na massa líquida são aí depositados impedindo o seu carreamento para os cursos d’água a jusante impedindo assim o seu assoreamento, bem como a retenção dos poluentes neles contidos.



Ao encher a primeira pequena barragem, na parte mais alta, o excesso verte pelo sangradouro à segunda barragem e assim sucessivamente, até chegar às da baixada. Na maioria das chuvas, as da baixada nem chegam a verter.

Na Figura 24.45, apresenta-se a seqüência de barraginhas descritas. Barraginhas secas ou seqüenciais são estruturas de engenharia de contenção das águas das chuvas na forma de pequenas barragens construídas com o material existente e disponível no local. Apesar de serem micro barragem, seu dimensionamento, como poderá ser observado nos capítulos anteriores deverá feito de forma respeitosa, como se fosse uma barragem de um porte maior. Seu dimensionamento deve ser muito criterioso porque, se apenas uma barraginha dessa se romper em consequência do seu dimensionamento inadequado, todo o sistema de barraginhas em cascata, corre o risco de ser destruído em um único temporal. Esta observação feita para as barraginhas também é apropriada para as estruturas de contenção na forma de terraços.

A função do sistema é carregar e descarregar a cascata de lagos das barraginhas e dos terraços, proporcionando a infiltração num espaço de tempo rápido entre uma chuva e outra, de modo que, durante a estação chuvosa, ocorram de 15 a 25 recargas completas do sistema, funcionando como uma espécie de mata borrão ou caixa d'água natural.

O sistema provocará a recarga dos aquíferos da bacia, de forma que poderá ser percebido visualmente, pela elevação do nível nos talvegues, umedecimento das baixadas e mesmo com o surgimento de minadouros e surgimento espontâneo da vegetação natural. Na prática, isso tem uma importância muito grande, porque ameniza estiagens (veranicos), propicia plantios de safrinha após o encerramento do ciclo chuvoso e, pode proporcionar a perenização de alguns mini-açudes de baixadas.

Para exemplificar, uma chuva rápida de 60 mm é suficiente para encher todos os mini-açudes de uma microbacia. Se não houver esses mini-açudes, cerca de 90% das águas retidas nos mesmos irão diretamente para os córregos, contribuindo para provocar enchentes, assoreamentos e outros danos.

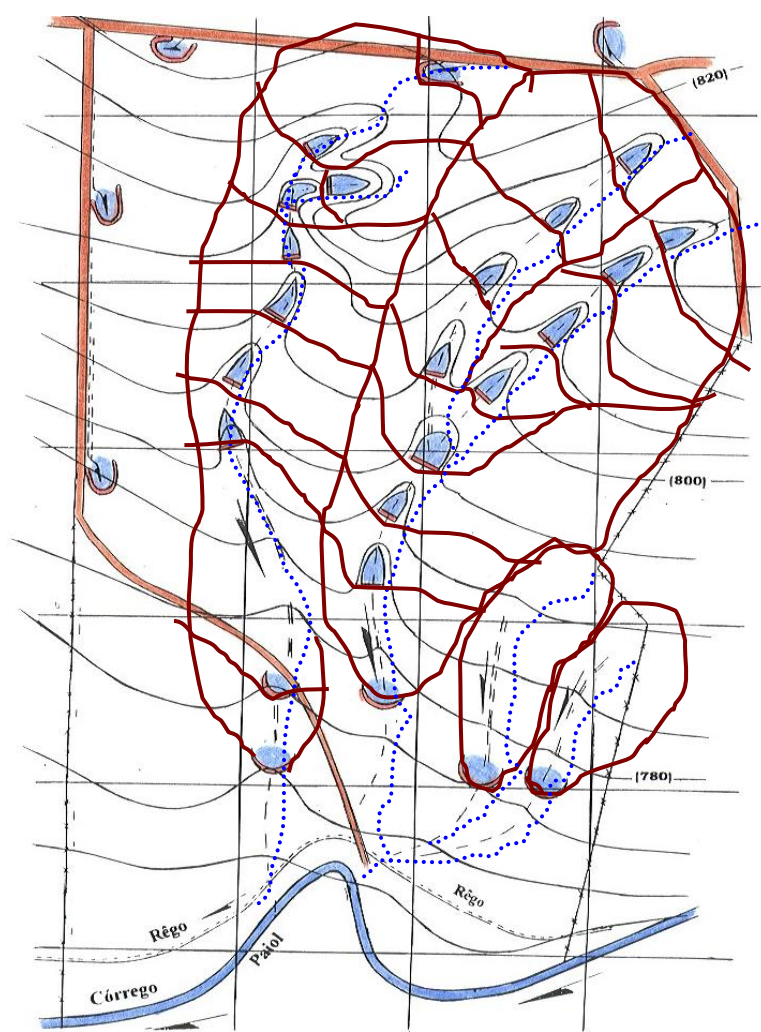
Promove a contenção do escoamento superficial erosivo das águas das chuvas, melhorar a recarga dos aquíferos, disponibilizar uma maior oferta de umidade no solo, contendo desta forma o avanço progressivo do processo erosivo e sua consequente desertificação, trazendo



como resultado final a recuperação ambiental com finalidade produtiva, ou seja, produção agropecuária e ou energética.

Além disso, esse sistema proporciona a filtragem da água retida via infiltração, armazenando-a para posterior liberação para os córregos e rios, de maneira lenta ao longo do ano, estabilizando e revitalizando os cursos de água e mananciais. Isso é importante quando se pensa na necessidade de garantir o abastecimento de cidades e fazendas e também para a geração de energia elétrica, que depende da perenização dos grandes lagos.

Figura 24.28. Distribuição Sequencial em Planta das Barraginhas Secas em Fazenda Paiol, Sete lagoas MG.



Fonte Básica: Luciano Cordoval de Barros, EMBRAPA Sorgo Sete Lagoas MG.

O dimensionamento propriamente dito das barraginhas está previsto para ser feito no projeto executivo, como complementação deste projeto básico. Isto porque neste momento, não se dispõe de informações técnicas necessárias para tal. Estas informações

serão levantadas concomitantemente no local da obra quando da execução deste projeto básico.

Como o vertedouro é um componente vital para o sucesso deste tipo de projeto, vamos descrever de forma paramétrica o seu dimensionamento que deverá ser feito no projeto executivo para cada barragem.

Este exemplo de dimensionamento do vertedouro é um projeto de uma barragem de talvegue de laminação da cheia de 50 anos, que projetamos e construímos em 1998 na cidade de Casimiro de Abreu, Estado do Rio de Janeiro. Apesar de ser uma pequena barragem de talvegue, ($A_d = 5,0 \text{ km}^2$), hidraulicamente ela trabalha como uma barragem seca. Há muitas semelhanças. Tem volume de espera suficiente para laminar (reter) a cheia (enxurrada) de projeto de 50 anos ($Q_{50} = 13,27 \text{ m}^3/\text{s}$) caída em sua bacia hidrográfica de $5,0 \text{ km}^2$. A barragem seca, também deverá ter o volume de espera suficiente para laminar, infiltrar e verter a enxurrada de 5 anos, caída na sua microbacia de contribuição.

Volume de Laminação

Tempo de Laminação

Como o volume de espera é de 800.000 m^3 e a vazão de projeto de $13,27 \text{ m}^3/\text{s}$, quando começar a ocorrer a enxurrada de 50 anos, condição mais desfavorável do projeto, considerando o vertedouro da barragem sem escoamento, vamos necessitar de um tempo máximo de $800.000/13,27 = 60.286$ segundos (16 horas e 45 minutos) para encher todo o volume de espera da barragem. Como o maior perigo para a população da Cidade à jusante a ser protegida, está nos primeiros 26 minutos, que é o tempo da rápida subida do hidrograma, culminando com seu pico máximo neste tempo, quando toda a bacia estará contribuindo para o local de interesse com uma descarga máxima de $13,27 \text{ m}^3/\text{s}$. Não terá problema nenhum, porque neste cálculo rápido e conservador (sem ter sido feita nenhuma simulação de todo o hidrograma da cheia), a barragem terá um tempo disponível de 16 horas e 45 minutos, suficiente para laminar toda a cheia podendo em seguida verter tranqüilamente pelo vertedouro, ou descarregador de fundo, estando a Cidade plenamente protegida.



Dimensionamento do Vertedouro

No vertedouro de saída livre (como ocorre nas barraginhas). Fatalmente ocorrerá a mudança de regime de escoamento na bacia de acumulação da barraginha, isto é, a passagem do regime lento, ou subcrítico ($Fr < 1$) para o regime rápido ou torrencial ($Fr > 1$). Nestas condições de mudança de regime, ocorrerá existência da altura crítica (H_c), onde o Numero de Froude $Fr = 1$.

O número de Froude é um número característico de tipo de regime de escoamento líquido, e é dedutível das equações do movimento e de posição, chegando finalmente a seguinte equação analítica nas condições críticas:

$$Fr = V / \sqrt{gH} = 1$$

Substituindo $V = Q/A$ e $A = H \cdot L$, temos:

$$H = (Q^2 / gL^2)^{0,33333}$$

$Q = 13,27$

V = Velocidade da corrente no vertedouro, em m/s.

$g = 9,81$ aceleração da gravidade.

$Q = Q_{p/10}$, (barraginhas) descarga em m^3/s .

H = Altura da lâmina d'água sobre a crista do vertedouro, em m.

L = largura da lâmina d'água na crista do vertedouro, em m.

É interessante verificar que em termos de escoamento livre, esta é a única condição em que em regime permanente a quantificação da descarga líquida na seção transversal de um canal (rio), independe da velocidade, depende somente da geometria da seção (condições de contorno).

O cálculo é feito de forma paramétrica Quadro 13.

Explicitando $H = f(L)$, e substituindo os valores temos:

$$H = [17,95/L^2]^{0,3333}$$



Quadro 24.2. Escoamento Superficial.

Largura (L) (m)	Altura (H) (m)
0,5	4,16
1,0	2,62
2,0	1,64
3,0	1,26
4,0	1,03
5,0	0,90
6,0	0,79
7,0	0,71
8,0	0,65
9,0	0,61
10,0	0,56
15,0	0,43
20	0,35
30	0,27
40	0,22
50	0,19

Fonte: Mongin (1997a).

Evidentemente que em termos hidráulicos, a melhor situação será aquela de menor (H) lâmina vertente de altura d'água, porque vai ter a menor velocidade e causar menores danos erosivos nos paramentos da barragem ou ombreira e a jusante dela exigindo menores cuidados e gastos com os órgãos dissipadores de energia. Mas o fator econômico é que vai recomendar ao projetista a melhor solução a ser adotada.

O cálculo da vazão de projeto (Q_p) deverá ser feito de forma diferente das barragens de talvegue, amplamente utilizada nos estudos hidrológicos de Inventário Hidrelétrico das Bacias Hidrográficas. Nestas circunstâncias, calcula-se a vazão de projeto (Q_p) somente para o eixo mais de jusante da cascata de barramentos. O transporte das vazões de projeto para os demais eixos de montante, é feito multiplicando Q_p pela relação de áreas de drenagem da bacia de contribuição de cada eixo com a do eixo mais de jusante. No caso das barraginhas, pelo fato da existência de uma descontinuidade dos talvegues, cada barraginha funciona individualmente tendo sua própria área de drenagem e seu tempo de concentração individualizado. Na ocorrência do temporal de projeto, todas receberão concomitantemente a contribuição do escoamento superficial proporcional a sua área de contribuição respectiva. Somente quando ocorrer o seu enchimento é que o excesso será escoado pelo vertedouro



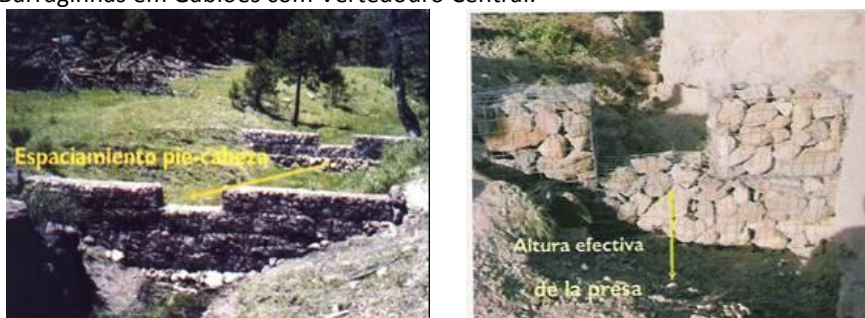
para a barraginha de jusante. Quando ocorrer o enchimento de todas, o transporte de massa da descarga vertida ocorrerá simultaneamente em toda a cascata de barraginhas. Sendo que o Δq extravasado da primeira barraginha de montante da cascata, teoricamente é o mesmo vertido da última mais de jusante. Este é o grande diferencial hidráulico de funcionamento entre uma cascata de barraginhas seca e uma clássica cascata de barragens de talvegue.

