



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
MESTRADO PROFISSIONAL EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL
INSTITUTO DE QUÍMICA

REBECCA BRAUN POLOPONSKY

**CONTENÇÃO DE ENCOSTAS COM EMPREGO DA GRAMÍNEA VETIVER:
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO PARA ATENDIMENTO DA
DEMANDA HÍDRICA**

NITERÓI

2016

REBECCA BRAUN POLOPONSKY

**CONTENÇÃO DE ENCOSTAS COM EMPREGO DA GRAMÍNEA VETIVER:
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO PARA ATENDIMENTO DA
DEMANDA HÍDRICA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Análise dos desastres devidos às transformações do uso e cobertura do solo.

Orientador: Prof. Manoel Isidro de Miranda Neto, D. Sc.

REBECCA BRAUN POLOPONSKY

**CONTENÇÃO DE ENCOSTAS COM EMPREGO DA GRAMÍNEA VETIVER:
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO PARA ATENDIMENTO DA
DEMANDA HÍDRICA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil.

Aprovada em de de 2016.

Banca Examinadora

Professor Manoel Isidro de Miranda Neto, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense ó UFF

Professora Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense ó UFF

Professor Luiz Carlos Pires, D.Sc.
Universidade Vale do Paraíba ó UNIVAP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos maiores amores da minha vida, sejam eles pessoas encarnadas, desencarnadas e felinos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram de uma forma ou de outra na concretização deste trabalho. Ao meu noivo pela companhia incansável e todo apoio que me transmite. Aos familiares próximos pelos valores transmitidos, com destaque especial para a minha sempre compreensiva mãe, minha atenciosa e inteligente irmã, meu exigente irmão e sua esposa, sempre dedicada em ajudar. Aos profissionais que me auxiliaram e me inspiraram na minha trajetória de estudos. Ao meu orientador pela disposição em me orientar neste trabalho, aos demais professores do Mestrado em Defesa e Segurança Civil da UFF pelas contribuições acadêmicas e aos colegas de curso pelas trocas de experiências, incentivos e conversas motivadoras.

RESUMO

A gramínea Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) tem sido empregada como cobertura vegetal com a finalidade de estabilizar encostas, reduzindo movimentos de massa por erosão hídrica e aumentando a resistência ao cisalhamento de solos. A manutenção dessa cobertura vegetal requer conhecimento de sua demanda hídrica e para isso foram construídos, no Rio de Janeiro, quatro mini lisímetros com o intuito de determinar experimentalmente a evapotranspiração potencial desse cultivo, possibilitando desta forma o cálculo do coeficiente de cultivo. Nesses mini lisímetros foram cultivados, sem estresse hídrico, em casa de vegetação, indivíduos da gramínea Vetiver aplicando-se regas periódicas e medidos os volumes de água drenados. Ao fim de treze meses foi efetuado o balanço hídrico do experimento e determinada a evapotranspiração potencial do cultivo. Para essa espécie vegetal, considerando o solo empregado e as condições climáticas do local foi obtida a taxa ou lâmina evapotranspirada por mês de aproximadamente 200 mm. Após a etapa experimental, foram realizados cálculos para a determinação da Evapotranspiração de referência utilizando o Método de Penman-Monteith. Na última etapa do trabalho, obteve-se os valores de Kc para o Vetiver.

Palavras-Chave: *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, Lisímetro, Balanço hídrico, Evapotranspiração.

ABSTRACT

Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) has been used as a vegetation cover with the purpose of stabilizing slopes, reducing mass movements by water erosion and increasing soil shear resistance. The maintenance of this vegetation cover requires knowledge of its water demand. For this purpose, four mini lysimeters were constructed in Rio de Janeiro - Brazil to experimentally determine the potential evapotranspiration of this crop, thus enabling the calculation of the coefficient of Culture. In these mini lysimeters, individuals of the Vetiver grass were cultivated, without water stress, in a greenhouse, applying periodic watering and measuring the volumes of drained water. At the end of thirteen months the water balance of the experiment was determined and the potential evapotranspiration of the crop was determined. For this plant species, considering the soil used and the climatic conditions of the place was obtained the rate or evapotranspirated blade per month of approximately 200 mm. After the experimental stage, calculations were performed for the determination of reference evapotranspiration using the Penman-Monteith method. In the last stage of the work, the values of Kc for the Vetiver were obtained.

Keywords: *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, Lysimeter, Hydrological Balance, Evapotranspiration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Radiação Solar ó Balanço de Energia.....	7
Figura 2: Aspecto do vegetal exumado. Detalhe do pendão e da flor.....	17
Figura 3: Encosta vegetada com vetiver em Itaipava-RJ.....	24
Figura 4: Aspecto do vegetal nos tubos onde 4 deles foram convertidos em mini lisímetros.....	25
Figura 5: Aspecto do vegetal.....	26
Figura 6: Curva granulométrica do solo empregado no lisímetro.....	27
Figura 7: Detalhe do filtro no fundo do lisímetro.....	28
Figura 8: Fundo do mini-lisímetro: detalhe do cap perfurado.....	28
Figura 9: Vegetais empregados no experimento na Casa de Vegetação.....	29
Figura 10: Esquema do mini lisímetro.....	29
Figura 11: Vedação dos mini-lisímetros.....	30
Figura 12: Cálculo da ETo na área estudada.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Radiação Solar Extraterrestre Diária (R_a) para diferentes Latitudes.....	9
Tabela 2: Insolação Máxima Diária (N) para diferentes Latitudes.....	10
Tabela 3: Especificações dos quatro mini-lisímetros.....	30
Tabela 4: Evapotranspiração mensal do vetiver: tubos 11 e 12.....	32
Tabela 5: Evapotranspiração mensal do vetiver: tubos 13 e 18.....	33
Tabela 6: Cálculo do K_c do vetiver de acordo com a relação entre a E_{To} e a E_{Tc} do vegetal.....	34

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa	3
1.2 Objetivos	3
REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Evapotranspiração de Referência, Evapotranspiração da Cultura e o Coeficiente de Cultivo	4
2.2 Lísímetro	5
2.3 Método de Penman-Monteith (FAO-56)	5
MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 Vetiver	13
3.1.1 Características Morfológicas.....	14
3.1.2 Características Fisiológicas.....	14
3.2 Contenção de encostas com emprego da gramínea vetiver	17
3.3 Metodologia	24
3.4 O Experimento	25
3.4.1 Obtenção das Mudas.....	25
3.4.2 Caracterização do solo utilizado no experimento.....	26
3.4.3 Construção dos mini-lisímetros.....	27
3.4.4 Regime de regas dos tubos.....	30
3.4.5 Medição da água drenada nos mini-lisímetros.....	31
3.4.6 Cálculo de ajuste da lâmina d`água.....	31
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
APÊNDICE A.....	40

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O homem necessita para a sua sobrevivência ocupar um lugar no espaço e essa ocupação envolve o ato de instalação e preparação do local que será habitado. Os problemas ambientais dizem respeito, portanto, às formas pelas quais o homem modifica o seu lugar, com o objetivo de garantir suas condições de sobrevivência (PEREIRA, 2001). Através da produção contínua de seu espaço, o ser humano se deparou com um grave problema: o crescimento acelerado das cidades tem sido confundido com desenvolvimento e, contudo, paralelamente aos benefícios, estes espaços têm trazido impactos desastrosos para a qualidade de vida de seus habitantes e para as condições ambientais do planeta (ROSSETTO, 2003).