A Comisión Nacional Florestal da Secretaria de Médio Ambiente y Recursos Naturales do México, publicou em 2ª edição em 2004, um interessante trabalho intitulado: PROTECION, RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL SOLO FORESTALES, MANUAL DE OBRAS E PRÁCTICAS, onde retratam de forma bastante didática a experiência do México, na implementação de estruturas de contenção das águas das chuvas. Nossa proposta está calcada na experiência da EMBRABA na construção de barraginhas de terra compactada e nessas barraginhas que serão construídas de acordo com o material existente e disponível no local com utilização de ferramentas simples, tais como níveis de pedreiro e mangueira de borracha com água para fazer o nivelamento dos locais necessários. Deverá ser utilizado o máximo possível à mão de obra local juntamente com o maquinário adequado.

Nas Figuras 40 a 55, apresentam-se as fotografias das barraginhas objeto da presente proposta. Estas seqüências de fotografias apresentam basicamente sete tipos de barraginhas: gabiões, pedra argamassada, pedra arrumada, madeira deitada, madeira do tipo pau a pique, sacos de areia cimento (do tipo bolsacreto, montado no local), e a de terra compactada, campeada pela experiência da EMBRAPA. Muitas vezes, se constrói as barragens misturando-se as várias técnicas acima, o que também é mostrado nas figuras.

A existência e disponibilidade do material local, e a adequação da bacia ao substrato geológico, é que vai definir o tipo de material a ser adotado na sua execução. Esta decisão ficará a critério de Engenheiro Residente e fará parte da complementação do projeto.

Figura 24.29. Barraginhas em Gabiões com Vertedouro Central.



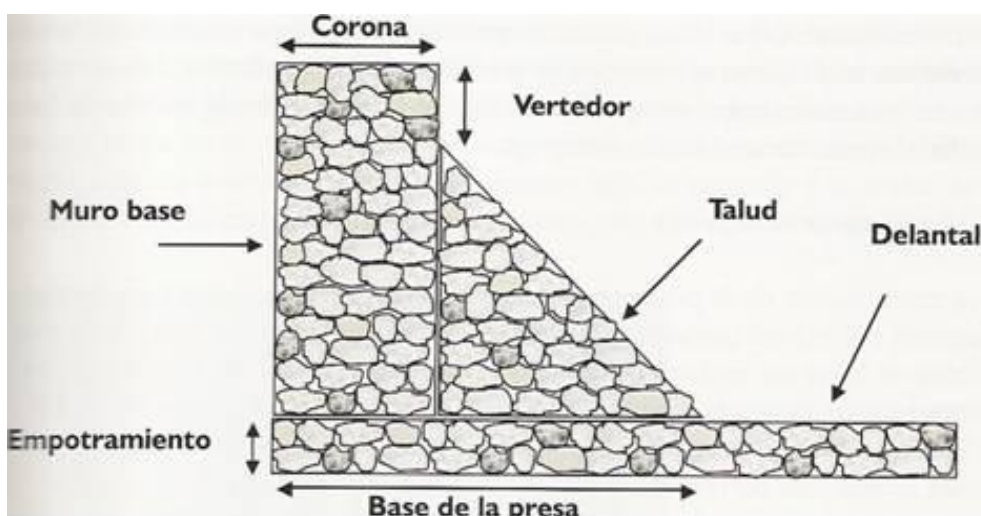
Fonte: CONAFOR (2004).

Figura 24.30. Barraginhas mistas, Gabiões com Pedra Arrumada a Jusante.



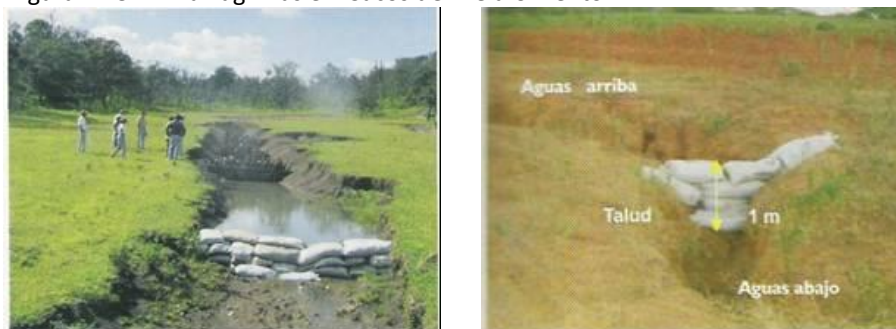
Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.31. Barraginhas em Pedra Argamassada.



Fonte: CONAFOR (2004).

Figura 24.32. Barraginhas em Sacos de Areia Cimento.



Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.33. Barraginhas em Madeira Deitada com Vertedouro central.



Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.34. Barraginhas em Pau a Pique.



Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.35. Barraginhas em Madeira Deitada Vertedouro Central.



Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.36. Barraginhas de terras Executadas no NUPERADE.



Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.37. Barraginha de terra Tipo EMBRAPA.



Fonte: EMBRAPA Sorgo Sete Lagoas – MG. Barros, L.C. Projeto Piloto do Ribeirão Paiol Sobre Barragens de Contenção de Águas Superficiais de Chuvas

Figura 24.38. Execução de uma Barraginha de Terra Tipo EMBRAPA com Pá Carregadeira.



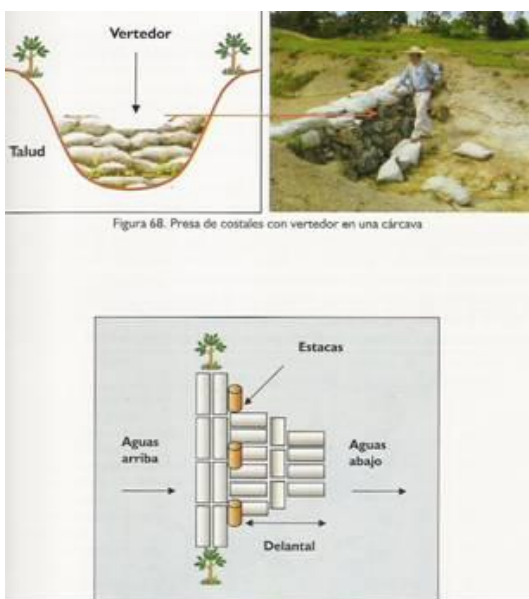
Fonte: EMBRAPA Sorgo Sete Lagoas – MG. Barros, L.C. Projeto Piloto do Ribeirão Paio Sobre Barragens de Contenção de Águas Superficiais de Chuvas

Figura 24.39. Barraginhas Mista, Pedra Argamassada com Pedra Arrumada a Jusante.



Fonte: CONAFOR (2004)

Figura 24.40. Barraginhas Mista Paramento em Pedra e Talude de Jusante em Sacos de Areia Cimento.



Fonte: CONAFOR (2004)

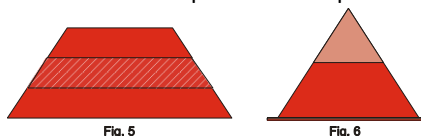
BARRAGINHAS SECAS DE TERRA COMPACTADA

A EMBRAPA Milho Sorgo de Sete Lagoas MG, é detentora de uma vasta experiência na execução destes tipos de estruturas de contenção das águas das chuvas na forma de barraginhas de terra compactada.

A construção dessas estruturas é feita com terra compactada, conforme descrição a seguir.

Nas Figuras 55 a 37 estão mostrados os formatos possíveis das barraginhas e sua sequência de execução. A forma trapezoidal é utilizada em barramentos mais reforçados em calhas e grotas e a piramidal, para situações de enxurradas na beira de estradas e calhas suaves.

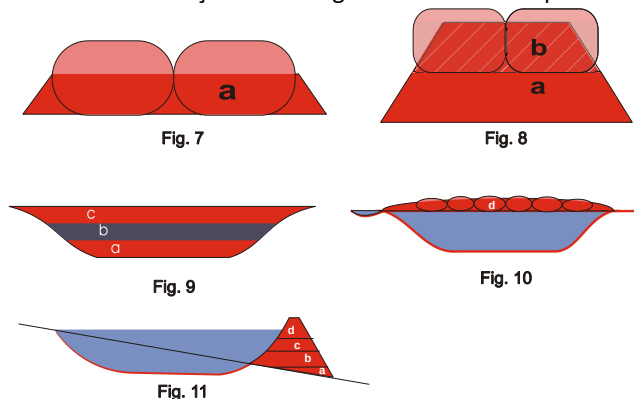
Figura 24.41. Barraginha de Terra Compactada do Tipo EMBRAPA.



Fonte: EMBRAPA Sorgo Sete Lagoas – MG. Barros, L.C. Projeto Piloto do Ribeirão Paiol Sobre Barragens de Contenção de Águas Superficiais de Chuvas

As fases 7, 8, 9, 10 e 11 da Figura 24.59 demonstram as fases evolutivas da construção da barragem no formato trapezoidal. Os círculos representam leirões paralelos de terra solta colocados pela pá carregadeira e a base “a” da Figura 24.59-7 representa a terra já acomodada e compactada pela mesma máquina. O mesmo se repete na Figura 36-8, na formação da base “b”. As Figuras 24.59-7 e 24.59-8 são vistas de forma transversal. A Figura 24.59-9 mostra as fases “a”, “b” e “c” do aterro dentro da calha. A Figura 24.59-10 mostra a fase “d”, que é o abaulamento final na forma de travesseiro, que determina o nível da água no lago. A Figura 56 mostra o lago temporário formado pelo barramento.

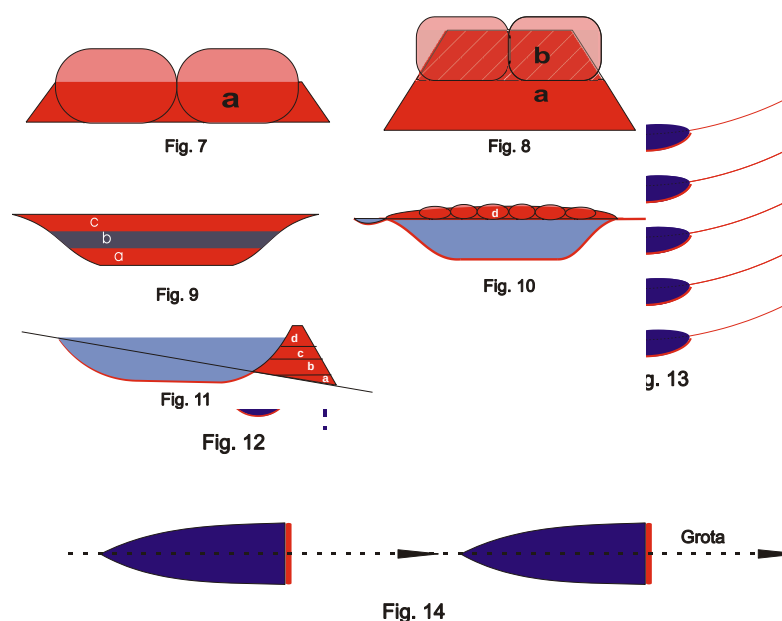
Figura 24.42. Execução de Barraginha de Terra Compactada do Tipo EMBRAPA.



Fonte: EMBRAPA Sorgo Sete Lagoas – MG. Barros, L.C. Projeto Piloto do Ribeirão Paiol Sobre Barragens de Contenção de Águas Superficiais de Chuvas.

As Figuras 24.60-12, 24.60-13 e 24.60-14 mostram os locais onde usar os modelos trapezoidal ou piramidal. A Figura 24.60-12 mostra a situação de grotas acentuadas, em que a construção de barraginha não é viável. Nesse caso, delineiam-se e constroem-se curvas de nível com ligeiro gradiente no sentido da grotá e constrói-se a barraginha piramidal no eixo da curva próximo à grotá, de modo que a mesma sangre o excesso ainda na própria curva, antes de cair na grotá coletora. Na Figura 24.60-13 podem-se ver a situação que ocorre em áreas conservadas com curvas de nível antigas e que arrebentam freqüentemente todos os anos, tornando esses pontos frágeis. Nesse caso, o único recurso é a construção de barraginhas piramidais. Na Figura 24.60-14 estão demonstradas barraginhas trapezoidais em grotas de até 3 m de profundidade, aplicando as fases “a”, “b”, “c” e “d”. Acima dessa profundidade, não se recomenda a construção de barraginhas.

Figura 24.43. Execução de Barraginha de Terra Compactada do Tipo EMBRAPA.



Fonte: EMBRAPA Sorgo Sete Lagoas – MG. Barros, L.C. Projeto Piloto do Ribeirão Paiol Sobre Barragens de Contenção de Águas Superficiais de Chuvas.

Observações: a) o processo de barraginhas é planejado para enxurradas em beira de estradas e calhas secas (enxurradas) e não para córregos. São barramentos de até 3 horas de serviço de máquina e a média não superior a 1,5 hora por barragem; a maioria de 30 a 45 minutos. b) A época de construção das barraginhas de terra deve ser durante o período das águas e até três meses após o encerramento do ciclo chuvoso. Aproveitando desta forma a umidade residual do solo, que facilita a construção, baixa os custos e dá qualidade de

compactação às mesmas. Se a execução for feita na época seca, ter-se-á que usar forçosamente caminhão pipa para levar a umidade da terra próxima ao ponto ótimo de compactação. Desta forma eleva enormemente os custos de execução. Estes custos não foram previstos em nossa planilha orçamentária. Outro componente importante é o uso da pá carregadeira, que aumenta em até três vezes o rendimento em relação ao trator de esteira. Há, ainda, outras vantagens, como: deslocamento próprio (não depender de ser transportada), agilidade, rendimento, facilidade de manutenção e grande número de equipamentos disponíveis.

Um detalhe de grande responsabilidade na construção das barraginhas de terra compactadas é o posicionamento do Vertedouro que escoará o excesso da água da barraginha de montante para a de jusante. Em barragens de terra, independente do seu porte, é sempre norma o vertedouro ser projetado em uma das ombreiras do barramento. Esquerda ou direita. Nunca sobre o maciço (corpo) da barragem. Esta norma também deverá ser respeitada na construção das barraginhas de terra.



3) – BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

Descrição da tecnologia

Barragem subterrânea é toda estrutura que objetiva barrar o fluxo subterrâneo de um aquífero pré-existente ou criado concomitantemente à construção da barreira impermeável (Santos & Frangipani, 1978). Esses tipos de barragens foram construídos no Brasil, principalmente na região Nordeste, desde o início do século. Diversos autores (Tigre, 1949; Duque, 1980; IPT, 1981, entre outros) preconizam a construção dessas barragens com objetivo de aumentar a disponibilidade de água no meio rural. Alguns autores (Santos & Frangipani, 1978 e Silva & Rego Neto, 1992) definem barragem subterrânea ou submersível àquela firmada por uma parede da camada impermeável a uma altura acima da superfície do aluvião, de tal forma que nas épocas de chuvas se forma um pequeno lago a montante. Já a barragem submersa tem sua parede totalmente no aluvião, ficando a água armazenada no perfil do solo.

Componentes da barragem subterrânea

Área de captação (Ac) - é a área representada por uma bacia hidrográfica, formada pelos divisores de água: topográfico e freático. A água proveniente da chuva precipitada nesta área, escoar, para a bacia hidráulica da barragem e lentamente infiltra. Área de plantio (Ap) - é a própria bacia hidráulica da barragem. Esta área constantemente vai sendo associada, criando camadas de solos férteis propícias à exploração agrícola. Parede da barragem (Pa) - também denominada de septo impermeável. Tem a função de interceptar o fluxo de água subterrâneo e superficial, dando origem e/ou elevando o lençol freático.

A parede da barragem é o seu principal componente, é construída desde a rocha ou camada impermeável até a superfície do solo ou acima desta. Na sua construção podem ser utilizados diversos materiais como camadas de argila compactadas; barro amassado; alvenaria; lonas plásticas de polietileno ou PVC; concreto, ou a combinação de alguns materiais.

Seleção da área

A primeira etapa consiste da seleção da área, que através de conhecimentos sobre a geologia dos solos é possível definir a melhor área, de preferência solos aluviais, não muito profundo, no máximo 3 a 4 m, textura média a grossa e declividade de até 5%. Também, pode-se selecionar áreas em linhas de drenagem natural, conhecidos por córregos, onde durante as chuvas escoam grandes quantidades de águas. Neste caso, deve-se ter idéia do perfil do solo e, conseqüentemente, da profundidade da camada impermeável. Para uma seleção definitiva, deve-se ter conhecimento da qualidade da água do rio ou riacho, e de sua vazão média anual, devendo-se sempre eliminar áreas com tendência à salinização e rios/riachos cuja vazão possa comprometer a estrutura da barragem.

Levantamento topográfico

Selecionado a área, recomenda-se fazer um levantamento planialtimétrico, em quadrículas de 20 x 20m, para melhor definir o local de seus componentes: área de captação, área de plantio e parede.

Processo construtivo

No local definido para a parede da barragem, abre-se uma valeta transversal ao leito do rio ou da linha de drenagem, até às cabeceiras, com profundidade até a camada impermeável e largura que varia em função da profundidade da camada impermeável, do tipo de solo e do material a ser usado para a construção da parede. Em aluviões muito arenosos e secos ocorrem constantes desmoronamentos dos taludes, que dificultam o trabalho. Neste aluviões, facilmente se encontra lençol freático, que deve ser bombeado para baixar o nível do lençol e permitir a escavação até a camada impermeável. A barragem subterrânea necessita de muita mão-de-obra para se fazer. Em termos gerais, são em torno de 150 dias/homem (cálculo usado pela ONG). Como o PATAC trabalha na forma de capacitação (curso), forma-se um grupo de agricultores (4 a 8) que querem aprender a fazer a barragem. Quando o grupo está formado, escolhe-se a propriedade em que vai ser feito o treinamento. Para o treinamento, a entidade fornece uma ajuda de custo para alimentação. No final do treinamento, o custo da construção vai ser para a família que foi beneficiada (os as famílias) e é transformado em fundo de crédito rotativo. As pessoas que participaram do



treinamento, muitas fazem a barragem por sua conta, outros conseguem o financiamento para a construção e, ao mesmo tempo, ficam habilitados para construir a barragem.

Depois de formado o grupo e escolhida a propriedade para se construir a barragem, o primeiro passo é encontrar a área. O ideal é que o local seja em áreas de baixios, córregos e riachos. Nesse local também é preciso ver se ao lado da calha feita pela água existem barreiras que façam com que a água fique apenas no leito. Essas barreiras são chamadas de 'ombreiras'.

Escolhido o local de construção, faz-se a marcação e cava-se a vala. Essa vala que vai servir para se fazer a parede, deve ter em torno de 50 centímetros de largura, já a profundidade é relativa, depende do 'perfil do solo'. A intenção é se chegar até a parte impermeável, no 'salão' ou 'barro cabeça de gato', conforme dizem os agricultores (no geral, nunca passou de 4 metros).

Também é necessário que se encontre um barro que sirva para compactação. Geralmente é um barro vermelho e pode vir de outro local. A compactação se faz com camadas de 10 centímetros de barro úmido (mas não pode ser molhado demais, é só 'enxombrado', como dizem os agricultores) e se usa um 'sepo' de madeira, preferencialmente.

A parede deve subir acima do solo o suficiente para que se faça o sangradouro. Esse sangradouro, por sua vez, deve ter em torno de 50 centímetros de altura, respeitando a largura do riacho de escoamento da água.

A terra tirada da vala é aproveitada nas laterais da parede para fazer a água sempre se dirigir para o centro, reduzindo a sua velocidade e facilitando assim a infiltração no solo.

Por fim, aconselha-se a fazer o poço tão logo se conclua a barragem. Esse poço é feito na parte mais baixa da barragem (aproveitando ou não um veio de água do lençol freático) com anéis de cimento, na maior parte das vezes, com um metro e meio de diâmetro. A importância do poço é que ele forneça água para consumo animal, para uso doméstico e para irrigação de algumas culturas que ficam na margem da barragem (fruteiras, hortas, etc). Por outro lado, ele funciona como uma forma de evitar a salinização do solo da barragem (o sal tende a ir para a parte mais baixa da barragem e se expor na superfície).



Alguns materiais usados na parede

Camada de argila - A argila deve ser depositada na valeta em camadas uniformes de 10 cm, umedecida e compactada manualmente, usando-se pó de madeira, formando camadas compactadas de aproximadamente 5 cm e, sucessivamente, até à superfície do solo. *Barro amassado - conhecido por alguns agricultores no Rio Grande do Norte como "ambar", e consiste da mistura do barro com água em proporções adequadas, semelhante ao que se usa no meio rural para construção de casas de taipa. Este material vai sendo depositado uniformemente na valeta até a superfície do solo. Alvenaria - Nesta parede os tijolos devem ser bem cozidos e isentos de sais. Teve-se utilizar tijolos duplos e argamassa de cimento e areia no traço de 1:4. Esta parede é levantada totalmente em nível, sendo preenchidos os espaços entre ela e o corte da latitude a jusante. O montante da parede deve-se rebocá-la utilizando-se argamassa de cimento e areia (traço 1:3) e impermeabilizante (sica) diluído em água na proporção 1:15. Pedra - em áreas muito pedregosas, pode-se substituir os tijolos de alvenaria por pedras rejuntadas com argamassa de cimento e areia (traço 1:4). Estas pedras devem ser bem arranjadas na argamassa para evitar espaços vazios e provocar infiltrações. Recomenda-se também utilizar um reboco com argamassa de cimento e areia (traço 1:3) e impermeabilizante diluído em água na proporção 1:15. Normalmente utilizando-se este tipo de material necessita-se de mais mão de obra, devido à irregularidade no tamanho das pedras. Lona Plástica - Recomenda-se fazer um reboco, usando barro e água, no lado jusante da valeta, para uniformizar o corte do talude e evitar perfurações no plástico, através de pontas de pedras, raízes etc. No campo experimental da Embrapa Semi-Árido existem quatro barragens subterrâneas construídas em 1982 com lona plástica de polietileno. Na parte inferior, a montante deve-se abrir uma mini-valeta na camada impermeável (a) e uma outra na superfície do solo, a jusante (b), com 20 x 20 cm, para fixar as extremidades da lona plástica, usando-se a mesma argamassa de barro utilizada no reboco. Cuidados na colocação da lona são imprescindíveis, principalmente não tensioná-la; colocá-la com ventos leves e baixas temperaturas, para evitar dilatação e, evitar perfurar a lona. Caso isto ocorra deve-se fazer um remendo utilizando-se um pedaço do próprio material plástico e cola apropriada.