A evolução dos processos socioespaciais de construção da metrópole contemporânea resultou no agravamento de práticas ambientais predatórias, gerando erosões do solo, enchentes, desabamentos, desmatamentos e poluição dos mananciais de abastecimento e do ar. Desta forma, afetando o conjunto urbano e em especial as áreas ocupadas pela população de baixa renda, com perdas significativas para o funcionamento adequado do conjunto metropolitano (GROSTEIN, 2001).

Com o crescimento desenfreado das grandes cidades ao longo das últimas décadas e o consequente aumento de suas populações, estas encontraram como solução de moradia, em diversos casos, áreas consideradas de risco, como as encostas. As encostas são amplamente encontradas, pois ocupam a maior parte da superfície terrestre. O estudo das encostas é de fundamental importância para a compreensão das paisagens naturais, bem como para sua aplicação ao controle da erosão dos solos, tanto em áreas rurais como em áreas urbanas (GUERRA, 2011).

O desequilíbrio ambiental urbano é fortemente evidenciado em locais com declividade alta. A ocupação exacerbada de encostas pela população afeta demasiadamente estes sensíveis ambientes. Durante o processo de povoamento ocorre a supressão da vegetação e o acúmulo de lixo nas encostas, comprometendo assim a drenagem pluvial, o que favorece a erosão e os deslizamentos de terra; principalmente quando associadas a chuvas intensas ou prolongadas (MORO *et al.* 2011). Os processos de desestabilização iniciam-se com a retirada a cobertura

vegetal, seguindo-se da realização de cortes de taludes para construção de casas, prédios ou abertura de vias de acesso (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Os chamados movimentos de massa são os movimentos de solo ou material rochoso encosta abaixo sob a influência da gravidade, sem a contribuição direta de outros fatores como água, ar ou gelo. No entanto, água e gelo geralmente estão envolvidos nestes movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos solos. Os deslizamentos são movimentos de massa do tipo rápido, que geram uma série de consequências negativas para as zonas de encosta. Eles são os responsáveis por diferentes tipos de perdas, desde o próprio ambiente natural até os casos onde ocorrem mortes. Devido a estas consequências negativas que podem ser geradas pelos deslizamentos, estes são cada vez mais estudados numa perspectiva global, para que possam ser compreendidos e, assim, medidas preventivas possam ser criadas (SELBY, 1990).

A cobertura vegetal é fator-chave para a estabilidade das encostas devido à geração do reforço hidrológico e mecânico propiciado pelas raízes favorecendo a redistribuição da água pluvial, além de propiciar uma melhor agregação do solo ao protegê-lo contra o impacto direto dos pingos das chuvas (GIRÃO *et al.* 2007).

Diversas espécies de plantas são utilizadas para a proteção de terrenos, impedindo a erosão do solo e os deslizamentos, principalmente durante os períodos de chuvas fortes nos quais podem ocorrer movimentos de massa. Dentre estas destaca-se a gramínea Vetiver, *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, amplamente utilizada para fins de controle de erosão e estabilização de taludes pela sua alta adaptabilidade. Algumas vantagens proporcionadas pelo uso desta gramínea são devido às suas características particulares de adaptação em condições extremas, seu sistema radicular denso, que atinge profundidades até de 3 metros, e seu uso como barreira de retenção de sedimentos (OROZCO, 2009).

A necessidade de irrigação no cultivo de espécies vegetais usa cerca de 70% da água doce disponível no planeta. Portanto, o conhecimento das necessidades hídricas das espécies irrigadas é de fundamental importância para uma gestão sustentável dos recursos hídricos, assim como as culturas que são irrigadas, épocas de plantio e métodos de irrigação utilizados (EMBRAPA, 2016).

1.1 Justificativa

Diante dos aspectos apresentados, levando em consideração o potencial do vetiver na contenção de encostas, justifica-se o presente trabalho com a necessidade da determinação do coeficiente de cultivo do vegetal para que sua demanda hídrica seja calculada adequadamente, proporcionando uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

1.2 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é determinar o coeficiente de cultivo da gramínea vetiver. Como objetivos específicos, citam-se:

determinar a evapotranspiração do vegetal adulto;

determinar a evapotranspiração potencial na região onde foi conduzida a pesquisa.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA, EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E O COEFICIENTE DE CULTIVO

Numa superfície vegetada, ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e transpiração, portanto evapotranspiração é o termo utilizado para expressar essa ocorrência simultânea. A evapotranspiração é controlada através da disponibilidade de energia, da demanda atmosférica e do suprimento de água do solo às plantas (PEREIRA *et al.*, 1997). O aumento da evapotranspiração está interligado com o acréscimo no saldo de radiação, o efeito advectivo, a temperatura do ar e a velocidade do vento, e também com o decréscimo da umidade relativa. A transpiração constitui-se na água evaporada das superfícies das plantas, originária do solo e que percorre as raízes, os tecidos vasculares, as folhas, os estômatos e atinge a atmosfera. Outros aspectos da planta que afetam a evapotranspiração é o poder refletor (albedo): quanto mais escura a vegetação maior a energia disponível.

A Evapotranspiração de Referência (ET_o), anteriormente conhecida como Evapotranspiração Potencial de Referência (ET_p), é caracterizada como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera, sob condições padronizadas, ou seja, área com extensa superfície natural, totalmente coberta por vegetação baixa, de altura uniforme e com elevado índice de área foliar (IAF), de crescimento ativo na fase adulta (a grama batatais é a vegetação usualmente adotada) e teor de água do solo próximo ou na capacidade de campo. Sob estas condições de contorno, e considerando-as invariáveis no tempo e espaço, a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera (evapotranspiração) ocorre como função apenas do balanço vertical de energia, ou seja, das condições atmosféricas sobre a vegetação, sem interferências advectivas, podendo ser estimada por métodos modelados sob embasamentos matemáticos teórico-empíricos desenvolvidos e testados para várias condições climáticas (CARVALHO *et. al.*, 2011).

A Evapotranspiração da Cultura (ET_c) é a evapotranspiração de um cultivo vegetal em dada fase de seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de

crescimento. Assim ET_c depende das condições meteorológicas, expressas por meio da ETP (ou ET_o), do tipo de cultura (maior ou menor resistência à seca) e da área foliar.

O K_c é um coeficiente obtido pela razão entre a evapotranspiração da cultura e a de referência, estando interligado com a cultura selecionada, sua fase de desenvolvimento e as condições climáticas predominantes (DOORENBOS e PRUITT, 1997).

A ET_o , a ET_c e o K_c são variáveis básicas da irrigação que dependem dos elementos meteorológicos, da cultura e do solo, podendo ser medidas diretamente (lisímetros) ou indiretamente (equações combinadas) por vários métodos.

2.2 LÍSIMETRO

Lisímetro é um dispositivo utilizado para se determinar a evapotranspiração potencial de qualquer cultivo. No caso do cultivo ser a grama batatais, mantida entre 8 e 15 cm de altura, o que se determina é a chamada evapotranspiração potencial de referência (ET_o).

A mensuração da evapotranspiração é determinada pelo balanço hídrico dos dispositivos. No lisímetro, para se calcular a quantidade de água que evapotranspirou são utilizados basicamente dois métodos: a presença de uma balança acoplada ao sistema que mede variações de peso ou um sistema de drenagem de água onde quando colocada a água até a capacidade de campo daquele solo, a quantidade drenada subtraída da água adicionada corresponde, após um longo período de regas, a quantidade de água evapotranspirada.

2.3 MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH (FAO-56)

De acordo com Hora *et al.* (2010), a American Society of Civil Engineers- ASCE recomenda este método devido o seu desempenho relativamente preciso e consistente tanto em climas áridos como em úmidos.

A equação de Penman-Monteith combina os termos de resistência aerodinâmica e da superfície da planta, agregando não somente os aspectos aerodinâmico e termodinâmico, mas também a resistência ao fluxo de calor sensível e vapor d'água no ar, e a resistência da superfície (planta) à transferência de vapor d'água. A formulação proposta é:

$$ET_o' = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn' - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900 \cdot U_2}{T + 273} \right) \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (3)$$

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Pa} \quad (4)$$

$$\text{Pa} = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \quad (5)$$

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{\text{máx}}) + e^\circ(T_{\text{mín}})}{2} \quad (6)$$

$$e^\circ(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (7)$$

$$e_a = \frac{\text{UR} \cdot e^\circ(T)}{100} \quad (8)$$

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (9)$$

onde:

$E_{T\text{o}\varnothing}$ evapotranspiração de referência diária no mês em questão, em mm.

$R_{n\varnothing}$ radiação solar líquida na superfície do cultivo, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

G fluxo de calor do solo, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

declividade da curva de pressão de saturação de vapor, em $\text{kPa}/^\circ\text{C}$.

γ fator psicrométrico, em MJ/kg .

U_2 velocidade do vento (média diária) a 2 metros acima da superfície do solo, em m/s.

T temperatura média do ar, em $^\circ\text{C}$.

$T_{\text{máx}}$ temperatura máxima diária do ar, em $^\circ\text{C}$.

$T_{\text{mín}}$ temperatura mínima diária do ar, em $^\circ\text{C}$.

e_s pressão média de saturação de vapor, em kPa.

e_a pressão de saturação de vapor à temperatura de ponto de orvalho, em kPa.

e° pressão de saturação de vapor na temperatura do ar T , em kPa.

Pa pressão atmosférica do ar, em kPa.

z_e altitude do local, em m.

UR umidade relativa, em %.

0,408 fator de conversão de $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ para mm/dia .

$\exp[..]$ 2,7183 (base do logaritmo natural) elevado a potência [..].

Para converter evapotranspiração de referência diária (E_{To}) em evapotranspiração de referência mensal (E_{To}), basta multiplicar o primeiro pelo número de dias do mês em questão.

Na estimativa da evapotranspiração de referência, todos os termos do balanço de energia devem ser considerados, pois o processo de evapotranspiração é dependente da quantidade de energia disponível para evaporar a água e, neste aspecto, a radiação solar é a mais importante fonte de energia que pode transformar grandes quantidades de água no estado líquido para gasoso.

Devido à inclinação do planeta e de seu movimento no entorno do sol, essa energia é diferente para cada latitude e para as diferentes estações do ano, bem como de toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera, conforme pode ser observado na Figura 1.

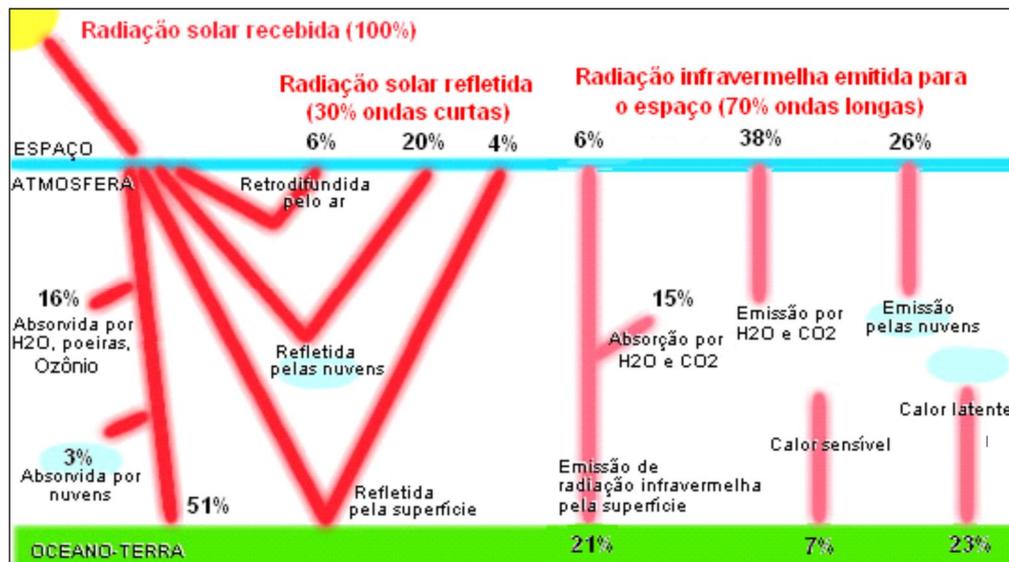


Figura 1 ó Radiação Solar ó Balanço de Energia

Fonte: Sentelhas e Angelocci, 2009.

A radiação solar pode ser classificada em:

- a) **Radiação solar extraterrestre (Ra):** A radiação solar extraterrestre representa a parcela da radiação solar recebida na parte superior da atmosfera terrestre sobre uma superfície horizontal, sendo uma função da latitude, da época do ano e da hora do dia.
- b) **Radiação solar de onda curta (Rs):** Quando a radiação atravessa a atmosfera atingindo a superfície terrestre, parte dela se dispersa, outra parte é refletida ou absorvida pelos gases, nuvens ou poeira atmosférica. A quantidade de radiação que chega a um plano horizontal da superfície terrestre é denominada de radiação solar ou radiação de onda curta. Ela pode ser calculada pela fórmula de Angstrom, que relaciona a radiação solar com a radiação solar extraterrestre e a duração relativa da luz solar, sendo expressa por:

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \quad (10)$$

onde:

- R_s radiação solar ou radiação solar de onda curta, em MJ/m².dia.
- R_a radiação solar extraterrestre diária, em MJ/m².dia. Sua determinação é possível através da interpolação dos valores relacionados na Tabela 1, a seguir.
- a_s, b_s fração da radiação solar extraterrestre que alcança a superfície em dias claros ($n = N$). Os valores recomendados são a_s igual a 0,25 e b_s igual a 0,50.
- N insolação máxima diária, em horas. É função da latitude e sua determinação é possível através da interpolação dos valores apresentados na Tabela 2, a seguir.
- n insolação diária, em horas/dia. É função da insolação total, variável relacionada nas Normais Climatológicas, representativa do valor mensal das séries históricas de medições, 1931 a 1960 ou 1961 a 1990. O valor de n é calculado pela razão entre a insolação e o número de dias do mês.
- n/N razão de insolação, adimensional.

Tabela 1 ó Radiação Solar Extraterrestre Diária (Ra) para diferentes Latitudes
 Fonte: Hora *et al.*, 2010.