Manejo da Barragem Subterrânea

O manejo do solo e da água na barragem subterrânea tem sido muito discutido por estudiosos da área, principalmente com relação aos perigos de salinização do solo. Para evitar problemas dessa natureza recomenda-se colocar um tubo de descarga de fundo, sobre a camada impermeável, partindo da montante, perfurando a parede até a jusante, onde nesta extremidade, coloca-se uma curva 90º com um outro tubo na vertical que funcionará como um poço, podendo esta água ser bombeada ou escoar sobre o solo. Este tubo permite anualmente a lavagem do perfil do solo carreando os sais dissolvidos na água da barragem.

Utilização da Barragem para Plantio

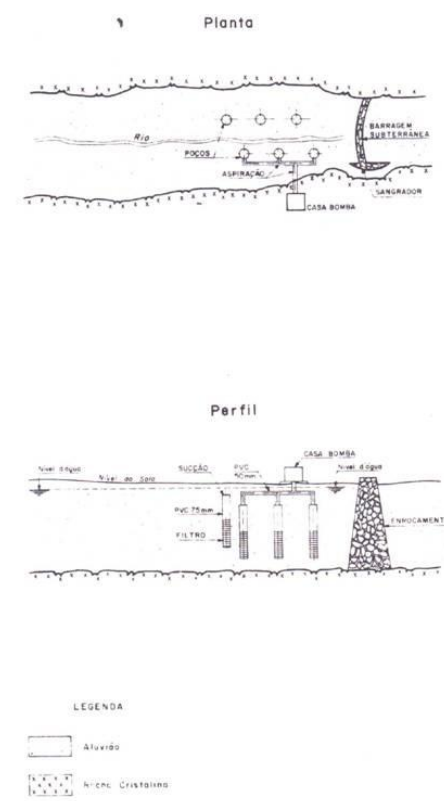
No primeiro ano de uso da barragem, a orientação é que se plante capim elefante na parede (balde) para lhe dar uma maior sustentação. Também na entrada da água para quebrar a força, a velocidade, da correnteza. A indicação é que se faça umas 10 faixas de capim com um metro de uma para outra. Esse capim depois pode ser manejado e aproveitado para os animais.

A primeira planta a ser cultivada na barragem é arroz, preferencialmente. Depois se colocam fruteiras nas bordas da bacia (área pouco encharcada). Na medida em que a água vai baixando, planta-se milho, feijão, macaxeira, batata-doce, melancia, jerimum, diversas leguminosas e hortaliças. Quando se colhe o arroz (geralmente no verão), aumenta-se o plantio de culturas para alimentação da família.

As estimativas apontam que a umidade da barragem subterrânea chega a 2 anos, inclusive com cultura exigentes em umidade como o milho.



Figura 24.44. Esquema Padrão de Sistema de Ponteiros Associado à Barragem Subterrânea.



Fonte: CDM – Companhia de Desenvolvimento Mineral do estado do Rio Grande do Norte 2000

4) - RECARGA ARTIFICIAL EM AQUÍFEROS FRATURADOS

Estamos transcrevendo um trabalho de recargas de aquíferos fraturados de dois pesquisadores da CAESB e UNB, respectivamente, André Luiz de Moura Cadamuro & José Eloi Guimarães Campos, intitulado recarga artificial de aquíferos fraturados no Distrito Federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos.

Apesar deste trabalho ter sido desenvolvido em uma região de Cerrado específica do DF, condomínio residencial Alto da Boa Vista, onde está prevista a ocupação de 20.000 habitantes em 6,9 km² de área. Tal condomínio situa-se numa região de recarga natural do mais importante aquífero do Grupo Paranoá no Distrito Federal. Da área total a ser ocupada, 3,8 km² serão impermeabilizados, por meio de ruas, calçamentos e telhados, o que implicará numa perda de 35,5% na recarga dos aquíferos constituídos pelo manto de intemperismo e, conseqüentemente, numa perda de 56% na recarga dos aquíferos fissurais subjacentes. Os conceitos e resultados auferidos nesta pesquisa poderão perfeitamente serem utilizados em outras comunidades similares da Caatinga onde ocorrem a condição de sobreexploração, do aquífero fraturados.

A área de estudo desta pesquisa localiza-se na porção centronorte do Distrito Federal e abrange parte da área de recarga natural da Chapada da Canastra (Domo Estrutural de Sobradinho) correspondendo às áreas de recarga das bacias hidrográficas dos córregos Sobradinho e Sarandi. Nessa área está prevista a ocupação de um condomínio residencial denominado Alto da Boa Vista (CABV), situado à margem norte da BR - 020, sentido Brasília – Planaltina, km 12, 5 (Figura 1), na Região Administrativa de Sobradinho. Sua futura área de ocupação tem como característica um relevo típico de chapada elevada, que abrange 6,9 km² de terrenos favoráveis e muito favoráveis à recarga regional. Trata-se de uma região considerada sensível do ponto de vista hidrogeológico (Souza 2001). Após a urbanização, fazendo comparação entre balanços hídricos, é prevista uma perda de 35,5% na recarga dos aquíferos constituídos pelo manto de intemperismo e 56% na recarga dos aquíferos fraturados subjacentes, constituídos por quartzitos e metarritimitos arenosos do Grupo Paranoá.

Conforme Fetter (1994), o bombeamento de água subterrânea a uma taxa superior à taxa de recarga natural do aquífero, acarreta na sua exploração exacerbada, o que é conhecido como sobreexploração de aquífero. Segundo Theis (1938) em condições naturais um aquífero

está em equilíbrio dinâmico, ou seja, quando um determinado volume de água é descarregado, naturalmente através da recarga, um volume igual o reabastece. Por outro lado, em condições de sobreexploração onde vários poços tubulares profundos retiram água de um aquífero, o cone de depressão resultante cresce, até que a descarga seja drasticamente reduzida, ou a recarga seja aumentada, isso para que uma nova condição de equilíbrio dinâmico, condicionada pela retirada d'água, seja alcançada. Desta forma, caso a soma do que sobrou como descarga e o total de água bombeado do aquífero exceda a recarga natural, o cone de depressão resultante não se estabilizará e o nível freático rebaixará continuamente ao longo do tempo de bombeamento.

No DF o fato dessas novas áreas de ocupação territorial não serem atendidas pela Empresa de Saneamento do Distrito Federal (CAESB) fez com que os condomínios residenciais buscassem seu abastecimento público de água nos aquíferos fraturados a partir de captações por poços tubulares profundos. Dessa forma, a relativo baixo custo, cada condomínio implantou seu sistema independente de distribuição de água potável, baseado unicamente na exploração de água subterrânea. Entretanto, a excessiva exploração desses aquíferos, concomitantemente com a impermeabilização da área vem ocasionando, nos últimos dez anos, um rebaixamento significativo nos níveis dinâmicos dos poços, levando os aquíferos à condição de sobreexploração. Essa problemática tem incentivado várias pesquisas relacionadas aos recursos hídricos subterrâneos e superficiais do DF (Campos & Freitas-Silva 1998, Lousada 1999, Souza 2001, Joko 2002 e Cadamuro 2002).

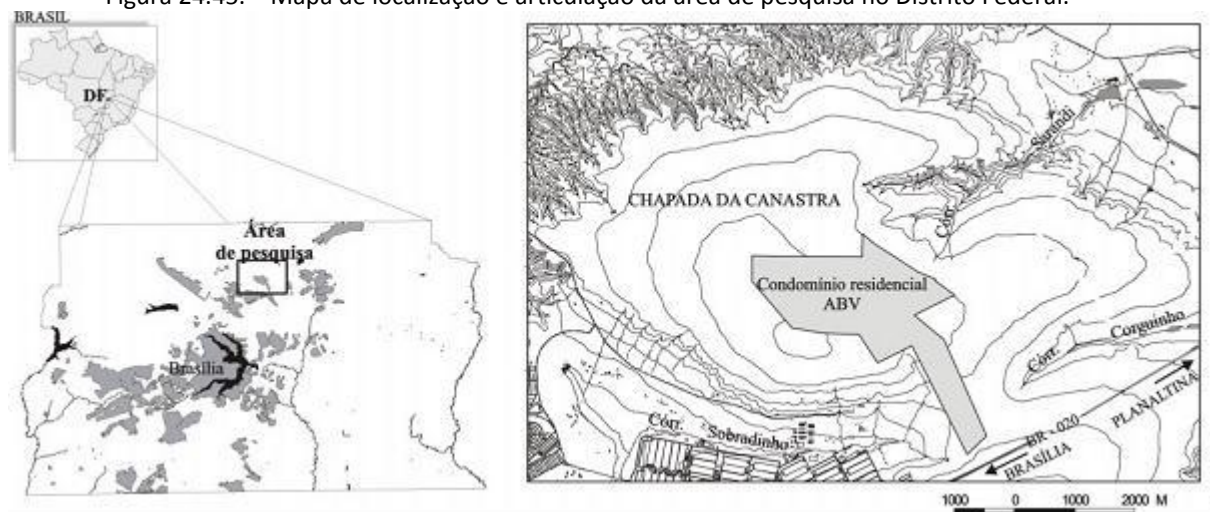
Este trabalho mostra os resultados da pesquisa desenvolvida por Cadamuro (2002), onde duas técnicas de recarga artificial de aquíferos fissurais foram testadas no CABV. Dois sistemas experimentais foram construídos para o aproveitamento da água de precipitação pluvial visando à recarga artificial no Subsistema R3/Q3 Sistema Paranoá, (Campos & Freitas-Silva 1998). Um sistema indireto a partir de caixas de infiltração, e outro direto, com uso de poço tubular profundo de injeção. As condições climáticas do DF favorecem a utilização da água de chuva como *input* para os dois sistemas de recarga artificial implantados, pois a grande concentração de chuvas entre outubro e abril, provoca um elevado excedente hídrico nesse período.

Também são apresentados os resultados dos testes de simulação de eventos extremos de precipitações, que permitiram o dimensionamento de uma caixa de infiltração adequada à



área de pesquisa, bem como os resultados de balanços hidrológicos, simulando diferentes condições de ocupação do CABV e comparando essas condições com a de pré-urbanização, avaliando os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos subterrâneos e superficiais, bem como a eficiência dos sistemas testados. Os resultados apontam para uma eficiente ferramenta de gestão dos recursos hídricos no DF e uma solução adequada para os problemas de abastecimento público de água em áreas específicas ocupadas por condomínios residenciais na região.

Figura 24.45. Mapa de localização e articulação da área de pesquisa no Distrito Federal.



GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA O CABV onde foram implantados e testados os sistemas de recarga artificial localiza-se no Domo Estrutural de Sobradinho (Chapada da Canastra), a 20 km de Brasília, uma região classificada, geomorfologicamente, como chapada elevada (Martins & Baptista 1998). Nessa área o manto de intemperismo alcança, em média, 30 metros de espessura e os solos possuem condutividades hidráulicas verticais variando de 0,1 a 8,5 m/dia (Souza 2001), sendo estes os maiores valores observados nas coberturas no DF. Na área pesquisada ocorrem essencialmente rochas atribuídas às unidades litoestratigráficas R3 (Metarritimito Arenoso) e Q3 (Quartzito Médio) do Grupo Paranoá, que estão recobertas por uma ampla cobertura de latossolos vermelho, vermelho-amarelo e neossolos quartzarênicos. A Unidade R3 é formada pela alternância de pacotes de metassiltitos, metargilitos e bancos de quartzitos e a Unidade Q3 é formada por bancos maciços de quartzito bem selecionado de granulometria fina a média. As coberturas de solo

predominantes são homogêneas e com elevado potencial para o desenvolvimento de processos erosivos. Nesses solos ocorrem, aproximadamente aos oito metros de profundidade, delgadas camadas de crostas lateríticas degradadas, cujas condutividades hidráulicas nessa profundidade variam de 0,86 a 0,08 m/dia.