Lat. (°C)	Hemisfério Sul											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
70	41,4	28,6	15,8	4,9	0,2	0,0	0,0	2,2	10,7	23,5	37,3	45,3
68	41,0	29,3	16,9	6,0	0,8	0,0	0,0	3,2	11,9	24,4	37,4	44,7
66	40,9	30,0	18,1	7,2	1,5	0,1	0,5	4,2	13,1	25,4	37,6	44,1
64	41,0	30,8	19,3	8,4	2,4	0,6	1,2	5,3	14,4	26,3	38,0	43,9
62	41,2	31,5	20,4	9,6	3,4	1,2	2,0	6,4	15,5	27,2	38,3	43,9
60	41,5	32,3	21,5	10,8	4,4	2,0	2,9	7,6	16,7	28,1	38,7	43,9
58	41,7	33,0	22,6	12,0	5,5	2,9	3,9	8,7	17,9	28,9	39,1	44,0
56	42,0	33,7	23,6	13,2	6,6	3,9	4,9	9,9	19,0	29,8	39,5	44,1
54	42,2	34,3	24,6	14,4	7,7	4,9	6,0	11,1	20,1	30,6	39,9	44,3
52	42,5	35,0	25,6	15,6	8,8	6,0	7,1	12,2	21,2	31,4	40,2	44,4
50	42,7	35,6	26,6	16,7	10,0	7,1	8,2	13,4	22,2	32,1	40,6	44,5
48	42,9	36,2	27,5	17,9	11,1	8,2	9,3	14,6	23,3	32,8	40,9	44,5
46	43,0	36,7	28,4	19,0	12,3	9,3	10,4	15,7	24,3	33,5	41,1	44,6
44	43,2	37,2	29,3	20,1	13,5	10,5	11,6	16,8	25,2	34,1	41,4	44,6
42	43,3	37,7	30,1	21,2	14,6	11,6	12,8	18,0	26,2	34,7	41,6	44,6
40	43,4	38,1	30,9	22,3	15,8	12,8	13,9	19,1	27,1	35,3	41,8	44,6
38	43,4	38,5	31,7	23,3	16,9	13,9	15,1	20,2	28,0	35,8	41,9	44,5
36	43,4	38,9	32,4	24,3	18,1	15,1	16,2	21,2	28,8	36,3	42,0	44,4
34	43,4	39,2	33,0	25,3	19,2	16,2	17,4	22,3	29,6	36,7	42,0	44,3
32	43,3	39,4	33,7	26,3	20,3	17,4	18,5	23,3	30,4	37,1	42,0	44,1
30	43,1	39,6	34,3	27,2	21,4	18,5	19,6	24,3	31,1	37,5	42,0	43,9
28	43,0	39,8	34,8	28,1	22,5	19,7	20,7	25,3	31,8	37,8	41,9	43,6
26	42,8	39,9	35,3	29,0	23,5	20,8	21,8	26,3	32,5	38,0	41,8	43,3
24	42,5	40,0	35,8	29,8	24,6	21,9	22,9	27,2	33,1	38,3	41,7	43,0
22	42,2	40,1	36,2	30,6	25,6	23,0	24,0	28,1	33,7	38,4	41,4	42,6
20	41,9	40,0	36,6	31,3	26,6	24,1	25,0	28,9	34,2	38,6	41,2	42,1
18	41,5	40,0	37,0	32,1	27,5	25,1	26,0	29,8	34,7	38,7	40,9	41,7
16	41,1	39,9	37,2	32,8	28,5	26,2	27,0	30,6	35,2	38,7	40,6	41,2
14	40,6	39,7	37,5	33,4	29,4	27,2	27,9	31,3	35,6	38,7	40,2	40,6
12	40,1	39,6	37,7	34,0	30,2	28,1	28,9	32,1	36,0	38,6	39,8	40,0
10	39,5	39,3	37,8	34,6	31,1	29,1	29,8	32,8	36,3	38,5	39,3	39,4
8	38,9	39,0	37,9	35,1	31,9	30,0	30,7	33,4	36,6	38,4	38,8	38,7
6	38,3	38,7	38,0	35,6	32,7	30,9	31,5	34,0	36,8	38,2	38,2	38,0
4	37,6	38,3	38,0	36,0	33,4	31,8	32,3	34,6	37,0	38,0	37,6	37,2
2	36,9	37,9	38,0	36,4	34,1	32,6	33,1	35,2	37,1	37,7	37,0	36,4
0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6

Tabela 2 ó Insolação Máxima Diária (N) para diferentes Latitudes
 Fonte: Hora *et al.*, 2010.

Lat. (°C)	Hemisfério Sul											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3
32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

- c) **Radiação solar de céu limpo (Rso):** A radiação de céu limpo, Rso, é calculada pela equação (10) considerando-se que $n = N$.
- d) **Radiação solar líquida de onda curta (Rns):** A radiação líquida de onda curta é a aquela disponível na superfície para os processos de aquecimento da atmosfera, evapotranspiração, aquecimento do solo e da água. Resulta do balanço entre a radiação solar recebida e refletida e é expressa por:

$$Rns = (1 - \alpha) \cdot Rs \quad (11)$$

onde:

Rns radiação solar líquida de onda curta, em MJ/(m² · dia).

R_s radiação solar ou radiação solar de onda curta, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.
albedo ou coeficiente de reflexão da cultura. Adota-se o valor 0,23 para a cultura de referência.

- e) **Radiação solar líquida de onda longa (R_{nl}):** A radiação líquida de onda longa é função da temperatura, da constante de Stefan-Boltzmann, pressão de vapor e da razão entre a radiação solar e a radiação solar de céu limpo, sendo calculada por:

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (12)$$

onde:

R_{nl} radiação solar líquida de onda longa, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

constante de Stefan-Boltzmann igual a $4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

e_a pressão de saturação de vapor à temperatura de ponto de orvalho, em kPa.

$T_{\max,K}$ temperatura máxima absoluta em 24 horas, em Kelvin. [$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16$].

$T_{\min,K}$ temperatura mínima absoluta em 24 horas, em Kelvin. [$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,16$].

R_s radiação solar ou radiação de onda curta, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

R_{so} radiação de céu limpo, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

$\frac{R_s}{R_{so}}$ radiação relativa de onda curta (valores $\bar{O}1,0$).

- f) **Radiação líquida (R_n):** A radiação líquida ou saldo de radiação na superfície do cultivo é calculada pela diferença entre a radiação líquida de onda curta e a radiação líquida de onda longa multiplicada pelo fator de conversão 0,408:

$$R_n = 0,408 \cdot (R_{ns} - R_{nl}) \quad (13)$$

onde:

R_n radiação solar líquida, em equivalente a altura de água evaporada, em mm/dia.

R_{ns} radiação solar líquida, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

R_{nl} radiação solar líquida de onda longa, em $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$.

- g) **Fluxo de calor no solo (G):** O fluxo de calor no solo é a energia utilizada para seu aquecimento, ela será positiva enquanto o solo estiver se aquecendo e negativa quando ele estiver esfriando. Apesar do valor de G ser inferior ao valor de Rn, principalmente quando a superfície é vegetada, e muitas vezes ser considerado desprezível, o montante de energia armazenada ou perdida pelo solo deve ser, teoricamente, subtraído ou adicionado ao valor de Rn, quando da estimativa da evapotranspiração. A formulação proposta para o cálculo do fluxo de calor do solo para intervalos de tempo de iguais ou superiores a 24 horas se baseia no conceito de que a temperatura do solo segue a temperatura do ar, sendo que:

$$G = c_s \cdot \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} \cdot \Delta z \quad (14)$$

onde:

G fluxo de calor do solo, em MJ/(m² · dia).

c_s capacidade de calor do solo, assumida como sendo igual a 2,1 MJ/(m³ · °C).

T_i temperatura média do ar no mês em questão, em °C.

T_{i-1} temperatura média do ar no mês anterior ao mês em questão, em °C.

t intervalo de tempo, em dia.

z profundidade efetiva do solo, em m. Para intervalos de tempo iguais ou superiores a um dia, z varia entre 0,10 a 0,20 m. Para períodos mensais o valor de z deve ser igual a 2,0 m.

Efetuada as substituições, a equação (14) para o cálculo de G para períodos mensais pode ser reescrita da seguinte forma:

$$G = 0,14 \cdot (T_i - T_{i-1}) \quad (15)$$

onde:

G fluxo de calor do solo, em MJ/(m² · dia).

T_i temperatura média do ar no mês em questão, em °C.