No DF ocorrem dois domínios hidrogeológicos, um com porosidade intergranular e outro com porosidade planar secundária (Campos & Freitas-Silva 1998). Na área de pesquisa ocorrem os mais importantes sistemas aquíferos do DF, o Sistema P1 (Domínio Poroso) formado pelo conjunto solo – saprolito e constituído por aquíferos intergranulares contínuos e livres de ampla extensão lateral, que recobre o Sistema Paranoá - Subsistema R3/Q3 (domínio fissural), constituído de aquíferos fissurais livres ou semiconfinados, com transmissividade variando de 1,3 a 43,2 m²/ dia.

De acordo com Campos & Freitas-Silva (1998), Souza (2001) e Campos & Tröger 2003, a observação de fraturas secas no Subsistema R3/Q3, imediatamente abaixo da zona saturada do Sistema P1, indica a existência de uma segunda zona não saturada, relativa às fraturas dos aquíferos fissurais. Isso implica na ocorrência de duas superfícies potenciométricas, uma no domínio poroso (manto de alteração) e outra, nas fraturas das rochas subjacentes, no domínio fissural. Esse modelo, denominado Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas, não deve ser aplicado a todas as regiões do DF, restringindo-se apenas às regiões de chapadas elevadas, onde ocorre o Subsistema R3/Q3 recoberto pelo Sistema P1.

As conclusões de Sousa (2001) são muito importantes para a compreensão do processo natural de recarga do Sistema P1 e Subsistema R3/Q3 nas áreas de chapada elevada do DF. Em termos de recarga, duas etapas de infiltração natural devem ser consideradas: uma através dos solos até a zona saturada do domínio poroso e outra, a partir do momento em que o Sistema P1 se encontra numa condição de máximo armazenamento, quando então, a carga hidráulica é capaz de vencer a barreira formada pelo ar/argilas presentes nas fraturas e iniciar a infiltração em direção a zona saturada dos aquíferos do Subsistema R3/Q3 no domínio fissural.

Após a ocupação urbana no CABV e no caso de o abastecimento público de água ser baseado no bombeamento do subsistema R3/Q3, o risco de sobreexploração será o maior impacto causado à dinâmica hídrica local. Considerando o Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas, a impermeabilização interromperá em curto prazo o processo de recarga

natural dos aquíferos no Sistema P1, diminuindo a porcentagem do excedente hídrico que alcança a primeira superfície potenciométrica e fazendo com que a carga hidráulica na zona saturada do Sistema P1 seja insuficiente para vencer a barreira hidráulica na interface com o subsistema R3/Q3. Isso acarretará em uma significativa diminuição do volume de infiltração no domínio fissural. Por outro lado, a exploração concomitante de água subterrânea do subsistema R3/Q3 provocará o rebaixamento da segunda superfície

potenciométrica, o que levará os aquíferos locais à condição de sobreexploração, tornando insustentável o abastecimento público de água no CABV.

Os resultados de cálculos de balanço hídrico apresentados nesse trabalho são baseados nas seguintes equações: $dV/dt = (P.A) + Izv - Qb - (ET.A) - (Es + Qi)$ onde: dV/dt – variação do armazenamento no Sistema P1; P = precipitação; A = área; Izv = vazão de entrada na zona vadosa; Qb = fluxo de base; ET =evapotranspiração; Es = escoamento superficial e Qi = interfluxo. Como em equilíbrio dV/dt no Sistema P1 é zero, $Izv = (P.A) - Es - (ET.A)$ e como $If = Izs - Qb$; então, $If = (P.A) - (Es + Qi) - (ET.A) - Qb$. Os dados necessários para a solução do balanço hídrico foram obtidos por monitoramento direto de vazões dos córregos Sarandi, Sobradinho e Corguinho, além daqueles obtidos de estação climatológica situada próxima a área e controlada por estação local.

Baseado no Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas foram construídos e testados dois sistemas de recarga artificial na área de pesquisa, cujos objetivos principais são: manter o processo natural de recarga no meio fissural e minimizar os impactos causados pela impermeabilização, quando da urbanização do CABV, tornando sustentável o uso dos recursos hídricos subterrâneos na área que será ocupada.

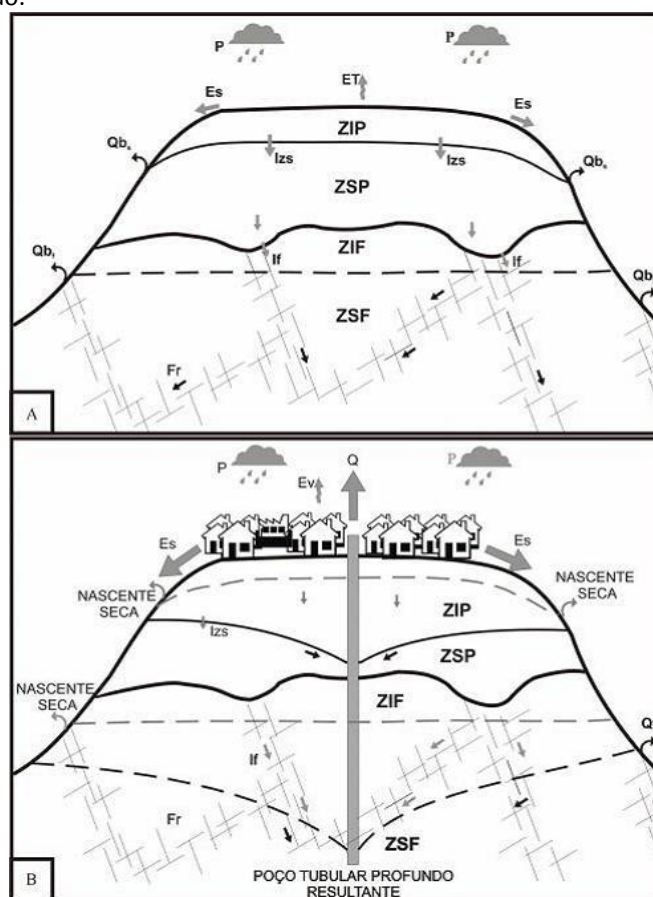
A recarga artificial de aquíferos por bacias de recarga (Recharge Basins), é a forma de recarga artificial mais comumente utilizada e também a mais antiga. No início do processo forma-se uma elevação (cone de ascensão) da água na superfície freática, que com o espalhamento e re-equilíbrio hidráulico, desaparece no final da recarga (Hantush 1967 e Singh 1976). Esse tipo de recarga é viável em solos com alta permeabilidade e grande profundidade e apresenta uma excelente relação custo - benefício. Os exemplos mais bem conhecidos são as bacias de recarga artificial de Long Island, Nova York, EUA, onde as enxurradas das ruas e parques, durante as épocas de chuva, são desviadas para bacias de recarga (Seaburn 1970ab); de Peoria, Illinois, EUA, onde a taxa de infiltração das bacias ao



longo do curso do rio varia de 6,1 a 30,5 metros por dia (Smith 1967; Harneson et al. 1968); e de Orange County, California, EUA, onde o aquífero é recarregado com água de rio (Matthews 1991).

Na região metropolitana de Madras, Tamil Nadu, Índia, a forma encontrada pelo estado para garantir o atendimento à demanda de água na região, foi elevar os níveis freáticos dos aquíferos locais, por meio de leis, que acompanhadas de intensas campanhas de conscientização, obrigam as novas áreas residenciais a captar a água da chuva dos seus telhados e conduzir essa água até caixas rasas de infiltração. Os poços de observação na cidade de Madras mostram que o nível freático do principal aquífero da região elevou aproximadamente 6 m em um raio de 2 Km durante o período de 1988 a 1995, indicando o impacto positivo da recarga artificial de aquíferos na região metropolitana (Kittu *et al* 1999).

Figura 24.46. Desenho Esquemático do Ciclo hidrológico Local em Condições de Pré-Urbanização.



(A) e após urbanização (B). P - precipitação, ET - evapotranspiração, Ev - evaporação, Es - escoamento superficial, Qbp - fluxo de base do meio poroso, Qbf - fluxo de base do meio fraturado, Izs - infiltração na zona saturada do sistema P1, If - infiltração no subsistema R3/Q3, ZIP - zona não saturada do domínio poroso, ZSP - Zona saturada do domínio poroso, ZIF - zona não saturada do domínio fraturado, ZSF - zona saturada do domínio fraturado, Q - vazão total de exploração.

Em algumas regiões do Brasil muitas são as formas de pavimentação semipermeáveis e caixas de retenção do excedente hídrico que têm sido utilizadas para controlar o escoamento superficial e resolver os freqüentes problemas de enchentes dos grandes centros urbanos. Algumas destas ações também contribuem para recarga dos aquíferos locais e podem ser consideradas como práticas de recarga artificial de aquíferos, embora este não seja o objetivo principal. No Aeroporto Internacional de Guarulhos (São Paulo) os efeitos do incremento de urbanização sobre os aquíferos da bacia sedimentar de São Paulo (Formação Resende), principalmente após a construção do aeroporto, que acelerou o processo de ocupação e conseqüente impermeabilização da área ao seu entorno, têm refletido no nível e produção dos poços tubulares profundos que abastecem o aeroporto. De acordo com Vendrame (1998) os poços de abastecimento do aeroporto baixaram a produção de 120 m³/h para 35 m³/h. Conforme se constatou nos estudos realizados pelo Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) e Diniz *et al* (1997) a melhor forma de recuperar o aquífero local seria através da realização de recarga artificial com caixas de infiltração na zona não saturada. Vendrame (1998) propõe o armazenamento da água de escoamento superficial em reservatórios conectados às caixas de recarga, onde seriam realizados alguns tratamentos, como filtragem e cloração, antes da injeção por gravidade nas caixas. Contudo, o autor também chama atenção para o risco de contaminação, uma vez que a qualidade da água de escoamento superficial, que contém derivados de petróleo, aumentaria os custos com tratamento e manutenção dos sistemas de recarga artificial.

A maioria dos estudos realizados no Brasil (Araújo *et al* 2000, Soares Cruz *et al* 1998 e Menegasse *et al* 1999), a respeito do armazenamento e/ou infiltração de água de precipitação e/ou escoamento superficial, permanecem no âmbito dos pequenos reservatórios individuais, que objetivam apenas o consumo da água em tempos de estiagem e a infiltração do excedente hídrico para redução dos volumes escoados, visando apenas à prevenção de enchentes em áreas de risco. Todavia, os métodos de armazenamento não devem permanecer na escala de cada residência, lote, edifício ou casa, principalmente no que tange a regiões abastecidas por água subterrânea. Os projetos de contenção devem visar, como objetivo principal, e não como conseqüência, a recarga artificial dos aquíferos explotados, objetivando o armazenamento de água em subsuperfície e restabelecendo os

processos naturais do ciclo hidrológico. Contudo, a recarga artificial, quando realizada sem critérios, também pode resultar em problemas aos aquíferos, principalmente no que diz respeito à contaminação. Apesar das camadas não saturadas do aquífero funcionarem como filtros naturais (Hordon 1977 e Fetter 1977), pode haver contaminação em função da recarga artificial mal dimensionada. Isso poderá ocorrer, uma vez que, todo filtro tem sua capacidade máxima de filtragem. Quando as águas infiltradas são excessivamente contaminadas, como as industriais e de escoamento superficial, ou o aporte de infiltração indesejada passa a ser maior que a capacidade potencial filtrante do solo, se inicia o processo de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

A qualidade da água utilizada está entre os mais importantes aspectos de um estudo de recarga artificial, principalmente devido aos riscos de contaminação do aquífero recarregado e da possibilidade de selagem da porosidade pelo particulado. Na área do DF não há indústrias ou outras atividades que poderiam ser responsáveis pela contaminação da atmosfera, portanto a qualidade da água da chuva é muito boa. A condutividade elétrica é aproximadamente $1\mu\text{S}/\text{cm}$ e há pouca matéria particulada, apenas restrita quantidade no início do período chuvoso. Como os sistemas implantados utilizam água de precipitação pluviométrica captada nos telhados das residências sem contato com o solo, ela apresenta qualidade compatível com o uso pretendido. As observações indicam que águas que entraram em contato com a superfície incorporando material argiloso, ou águas acumuladas nas superfícies das ruas não devem ser utilizadas na recarga artificial. Esse tipo de água pode selar a porosidade do solo e causar contaminação por resíduos de óleo lubrificante, borracha de pneus e combustíveis, os quais contêm metais pesados. Outro aspecto importante a ser considerado é a utilização de fossas sépticas para destinação dos esgotos em condomínios residenciais no DF, que pode ser considerada uma recarga artificial indesejada.