T_{i-1} temperatura média do ar no mês anterior ao mês em questão, em °C.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 VETIVER

Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty, classificada anteriormente como *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash e conhecida popularmente como Vetiver, é uma planta da Família das gramíneas (Poaceae). É conhecida também como capim-vetiver, capim-de-cheiro, grama-cheirosa, grama-das-índias, falso-pachuli (ou, simplesmente, pachuli) e raiz-de-cheiro (BARROS, 2008). Herbácea, perene, cespitosa (em moita), que chega a atingir cerca de 2 m de altura e com raízes que podem penetrar até 6 m de profundidade. Possui numerosas raízes, de cor parda escura, fortes, longas e aromáticas. Suas folhas são longas e estreitas, fortes, eretas, mas com a extremidade dobrada, não aromática, mais escura que o colmo, com margens ásperas e cortantes, com lígula curta e escariosa (BIASI e DESCHAMPS, 2009).

O Vetiver é uma planta de origem Asiática, especificamente do Sul da Índia, e sua utilização se limitava à produção de óleo essencial até meados da década de 1980. Há mais de três mil anos, em quase toda Ásia, seu óleo é empregado na medicina fitoterápica e na perfumaria (PEREIRA, 2006). O óleo proporciona efeitos sedativos e de fortalecimento do sistema nervoso atuando em doenças relacionadas ao estresse. Ele estimula o sistema circulatório aumentando a produção de células vermelhas do sangue e é, portanto, benéfico para a anemia e cicatrização de feridas. A fricção com o óleo também é recomendada para dores musculares, entorses, rigidez, reumatismo e artrite (CHOMCHALOW, 2001). Na perfumaria, o óleo é utilizado como fixador de perfumes, pois atua como base para outras fragrâncias que se aderem ao Vetiverol. (TRUONG *et al.*, 2006)

O vegetal é conhecido como Capim Milagroso na Ásia por apresentar características morfológicas, fisiológicas e ecológicas particulares da espécie. A planta resiste às mais diversas condições edafoclimáticas: condições de secas prolongadas, incêndios, inundações e temperaturas extremas. Mesmo quando submetida ao intenso tráfego/pressão de pastoreio, soterramento por sedimentos ou poda severa, rapidamente se recompõe emitindo novos perfilhos. Tolerância a solos sódicos, salinos, alcalinos, uma ampla faixa de pH, altos níveis de saturação de diversos metais pesados. No caso de não ser mais interessante manter a planta, a

pulverização de glifosato (Roundup) ou um corte abaixo da coroa pode eliminá-la do local (CARDOSO, 2011).

De acordo com um estudo de Truong et al (2008), uma série de características morfológicas e fisiológicas, atualizadas, foram publicadas pela Rede Internacional de Vetiver, de modo que essas características são descritas abaixo:

3.1.1 Características Morfológicas

Não possui rizomas. Seu sistema radicular maciço finamente estruturado pode crescer muito rápido, em algumas aplicações, a profundidade de enraizamento no primeiro ano pode chegar a 3-4m. Este sistema radicular profundo faz do vetiver extremamente tolerante à seca e difícil de desalojar-se pela forte correnteza; Caules eretos e duros, os quais podem enfrentar um fluxo de água relativamente profundo; Alta resistência a pragas, doenças e incêndios; Uma cobertura densa é formada quando plantadas juntas agindo como um filtro de sedimentos muito eficaz e espalhador da água; Brotos novos desenvolvem-se da coroa subterrânea, sendo esta planta portanto resistente ao fogo, geada, tráfego e pressão de pastagem pesada; Novas raízes crescem a partir de nós quando enterrada por sedimentos capturados. Vetiver continuará a crescer com o lodo depositado, eventualmente formando terraços, se os sedimentos presos não forem removidos.

3.1.2 Características Fisiológicas

Tolerância a extremas variações climáticas como secas prolongadas, inundações, submersões e temperaturas extremas de -15 'C a +55' C. Habilidade para voltar a crescer muito rapidamente depois de ter sido afetada por secas, geadas, salinidade e condições adversas depois que o tempo melhora ou potenciadores de solo são adicionados. Tolerância à ampla faixa de pH no solo de 3,3 a 12,5 sem alteração do mesmo. Alto nível de tolerância a herbicidas e pesticidas. Altamente eficiente absorvendo nutrientes dissolvidos, tal como N e P e metais pesados, água poluída. Altamente tolerante ao crescimento médio elevado de acidez, alcalinidade, sodicidade e magnésio. Altamente tolerante a Al, Mn e metais pesados como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se e Zn nos solos.

Estudos demonstram que o vetiver é uma planta com ampla faixa de adaptação às mais diversas condições ambientais, desenvolvendo-se bem com alta umidade e até mesmo em regiões de déficit hídrico (ANDRADE *et al.*, 2005; OROZCO, 2009) O vetiver pode vegetar

em solos extremamente ácidos a básicos, assim como altos níveis de saturação de alumínio de até 68%, desde que preencham os níveis adequados de nitrogênio e fósforo. Pode vegetar em solos leves, como os da beira de rios, até os bastantes argilosos, como os vertissolos que são frequentes nas savanas inundáveis segundo o boletim técnico DEFLOR Bioengenharia (2006).

Liao (2000) em estudo sobre ecologia e mecanismos do sistema de plantas, verificou que o vetiver em três semanas se adapta às condições de zonas úmidas através do desenvolvimento de tecido aerênquima para fornecimento de oxigênio para as raízes. Resultados obtidos neste estudo demonstraram que a planta foi tolerante a extremos de pH, desde 3,3 a 12,5.

Chomchalow e Nanakor (2003) diferenciam o uso e a utilidade do Vetiver: no que se refere ao uso, este é definido quanto ao uso direto da planta, enquanto a utilização refere-se ao uso das partes colhidas. As folhas do Vetiver podem ser utilizadas na alimentação de animais, dentre eles a carpa-capim, cavalos, ovelhas e gado (Truong *et al.*, 2006). As folhas mais jovens são recomendadas neste caso, pois as folhas maduras têm alto teor de sílica e apresentam baixo valor nutritivo. As folhas apresentam quantidades insignificantes de substâncias tóxicas, podendo então ser administradas ao gado no inverno, especialmente combinando-se com forragem de alta proteína (CHOMCHALOW e NANAKOR, 2003).

O composto feito de folhas e colmos de Vetiver é rico em nutrientes, de consistência macia e de cor escura. Em países tropicais que apresentam alta pluviosidade sua palha serve de cobertura vegetal mantendo as plantas daninhas sob controle, e, devido suas características repelentes, contribui para a dispersão de alguns insetos maléficos. Estudos realizados por Chomchalow e Nanakor (2003), sugerem que certas substâncias excretadas pelo vetiver inibem o crescimento de outras plantas. Observou-se que extratos de caule e raiz apresentavam efeitos alelopáticos negativos na germinação de sementes de soja, e ainda sugeriu a aplicação do extrato no controle de ervas daninhas evitando assim o uso de herbicidas químicos. São relatados ainda efeitos fungicidas e acaricidas (CHOMCHALOW e NANAKOR, 2003).

Estudos realizados constataram a eficácia do Vetiver na construção civil. Fibras de Vetiver são utilizadas na fabricação de blocos de argila, uma vez que diminuem as rachaduras e possuem baixa condutividade térmica, promovendo economia de energia e melhorando o

conforto em casas construídas com esses blocos (PEREIRA, 2006). Demais estudos mostraram que as cinzas do Vetiver têm características pozolânicas e podem ser utilizadas como argamassa em construções, substituindo o cimento em áreas rurais de países em desenvolvimento. As folhagens de Vetiver são utilizadas em diversas áreas da construção rural. Os tailandeses, assim como outras populações rurais na Ásia, há muitos anos vêm utilizando seus colmos e folhas nos telhados de suas residências. (CHOMCHALOW e NANAKOR, 2003).