Sistema indireto de recarga artificial Esse sistema de recarga artificial foi desenvolvido com o intuito de acelerar o processo natural de recarga dos aquíferos fissurais do subsistema R3/Q3, em áreas de recarga regional no DF. Fundamentado no Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas, a eficiência desse sistema implica inicialmente, na indução de um armazenamento máximo de água na zona saturada do Sistema Aquífero P1 (domínio poroso), a partir de caixas de infiltração no latossolo, sendo considerado uma forma de

intensificar o armazenamento hídrico no reservatório poroso, posteriormente induzindo a recarga nos aquíferos fissurais subjacentes.

Essa técnica consiste na captação de água de chuva em telhados residenciais e comerciais de condomínios residenciais, com posterior condução dessa água até caixas de infiltração no latossolo. O sistema instalado na área do CABV é constituído, fisicamente, de telhado, calha de captação, tubulação exposta, tubulação subterrânea, caixa de passagem e caixas de infiltração (Figura 3). Funciona com base na utilização de caixas permeáveis para a infiltração da água de precipitação pluviométrica na zona vadosa do Sistema P1, onde a água disponível é captada por meio das calhas instaladas às margens do telhado e conduzida por tubulações de PVC até as caixas permeáveis. A água conduzida à infiltração é a mesma que naturalmente infiltraria em condições de pré-urbanização, tendo contato apenas, com a telha e a tubulação de condução. Dessa forma, o objetivo é que todo volume de água precipitado nas áreas de telhado infiltre através da zona vadosa do sistema P1, até atingir a superfície potenciométrica no domínio poroso e que parte desse volume, conseqüentemente, infiltre para as fraturas não saturadas da zona não saturada nas fraturas do subsistema R3/Q3.

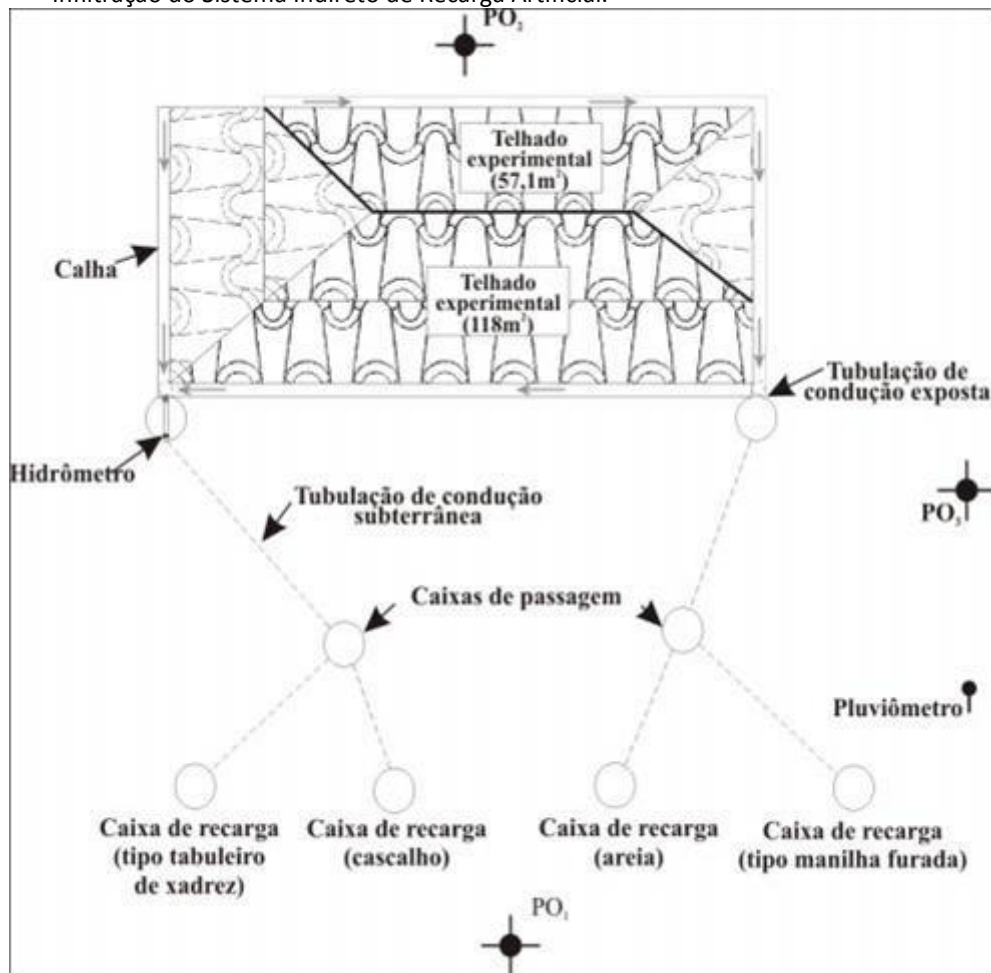
Quatro caixas de recarga foram testadas com intuito de avaliar sua eficiência. Os tubos condutores verticais estão expostos e possuem diâmetro de 88mm. Os tubos condutores horizontais são subterrâneos e possuem diâmetro de 50mm. No conjunto piloto construído para o teste e monitoramento da infiltração foi instalado um hidrômetro para quantificar o volume efetivamente conduzido à infiltração. No tubo condutor horizontal, após o hidrômetro, há uma caixa de passagem, cujo objetivo é aeração, decantação de partículas e divisão do volume d'água para diferentes tipos de caixa de recarga. As quatro caixas de infiltração construídas como protótipos apresentam forma cilíndrica com 1 metro de diâmetro por 2,5 metros de profundidade, dos quais dois metros são úteis para infiltração. As caixas testadas diferem umas das outras quanto às formas de revestimento e preenchimento, justamente para verificar a eficácia de infiltração em cada uma delas, e são descritas a seguir:

1. Caixa de infiltração não preenchida, do tipo tabuleiro de xadrez, parede revestida por tijolos intercalados e fundo aberto, com camada de 10 cm de cascalho no fundo para evitar a floculação de argilas durante a queda d'água;



2. Caixa de infiltração preenchida por cascalho, parede sem revestimento, com 2 metros preenchidos por cascalho de quartzo (porosidade de 44%);
3. Caixa de infiltração preenchida por areia, parede sem revestimento, com 2 metros preenchidos por areia grossa (porosidade de 35%).
4. Caixa de infiltração não preenchida, com revestimento de manilha perfurada, parede revestida por manilhas perfuradas nas laterais e fundo aberto, com camada de 10 cm de cascalho para evitar a floculação de argilas durante a queda d'água ao fundo;

Figura 24.47. Telhado Experimental, Calhas de Captação e Disposição das Caixas de Infiltração do Sistema Indireto de Recarga Artificial.



Essa técnica de recarga artificial pode acarretar em risco geotécnico relacionado à presença de uma crosta laterítica que funcionaria como uma barreira física ao fluxo vertical de recarga. A redução abrupta da condutividade hidráulica poderia causar o acúmulo de água suspensa, o qual, em áreas onde o terreno apresenta declividade mais acentuada, sob a ação do gradiente hidráulico, provocaria fluxos subhorizontais formando condutos subterrâneos,

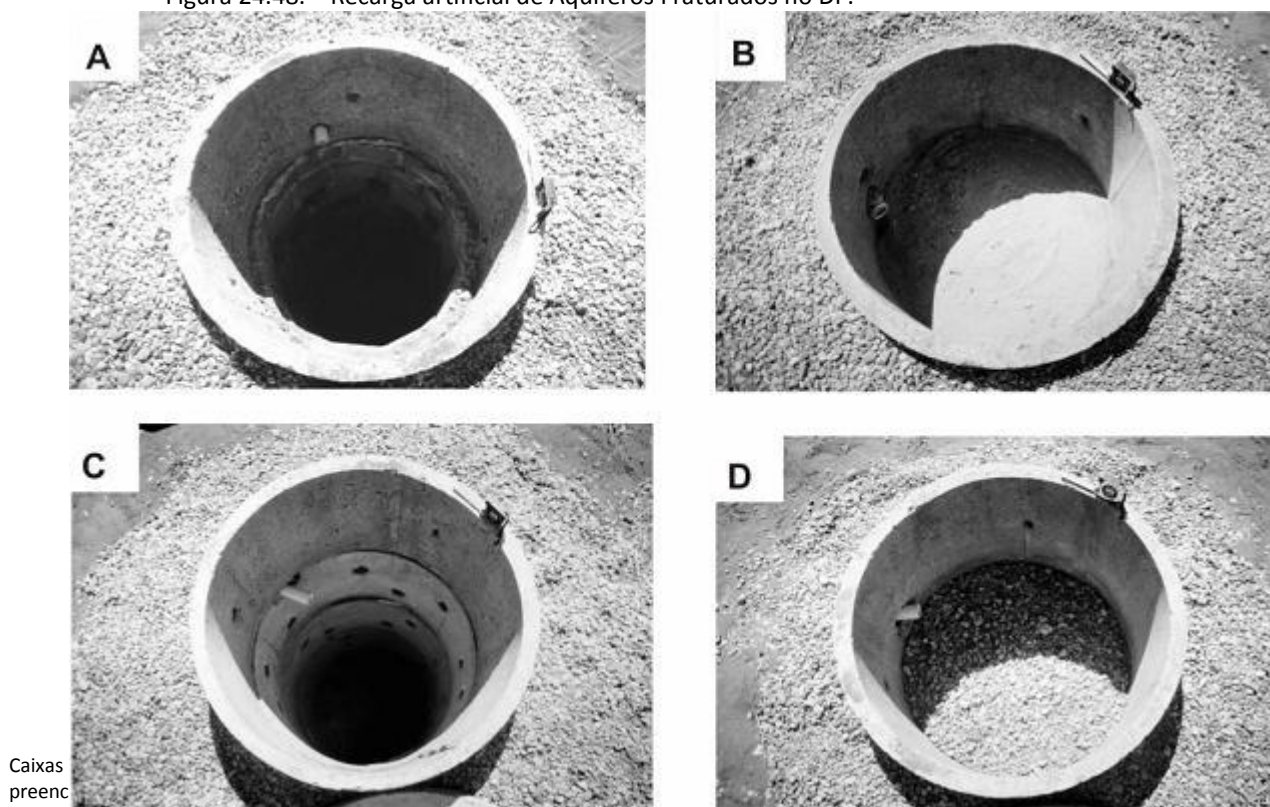
os quais poderiam induzir o colapso do solo. Processo semelhante a esse ocorre dentro da área do Parque Nacional de Brasília, no local conhecido como Três Buracos (Freitas-Silva & Campos 1995). Onde o fluxo subterrâneo concentrado ao longo de zonas de fraturas resulta na remoção de material fino e conseqüente desenvolvimento de condições para o recalque da porção superior do solo. A crosta laterítica não apresenta continuidade lateral, como observado durante a perfuração de poços tubulares profundos e poços rasos. Essa descontinuidade lateral garantiria um predomínio dos fluxos verticais sobre os horizontais, principalmente nas áreas mais elevadas onde a declividade do terreno é muito baixa.

Assim, apesar de não poder ser descartado, o risco geotécnico é considerado muito baixo. Sistema direto de recarga artificial Essa técnica de recarga artificial consiste na utilização de um poço tubular profundo de injeção com completo isolamento do domínio poroso, e injeção direta do excedente hídrico nas fraturas do subsistema R3/Q3. Apesar de inicialmente ter sido proposto e construído como uma técnica para recarga direta no meio fraturado, esse sistema passou a ser uma opção alternativa de recarga para áreas, onde os riscos geotécnicos são maiores, como na área sul do condomínio.