Pesquisas sugerem que o Vetiver representa um forte potencial de fonte de energia, em situações ideais de cultivo. Chomchalow e Nanakor (2003) relataram o processo de produção de etanol a partir de folhas de Vetiver. Após o pré-tratamento alcalino, as folhas de Vetiver foram adicionadas ao mosto (pH 5,0), a levedura (*Trichoderma reesei*) e posterior fermentação; após 7 dias mantidos a 40° C a produção de etanol foi de 13% após um ciclo de destilação. Por apresentar alto teor de hemicelulose e celulose (45,8%) o Vetiver pode ser usado como matéria-prima na fabricação de papel e cerca de 35% de fibras de Vetiver podem ser adicionadas na composição do papel, com ótimos resultados para papéis de impressão e escrita. Por apresentar diferentes compostos químicos as folhas de Vetiver são utilizadas como substrato no cultivo de cogumelos (CHOMCHALOW e NANAKOR, 2003). O Vetiver maduro possui uma inflorescência lilás muito bela, podendo ser utilizada em áreas abertas com finalidade paisagística ou na confecção de arranjos florais (PEREIRA, 2006). Suas raízes possuem aromas e são utilizadas para odorizar ambientes. Suas fibras são utilizadas no enchimento de colchões e travesseiro e na produção de artesanatos como tapetes, cestas, persianas e vasos de barro (CHOMCHALOW e NANAKOR, 2003).

Propaga-se principalmente de forma vegetativa (assexuada) já que a maior parte das variantes cultivares produz pequenas quantidades de semente ou, simplesmente, não as produzem, denotando assim que não existe risco dela se tornar invasora. Portanto, a Vetiver é considerada uma espécie muito segura para se utilizar em áreas degradadas necessitando de revegetação, como no caso das encostas.



Figura 2: Aspecto do vegetal exumado. Detalhe do pendão e da flor

Fonte: Miranda Neto, 2015.

3.2 CONTENÇÃO DE ENCOSTAS COM EMPREGO DA GRAMÍNEA VETIVER

De acordo com Greenfield (2002), para que uma espécie vegetal ofereça características que propiciem a proteção do maciço terroso, deverá cumprir com uma série de medidas: não formar corredores ou rizomas, de modo a não se tornar uma planta invasora; Ser resistente ao fogo; Ser uma planta perene e permanente, formando perfilhos densos que permitam minimizar o efeito erosivo das águas de enxurradas, e agir como um filtro, promovendo a infiltração da água das chuvas; além disso, deverá ter características das plantas xerófilas e hidrófilas, que permitam sobreviver em condições ambientais extremas; A planta ideal deverá ter um sistema radicular profundo ocupando o solo e o subsolo verticalmente e, vegetar em condições de solos não favoráveis; e presença de metais tóxicos.

Portanto, servindo-se das características do Vetiver, em 1986 o Banco Mundial promoveu, baseado na Tecnologia do Capim Verde, o Sistema Vetiver (SV) como uma maneira sustentável para o controle de erosão e recuperação de áreas degradadas. Com a ausência de stolões ou sementes férteis o Vetiver não é considerado uma planta invasora e sua propagação é realizada utilizando partes maduras de touceiras da planta-mãe, como mudas de raízes nuas, coroa e colmos. A aplicação dessa Técnica na Bioengenharia consiste no cultivo em fileiras do Vetiver, formando cordões vegetativos que atuam como barreiras vivas que recobrem o solo, diminuindo a ação direta do impacto da gota da chuva sob sua superfície e reduzindo a velocidade superficial da água. A conservação da umidade do solo e o resgate de nutrientes ao longo do perfil melhoram o microclima e proporciona condições favoráveis para o estabelecimento de outras plantas semeadas ou voluntárias no local. Além do mais as

características morfológicas e fisiológicas únicas da espécie tornam-a uma excelente planta a ser empregada na proteção ambiental, em especial na prevenção e tratamento do solo e da água contaminada, podendo ser utilizada em tratamentos de águas residuais e fitorremediação de solos contaminados (CARDOSO, 2011). Mais de 100 países dos trópicos, semi-trópicos e regiões temperadas utilizam o SV em estabilização de terrenos (ferrovias e rodovias), reabilitação de minas, tratamento de águas residuais e melhoria da qualidade da água (GRIMSHAW, 2006).

As grandes vantagens do SV são: o baixo custo de implantação e longevidade da vida-útil da obra quando comparado com métodos da engenharia convencional; uma vez estabelecido, é virtualmente livre de manutenção. De acordo com Truong, *et al.* (2006), o custo de implantação desse Sistema é, em média, 30% do valor das soluções de engenharia tradicionais. Experimentos demonstram que o uso do SV, combinado com outras técnicas de conservação do solo, tem se revelado muito eficaz e de baixo custo na Bioengenharia. Todavia, convém sublinhar que as chaves mais importantes para o sucesso do projeto são: aplicação de técnicas corretas no plantio, um bom material a ser cultivado e a elaboração de um projeto específico para cada área, levando em consideração as características do local (CARDOSO, 2011).

O plantio de Vetiver leva à formação de densas touceiras que podem ultrapassar dois metros de altura, suportando fluxos de água relativamente profundos, e apresentando sistema de raízes finas, resistentes e compactas, com rápido crescimento vertical, formando barreiras dispersantes dos fluxos de água, diminuindo a velocidade das águas de percolação, atuando ainda como um filtro muito efetivo dos sedimentos, fazendo do vetiver planta que reúne importantes características para a estabilização geotécnica de taludes (TRUONG et al 2008).

O profundo sistema de raízes do Vetiver, pode atingir até dois metros no primeiro ano, dependendo das condições. Esta característica torna a planta tolerante a épocas de estiagem e eficaz na recuperação de nutrientes solúveis nas mais profundas camadas do perfil do solo; estes nutrientes são reciclados quando a planta é utilizada na cobertura do solo ou no composto de suas folhas. Seu forte sistema de raízes é incomparável com qualquer outra planta usada no controle de erosão e estabilização de encostas. A força e vigor de suas raízes permitem sua penetração em solos compactados, consolidando e estabilizando a estrutura do mesmo (PEREIRA, 2006). De acordo com Hengchaovanich (1998), vetiver pode crescer verticalmente em declives superiores a 150 %, aproximadamente 56°. Em um ensaio de

cisalhamento direto em uma amostra indeformada de solo, Hengchaovanich & Nilaweera (1996) relataram que a resistência ao cisalhamento do solo cultivado com vetiver com dois anos de plantio aumentou em 90%, em relação ao solo sem cultivo.

Estudos demonstraram que o vetiver desempenhou um importante papel no aumento da resistência ao cisalhamento de solos. A gramínea além de ser uma solução para os problemas de estabilidade de taludes e reforço de solos, constitui-se de um investimento verde que serve também da recomposição vegetal da paisagem (BARBOSA et al, 2011).

Na Bioengenharia, a técnica baseada no uso do capim vetiver cria barreiras vivas e filtrantes de alta resistência, adaptam a todos os tipos de terrenos através do sistema radicular resistente, profundo e vertical. As barreiras formadas pelo vetiver não são impermeáveis, controlam a velocidade de escoamento da água na superfície do terreno, filtrando e regulando a passagem de água, evitando os processos erosivos. As raízes, resistentes e profundas, ajudam na estabilização do solo, prevenindo deslizamentos cujos planos de instabilidade sejam inferiores a 2 metros (BARBOSA et al, 2011)

Muitos estudos são realizados sobre a tecnologia gramínea Vetiverö para estabilização de aterros. Uma das conclusões mais relevantes destes estudos é a de que as raízes do Vetiver têm uma média de resistência à tração de 75 MPa e melhora a resistência ao cisalhamento do solo, tanto quanto 30%. Estas descobertas levaram a um grande interesse no uso da tecnologia gramínea Vetiverö por engenheiros e uma grande expansão do vetiver para diferentes tipos de aplicações (GRIMSHAW, 2002).

Sendo a reprodução do Vetiver exclusivamente vegetativa, a produção de mudas é realizada principalmente através de viveiros mantidos a campo, necessitando de um amplo espaço para o cultivo de plantas matrizes. A forma mais comum de se propagar mudas de Vetiver é a propagação das partes maduras de touceiras da planta-mãe, tais como mudas de raízes nuas, coroa e colmos. Uma alternativa para a produção massal de mudas de Vetiver para recuperação de áreas degradadas é a cultura de tecidos (CARDOSO, 2011).

A cobertura do terreno com Vetiver, de modo geral, é estabelecida através da plantação de mudas com três brotos, espaçadas cerca de 10-15 cm de distância e intervalo entre linhas de contorno variando de 1-2 m dependendo do clima, declividade do terreno e do tipo do solo. A época do plantio é um fator importante para o cultivo do Vetiver, pois deve ser preferencialmente realizada na época das chuvas ou com irrigação suplementar. Truong, *et al.*

(2006) afirmam que o desenvolvimento do Vetiver é favorecido pelo aumento da incidência solar e em temperaturas médias de 25°C. Apesar de exigir pouca manutenção, o controle das ervas daninhas até o estabelecimento das plantas é necessário, devido seu crescimento ser favorecido pela incidência solar; existem relatos de Sistemas que foram suprimidos por conta do intenso desenvolvimento de plantas concorrentes. O uso do herbicida a base da molécula de glifosato de amônio deve ser evitado, pois o Vetiver é muito sensível a este composto. O replantio de mudas é necessário quando, eventualmente, algumas plantas do cordão vegetativo morrem, assegurando assim a eficiência do Sistema. Em terras instáveis ou erodíveis, Vetiver primeiro reduz a erosão, estabiliza o solo, em seguida, por causa do resgate de nutrientes e conservação da umidade, melhora o microambiente possibilitando o estabelecimento de plantas semeadas ou voluntárias (TRUONG, *et al.*, 2006).

A maioria das aplicações do Sistema Vetiver requer um grande número de plantas, sendo necessário existir viveiros capazes de produzir grandes quantidades de mudas de alta qualidade e baixo custo. Como o Vetiver possui sementes estéreis, sua propagação é exclusivamente vegetativa (TRUONG *et al.*, 2006). A propagação vegetativa resulta em indivíduos com a mesma constituição genética da planta-mãe (EICHHORN *et al.*, 2006) e, portanto, as condições ambientais são extremamente importantes para o desenvolvimento dos vegetais no viveiro. Para garantir sucesso no estabelecimento da produção devem ser levadas em consideração as técnicas de cultivo e colheita, treinamento operacional do pessoal e condições edafoclimáticas. A forma mais comum de propagação das mudas de Vetiver é através do plantio das partes maduras de touceiras da planta-mãe, tais como mudas de raízes nuas, coroa e colmos. (TRUONG *et al.*, 2006).

No estudo de Truong *et al.* (2006), foi desenvolvido um método de quatro etapas para multiplicação de mudas de Vetiver:

- 1^a) A partir de uma planta-mãe, deve-se retirar mudas contendo pelo menos dois ou três brotos e uma parte da coroa (rizoma). As mudas separadas devem ser cortadas a 20 cm de comprimento e suas raízes podadas;
- 2^a) Pulverizar as mudas com 10% de solução de aguapé, que contém reguladores de crescimento (auxinas e giberelinas), atuando no enraizamento de novos brotos mais vigorosos;

- 3^a) Manter as mudas em condições de elevada umidade e pouca luminosidade por 24 horas;
- 4^a) Mergulhar na lama de argila ou na lama de esterco e plantar no viveiro.

Os solos mais indicados para o cultivo são os franco-arenosos e areno-argilosos, pois facilitam o crescimento do sistema radicular da planta. Antes do plantio recomenda-se interpretar a análise de solo e corrigir a acidez, elevar a taxa de saturação de bases para 60% e, se necessário, aplicar 10 kg.ha⁻¹ de N, 20-60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 20-40 kg.ha⁻¹ de K₂O. Após um mês aplicar 30 kg.ha⁻¹ de N (BIASI e DESCHAMPS, 2009). O clima ideal para o desenvolvimento do vegetal deve ser quente, chuvoso e ensolarado. Biasi e Deschamps (2009) complementam que o número de perfilhos é influenciado pelo aumento da temperatura do ar e não pelo comprimento do dia.

O espaçamento aconselhado para o cultivo, visando produção de mudas, é de 1,00 m entre linhas e 1,00 m entre plantas, o que pode variar dependendo das condições de manejo e disponibilidade de mudas. Recomenda-se que, após quatro meses do plantio, cortar a touceira a 30 cm do solo, antes do desenvolvimento das inflorescências. Este trato mantém a uniformidade das novas plantas com as antigas e favorece o desenvolvimento de 30 novos brotos em média. Aplicando esses tratos culturais o número de brotos adquiridos em um ano é aproximadamente de 600.000 brotos. Quando houver necessidade de obtenção de novas mudas o último corte da touceira deve ser feito com ajuda de uma pá e facão para retirar a planta com partes da raiz (ORIHUELA, 2007).

As mudas de raízes nuas podem ser cultivadas em sacos de polietileno, polybags, para recuperação do solo, facilitando o plantio nessas áreas que normalmente apresentam condições hostis. Segundo Pinto *et al.* (2010), as mudas de Vetiver produzidas em saquinhos de polietileno apresentaram taxa de sobrevivência no campo superior àquelas plantadas diretamente no campo (raízes nuas), sendo que a taxa de sobrevivência das mudas de Vetiver não é influenciada pelo espaçamento de plantio. O espaçamento entre plantas e entre linhas depende das condições de relevo do local aonde será cultivado. Outro método relatado por Truong *et al.* (2006) para facilitar o cultivo do Vetiver no plantio em faixas é uma forma modificada de polybags, neste as plantas são cultivadas bem perto uma da outra em uma longa esteira especial que facilitará o transporte e o plantio. A multiplicação de gemas *in vitro* é uma técnica utilizada na cultura de tecidos para multiplicação em larga escala e em

condições controladas de crescimento (TRUONG *et al.*, 2006). Vãn Ây e Vãn Hòa (2007) afirmam que a partir de uma gema de Vetiver podem ser formados 42 bilhões de gemas em um ano pelo método de imersão temporária.

O método para o plantio do capim Vetiver, como a maioria das principais aplicações, requer um grande número de plantas, a qualidade do material de plantio é importante na aplicação bem sucedida do Sistema Vetiver. Isso requer viveiros (berçários) capazes de produzir grandes quantidades de mudas de alta qualidade e baixo custo (TRUONG *et al.*, 2008). Dividindo os brotos a partir de uma touceira mãe exige cuidados, de modo que cada muda inclua pelo menos dois ou três brotos e uma parte da coroa. Após a separação, as mudas devem ser cortadas a 20 cm. A muda da raiz nua resultante pode ser mergulhada em vários tratamentos, incluindo hormônios de enraizamento, esterco, lama de argila, ou simplesmente piscinas de água rasa, até aparecer novas raízes. Para um crescimento mais rápido as mudas devem ser mantidas em condições úmidas e ensolaradas até a plantação. Uma alternativa para a produção massal de mudas de Vetiver é a cultura de tecidos. Neste contexto, o incentivo do uso do SV para preservação/recuperação de áreas degradadas deve ser estimulado aqui no Brasil e protocolos específicos devem ser desenvolvidos para aperfeiçoar a propagação *in vitro* de Vetiver para produção de mudas para o controle de erosão e recuperação de áreas degradadas (SANTOS *et al.*, 2014).