O protótipo desse sistema de recarga artificial foi construído ao lado de um poço tubular profundo já existente. Constitui-se de um conjunto formado por telhado experimental, calha de captação instalada nas extremidades do telhado, tubulação de condução vertical (88mm) e horizontal subterrânea (60mm), caixa de filtragem.



Figura 24.48. Recarga artificial de Aqüíferos Fraturados no DF.



RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram realizados balanços hídricos considerando diferentes condições de ocupação, para a área diretamente afetada pelo CABV. Para tanto, foram monitoradas as precipitações, temperaturas e descargas nos córregos durante

o ano hidrológico de 2001. Também foram feitos ensaios hidrogeológicos e testes de capacidade dos sistemas experimentais, simulando eventos de precipitação com intensidades variando de 65 mm/h a 90 mm/h, que implicaram em elevadas vazões de teste. Esses ensaios foram úteis na determinação dos parâmetros hidrogeológicos locais, na avaliação da capacidade máxima dos sistemas de recarga artificial testados e na determinação da relação entre a área de interceptação do telhado e as dimensões da caixa de recarga, permitindo elaborar um projeto padrão de caixa de recarga para o CABV. Além disso, também foram úteis para mostrar que a eficiência dos sistemas testados depende do correto dimensionamento do conjunto telhado – calha – tubulação, sendo inversamente proporcional às perdas por defeitos construtivos (dc).

Para o sistema indireto de recarga artificial, com relação ao tipo de caixa de infiltração mais adequado à aplicação dessa técnica, a caixa preenchida por cascalho respondeu melhor às

intensas injeções de água. Caixas preenchidas com cascalho ou areia e sem revestimento possuem toda a área cilíndrica da parede e o fundo da caixa, como superfície de infiltração. Nessas caixas, a infiltração radial é bem mais rápida do que em caixas com revestimento e sem preenchimento. Todavia, o tipo do material utilizado no preenchimento deve ser inerte, possuir bom arredondamento, boa esfericidade e porosidade efetiva maior que 40%, o que garante o melhor escape do ar acumulado na porosidade do material. A caixa de areia, cuja porosidade é de 35%, apresentou transbordamento de água frente às intensas chuvas simuladas. A infiltração é lenta nessa caixa, o que provoca imediatamente a formação de uma camada de água acima da areia, impedindo a saída do ar e provocando o transbordamento. As dimensões utilizadas também se demonstraram adequadas para a área de contribuição do telhado experimental, suportando bem os intensos eventos pluviométricos simulados.

O provável risco geotécnico relacionado à implantação desse sistema, causado pelo caráter colapsivo dos latossolos e pela concentração de fluxo subhorizontal na zona vadosa, devido a prováveis barreiras hidráulicas de oposição ao fluxo vertical, pode ser minimizado por meio da perfuração de um furo de 100 mm de diâmetro no centro da caixa de infiltração, a partir dos 2,5 m já perfurados, o qual deverá ultrapassar prováveis barreiras hidráulicas e pode ser feito com um trado minimizando os custos.

Esse furo manterá a predominância do fluxo vertical impedindo a concentração de água suspensa e a formação de interfluxo, reduzindo os riscos de transporte e erosão subterrânea, que poderiam afetar as estruturas de edificações.

A relação custo/benefício também deve ser levada em consideração e no caso do sistema indireto, as caixas de cascalho são bem mais acessíveis que as demais, além de apresentar melhor resposta à infiltração e serem de fácil construção. Dessa forma, a caixa de recarga adequada à aplicação sistemática desse sistema (Fig. 60) deve ter 1 metro de diâmetro, 3 metros de profundidade, com 2,5 m úteis para infiltração, ou seja, a relação deve ser de 2,5 m para cada 200 m² de área de contribuição do telhado, mantendo sempre uma distância de pelo menos 10 m entre cada caixa.

Três poços de observação (PO1, PO2 e PO3) foram instalados de forma triangular em relação às caixas de recarga artificial. O PO1 (10 metros de profundidade) se encontra 3 m a sul das caixas, o PO2 (10 m de profundidade), 30 m a norte e o PO3 (15 metros de profundidade), 20



m a nordeste. O monitoramento do nível estático nos três poços de observação, entre maio de 2001 de maio de 2002, demonstrou um resultado bem otimista quanto à infiltração efetiva do excedente hídrico na zona saturada do sistema P1 e, conseqüentemente, para as fraturas do subsistema R3/Q3.

O terreno possui uma leve declividade para sul, enquanto o nível estático manteve-se com declividade nitidamente oposta, para norte (Fig. 6). Pela declividade do terreno e pela elevada homogeneidade lateral dos latossolos, que constituem o sistema P1, era de se esperar que o nível estático também acompanhasse a declividade do terreno, para sul, ou pelo menos mantivesse a mesma altura nos três poços de observação. Entretanto, o PO1, desde o início da estação chuvosa, apresentou um nível estático médio de cerca de 70 cm acima dos outros dois poços, que mantiveram sempre os níveis muito próximos, variando no máximo 10 cm entre si (Figura 7). Isso indica a formação de uma elevação na superfície potenciométrica imediatamente abaixo das caixas de recarga artificial do sistema indireto, representando a formação de um cone de ascensão e confirmando a injeção de água na zona saturada do sistema P1.

A reduzida dimensão do cone de ascensão pode indicar um predomínio do fluxo vertical em detrimento do fluxo lateral na zona saturada do sistema P1, havendo efetiva recarga do sentido vertical, o que pode favorecer também a recarga no domínio fissural subjacente.

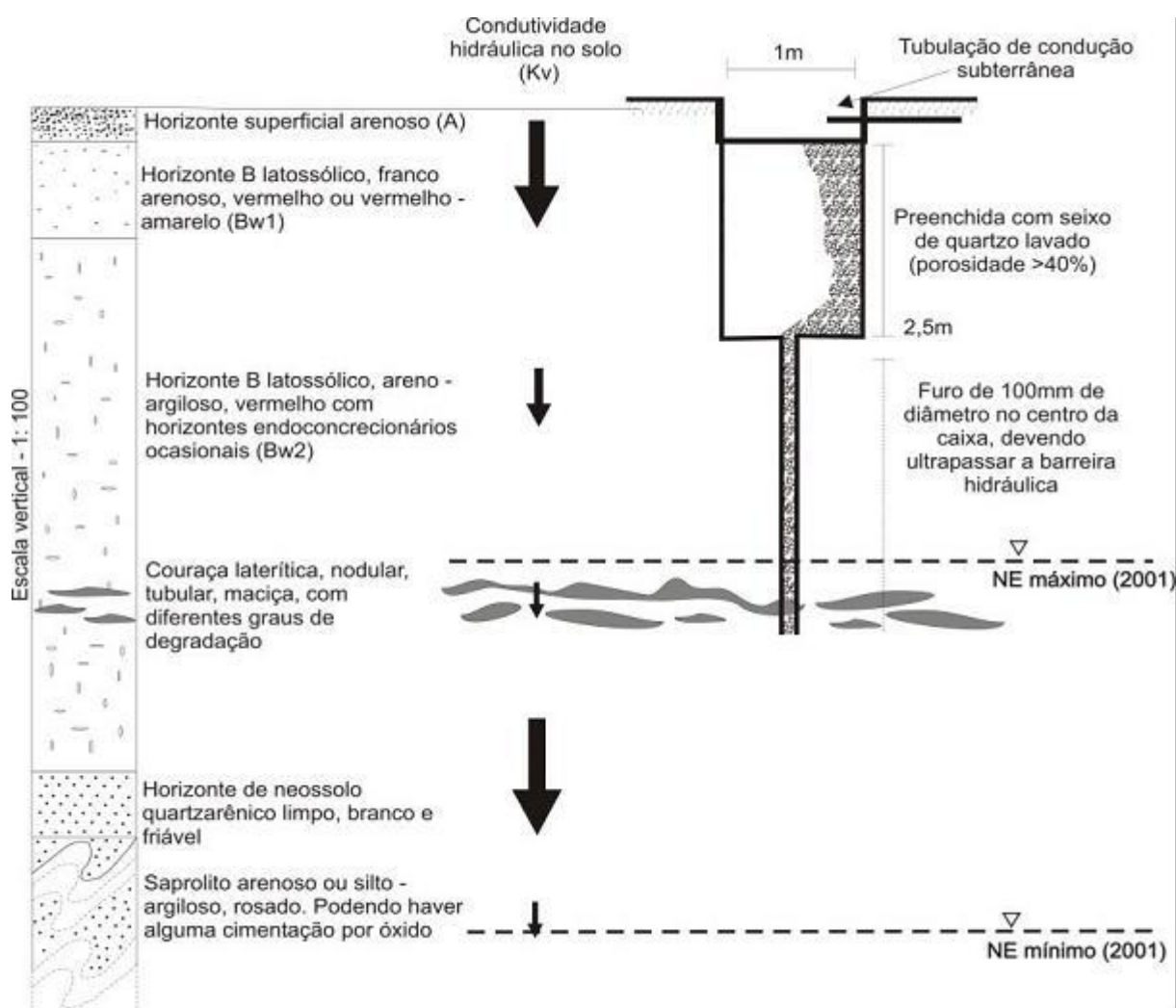
Por ser o PO mais profundo, apenas o PO3 teve um registro contínuo de oscilação do nível estático. Nos demais, o nível estático mais baixo ultrapassou a profundidade dos poços, interrompendo o monitoramento. Observa-se na figura 61, que, mesmo após o início das chuvas, o nível estático continua descendo até o mês de novembro e somente então, volta a subir. No caso do PO1 o início da subida do nível acontece praticamente 15 dias antes dos demais, o que é um resultado da aceleração do processo natural de recarga, devido ao funcionamento das caixas experimentais de recarga artificial testadas durante o ano hidrológico de 2001 / 2002.

Conforme o balanço hídrico da área diretamente afetada pela ocupação do CABV, em condições de pré-urbanização, a recarga natural durante o ano de 2001, para o sistema P1 e subsistema R3/ Q3 respectivamente, foi igual a 3.596.124 m³ e 2.284.880 m³, ou seja, 26% e 17% do total precipitado na área. Outra observação importante nos cálculos do balanço hídrico refere-se aos valores mínimos de recarga no sistema P1 para que seja possível a



recarga no subsistema R3/Q3. Para valores de recarga natural no sistema P1 inferiores a 15% do volume precipitado, as perdas por fluxo de base (Q_b) nas nascentes dos córregos Sarandi e Sobradinho tornam-se maiores que o volume recarregado fazendo com que não seja possível a recarga natural. Considerando que a ocupação do CABV implicará na impermeabilização mínima de 57% da área total prevista e que apenas 20% equivalem a áreas impermeabilizadas por telhados, o balanço hidrológico mostra que, se a ocupação ocorrer sem a utilização do sistema indireto de recarga artificial, a recarga no sistema P1 teria sido no mínimo igual a 1.231.776,5 m³ e no máximo 2.318.161 m³, ou seja, respectivamente 9% e 17% do total precipitado ao longo do ano de 2001. Significa dizer, que no subsistema R3/Q3, ou não teria ocorrido recarga, ou a recarga teria sido no máximo igual a 1.006.917 m³, ou seja, não teria ultrapassado 7,5% do volume hídrico disponível no ano. o sobre água disponível à recarga no subsistema R3/Q3.

Figura 24.49. Projeto padrão da caixa de recarga artificial do sistema indireto.



Para a área de telhado no sistema experimental instalado no CABV, cujas perdas por dc, calculadas durante os ensaios de injeção foram iguais a 64% do volume total injetado, a recarga artificial na zona saturada do sistema P1 foi igual a 22% do volume total precipitado durante o ano hidrológico monitorado, contra 26% de recarga natural em condições de pré-urbanização. Essa situação não é a ideal, devido ao elevado percentual de dc, mesmo assim, a recarga artificial se aproxima muito das condições naturais de recarga. Com conjuntos de telhado-calha-tubulação dimensionados para percentuais máximos de dc iguais a 50%, a recarga artificial seria igual à natural, ou seja, seria o suficiente para haver uma manutenção das condições naturais de recarga, como se não tivesse ocorrido ocupação urbana.

A comparação entre balanços hídricos na área diretamente afetada mostra uma alta eficiência para o sistema indireto de recarga artificial proposto neste trabalho. Com a utilização desse sistema, caso os percentuais de dc não ultrapassem 50%, a recarga no sistema P1 seria no mínimo igual a 2.711.777,6 m³ e no máximo 3.828.437 m³, ou seja, 20% e 29% do total precipitado. Isso equivale dizer que para o sistema P1 a recarga seria de 16% a 65% e para o subsistema R3/Q3, de 39% a 150% maior que em condições de ocupação sem a utilização dos sistemas indiretos de recarga artificial. Comparando os valores na condição de ocupação com a utilização do sistema indireto de recarga artificial e na condição de pré-urbanização, a recarga no subsistema R3/Q3, seria 10% maior que em condições naturais. Esse resultado demonstra a eficiência da utilização do sistema indireto de recarga artificial como ferramenta de gestão dos recursos hídricos numa área de recarga regional urbanizada do DF.



Figura 24.50. Bloco Diagrama Esquemático com a Simulação do Cone de Ascensão sob a Área Submetida à Recarga Artificial do Aquífero.

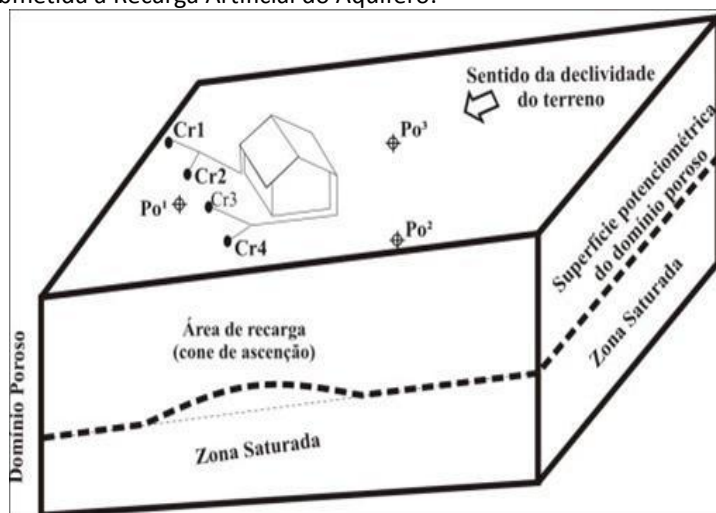
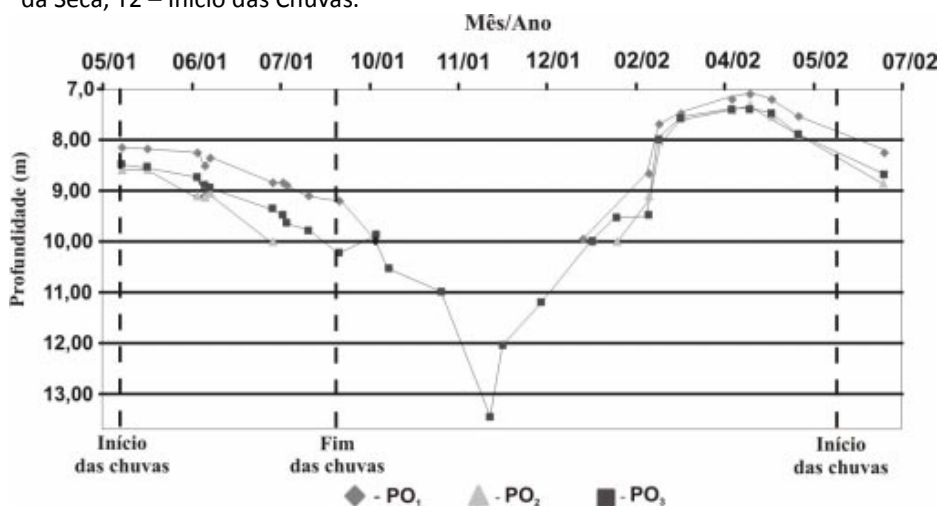


Figura 24.51. Gráfico de Oscilação do Nível Estático nos Poços de Observação. t1 – Início da Seca, T2 – Início das Chuvas.



Deve-se levar em conta, que o abastecimento público de água no CABV e de vários outros condomínios é baseado na exploração de água dos aquíferos fissurais do subsistema R3/Q3. Tomando-se como exemplo o ano hidrológico de 2001 e utilizando-se o consumo médio de água por habitante no DF (220 litros por pessoa, por dia), se a ocupação urbana no CABV tivesse ocorrido sem a utilização dos sistemas indiretos de recarga, o consumo de água teria sido de 2.441.120 m³, ao passo que, o volume disponível para a recarga do subsistema R3/Q3, teria sido de apenas 1.006.917m³. Essa situação causaria um rebaixamento progressivo das superfícies potenciométricas no domínio poroso e fraturado, causando, respectivamente, o secamento das nascentes dos tributários das bacias dos córregos Sarandi e Sobradinho e a falta de água para o abastecimento público. Ou seja, não



haveria recarga nos aquíferos explorados, o que os levaria à condição de sobreexploração. Nesse contexto, a utilização do sistema indireto de recarga artificial, não só manterá as condições naturais de recarga na área diretamente afetada pela ocupação, garantindo a sustentabilidade do sistema e a disponibilidade de água para consumo humano, como também promoverá um incremento anual nas reservas hidrogeológicas do sistema P1 e subsistema R3/Q3, considerando que as condições climatológicas não sejam muito diferentes daquelas observadas em 2001. A maior vantagem do sistema indireto de recarga artificial é que as perdas totais por evapotranspiração são significativamente reduzidas, e passam a ser exclusivamente perdas por evaporação na área impermeabilizada por telhado. Após entrar na tubulação de condução à caixa de infiltração, não há perdas de água por evaporação. As perdas de água por escoamento superficial em condições naturais são transferidas para as perdas por defeitos construtivos no conjunto telhado – calha – tubulação e as perdas por interfluxo, que já são mínimas em áreas de chapada elevada. Estas perdas também são minimizadas com a utilização das caixas de recarga propostas, uma vez que, injetando-se a água a mais de 2 metros de profundidade, há garantia de predomínio do fluxo vertical. Outra vantagem das caixas de infiltração sobre as condições naturais é que naturalmente, em condições de préurbanização, quando ocorre um evento pluviométrico de intensidade maior que a capacidade de infiltração do solo, rapidamente as camadas superficiais se encharcam e, se a precipitação mantém-se constante, a infiltração ocorre nas mesmas taxas da curva da capacidade de infiltração do solo, a qual vai diminuindo exponencialmente no tempo e tendendo a um valor mínimo. Nessas condições, a maior parcela do volume precipitado acaba escoando pela superfície. No caso do uso das caixas de recarga artificial do sistema indireto, quando isso acontecer, o volume excedente não escoa pela superfície, ele é injetado a uma profundidade mínima de metros, maximizando a infiltração. Existem algumas condições geomorfológicas, geológicas e pedológicas bem definidas, que proporcionam um quadro ideal à aplicação do sistema indireto de recarga artificial de aquíferos fraturados. Fora dessas condições, não é aconselhável a utilização desse sistema. Trata-se de áreas com declividade máxima de 8%, onde ocorra, necessariamente, um manto de intemperismo com condutividade hidráulica variando de $2,3 \times 10^{-5}$ a 3×10^{-4} m/s (2 a 25 m/dia) (Souza 2001, Joko 2002, Cadamuro 2002) e espessura mínima de 15m, o qual deve recobrir um meio fissural com

condutividades hidráulicas da ordem de $5,8 \times 10^{-7}$ a $1,16 \times 10^{-5}$ m/s (5×10^{-2} a 1 m/dia) (Campos & Freitas-silva 1998, Souza 2001, Cadamuro 2002). No DF compartimentos geomorfológicos do tipo chapada elevada, onde ocorre associação de aquíferos, do meio poroso e fissural, do tipo P1 – R3/Q3 são os mais adequados e ideais à utilização desse sistema.

Atendidos os pré-requisitos básicos para sua utilização, o sistema indireto de recarga artificial é a melhor maneira de manter o equilíbrio dinâmico dos aquíferos fraturados explorados para abastecimento público de água em áreas urbanizadas por condomínios residenciais no DF. Essa técnica garante a manutenção da recarga no domínio fissural, interrompida devido à impermeabilização generalizada dos terrenos ocupados. Para o sistema direto de recarga artificial, precipitações da ordem de 120 mm/h foram simuladas sobre o telhado experimental do sistema direto de recarga artificial. Levando em consideração que durante a pesquisa, o evento pluviométrico de maior intensidade foi da ordem de 90mm/dia, a precipitação pluviométrica simulada representa condições extremas de chuva. Para o caso específico do sistema experimental implantado e testado na área do CABV, onde foi utilizado um poço já existente como poço de injeção, a capacidade máxima de infiltração, para um evento como o registrado (90mm/dia), limita-se apenas a uma área de 400m² por poço de injeção. A maior utilidade do sistema direto de recarga consiste na sua aplicação em áreas de maior risco geotécnico. Em áreas mais críticas, do ponto de vista do risco geotécnico, como é o caso da porção sul do CABV, esse sistema poderia ser implantado diminuindo a intensidade de caixas de infiltração.

Cuidados devem ser tomados com a qualidade da água a ser injetada, principalmente no caso do sistema direto de recarga artificial, pois a água não passa pela camada de filtro natural representada pelo solo, como ocorre no caso do sistema indireto de recarga artificial, ou em condições naturais. Nesse caso, devesse elaborar um programa de monitoramento constante das condições físico-químicas e bacteriológicas da água de precipitação e da água subterrânea no subsistema R3/Q3.

O sistema direto de recarga artificial nos aquíferos fraturados do subsistema R3/Q3, através de poços de injeção, não apresenta a mesma eficiência das caixas de recarga do sistema indireto, apresentando duas restrições importantes quanto ao seu uso intensivo. A primeira diz respeito à eficiência do sistema e à razão custo – benefício e a outra diz respeito aos

riscos de contaminação no meio fissural. Assim, conclui-se que o sistema direto apresenta viabilidade limitada.

A utilização dos sistemas de recarga artificial propostos, ao longo do tempo, deve incluir a implantação de um plano de avaliação para implementar as seguintes ações:

- Monitoramento mensal das vazões nas fontes das bacias hidrográficas diretamente afetadas pela ocupação de condomínios residenciais em áreas de recarga natural de aquíferos, incluindo a inspeção das fontes secas, que podem ser reabilitadas em longo prazo;
- Monitoramento mensal das oscilações dos níveis estáticos médios das duas superfícies potenciométricas (Sistema P1 e Subsistema R3/Q3);
- Implantação de programa periódico de manutenção das caixas de recarga;
- Implantação, quando possível, de sistemas múltiplos de abastecimento de água, utilizando água superficial durante o verão chuvoso e água subterrânea durante o inverno seco;
- Amplo programa de educação ambiental junto aos moradores de condomínios e comunidades vizinhas, para redução do consumo de água e para dar suporte a utilização dos sistemas de recarga artificial na área, garantindo o interesse de manutenção individual de cada morador;
- Manutenção de sistema periódico de controle da qualidade físico-química e bacteriológica da água de precipitação pluviométrica, da água nas fontes dos tributários das bacias hidrográficas diretamente afetadas, além das águas subterrâneas;
- Instalação de estações meteorológicas em pontos estratégicos das áreas urbanizadas, munidas de pluviômetro, termômetro e evaporímetro para dar suporte à elaboração de futuros balanços hídricos, que possam caracterizar melhor as condições de ocupação e compará-las às condições de pré-urbanização.