Truong, *et al.* (2006) comentam as vantagens e desvantagens do Sistema Vetiver (SV) para recuperação de áreas degradadas. Como vantagens, citam:

baixo custo de implantação e sua longevidade quando comparado com métodos da engenharia convencional.

custos de manutenção a longo prazo baixos. É necessário um programa de manutenção planejada nos primeiros dois anos, no entanto, uma vez estabelecido, é virtualmente livre de manutenção. Diferente das estruturas convencionais de engenharia, sua estrutura melhora com o amadurecimento da cobertura vegetal.

é um sistema natural, ambientalmente amigável para o controle da erosão e estabilização de encostas, uma alternativa ecológica para medidas rígidas da engenharia convencional, tais como estruturas de concreto e pedra.

é muito eficaz em solos pobres, altamente erodíveis e dispersíveis.

Como desvantagens, citam:

é intolerante ao sombreamento, em particular na fase de estabelecimento.

é eficaz quando as plantas estiverem bem estabelecidas. O período de estabelecimento inicial em clima quente é cerca de 2-3 meses enquanto em climas frio próximo de 4-6 meses.

as plantas só são plenamente eficazes quando cultivadas em alta densidade.

dificuldade em plantar e irrigar a vegetação em lugares muito altos ou em despenhadeiros nas encostas.

O sistema requer proteção contra o gado durante a sua fase de estabelecimento.

Com base nestas considerações, as vantagens do uso de SV como uma ferramenta de Bioengenharia superam as suas desvantagens.

Truong (2000), em estudo a respeito do impacto global da tecnologia capim Vetiver do meio ambiente, constatou que desde a primeira conferência internacional sobre Vetiver, não havia dúvida, de que com a atual dinâmica e impacto da tecnologia, a gramínea Vetiver no cenário global vai continuar e vai se tornar a principal tecnologia para proteção ambiental.

No Brasil, o uso do vetiver para controle de erosão, estabilização de encostas e recuperação de áreas degradadas ainda é muito restrito, em razão da deficiência de produção de mudas e do pouco conhecimento das técnicas da sua implantação e manutenção, segundo informa o boletim técnico DEFLOR Bioengenharia (2006).



Figura 3: Encosta vegetada com vetiver em Itaipava-RJ

Fonte: Miranda Neto, 2015.

3.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo de caso, foi realizado um experimento com o objetivo específico de se determinar a ET_c do vegetal adulto, com o emprego de minilísímetros de drenagem.

Após a determinação da ET_c do vetiver na fase adulta, foi necessário calcular a ET_o de acordo com os dados do local de estudo. O método utilizado com o objetivo específico de calcular a ET_o foi o Método de Penman-Monteith (FAO-56), pois consiste no método mais abrangente para os dados disponíveis da área estudada.

Com os valores de ET_c do vegetal adulto e de ET_o do local de estudo foi possível encontrar os valores de K_c do vetiver ao longo dos meses estudados.

3.4 O EXPERIMENTO

O experimento realizado para a determinação da evapotranspiração da cultura do vetiver foi conduzido por 13 meses, entre julho de 2015 e julho de 2016. A área escolhida para abrigar os mini-lisímetros foi uma casa de vegetação dentro do Campus da Praia Vermelha, da Universidade Federal Fluminense, em Boa Viagem/ Niterói - RJ, entre as coordenadas geográficas 22° 54' 10,5" S de latitude e 43° 07' 12,9" W de longitude.

3.4.1 Obtenção das Mudas

As amostras de vetiver utilizadas na pesquisa já se encontravam na fase adulta em 2015, quando o experimento foi iniciado. Elas foram cultivadas em 2011 a partir de mudas originadas em Itaipava- RJ e foram utilizadas anteriormente no trabalho de Miranda Neto (2015). Foram selecionadas as amostras 11, 12, 13 e 18 do experimento daquele autor, pois estas permaneceram saudáveis ao longo do tempo. Antes de começar o experimento, foram feitas podas na parte aérea das amostras que apresentavam sinal de ressecamento. Os tubos com vetiver selecionados ficaram inicialmente no Laboratório de Mecânica dos Solos situado no Campus da Praia Vermelha, UFF, durante cinco meses. Nesse período, as plantas ficaram abrigadas e protegidas das variações ambientais, sendo sua rega controlada para que seu desenvolvimento pudesse ser devidamente acompanhado.



Figura 4: Aspecto do vegetal nos tubos onde 4 deles foram convertidos em mini lisímetros

Fonte: Miranda Neto, 2015.



Figura 5: Aspecto do vegetal

Fonte: Miranda Neto, 2015.

3.4.2 Caracterização do solo utilizado no experimento

O solo usado como substrato para o Vetiver foi coletado em início de 2011, na encosta voltada para o Norte do vale formado pelo contraforte Sul e a cumeada da Serra do Mato Grosso, entre os municípios de Maricá-RJ e Saquarema-RJ.

O solo apresentava cor vermelha alaranjada, composto por areia e pedregulho. A fração areia apresentou muito quartzo e muscovita, enquanto a fração pedregulho apresentou quartzo, alguns feldspatos opacos e uma razoável quantidade de grãos frágeis em assembléia de minerais que desagregavam com facilidade.

A análise granulométrica mostra a fração argila da ordem de 7% e o teor de silte da ordem de 10%, com 73% de areia e 10% de pedregulhos. Essa distribuição está expressa na Figura 6, e mostra um solo desuniforme e mal graduado. Na classificação unificada pode-se atribuir ao solo a classe SM, areia siltosa (MIRANDA NETO, 2015).

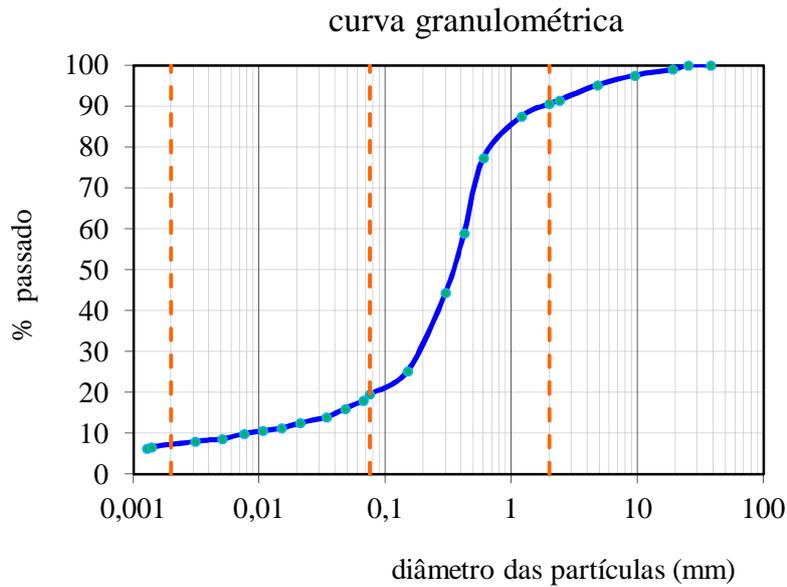


Figura 6: Curva granulométrica do solo empregado no lisímetro

Fonte: Miranda Neto, 2015.

3.4.3 Construção dos mini-lisímetros

O solo coletado foi o substrato utilizado para o plantio de mudas de Vetiver, empregando-se moldes tubulares de PVC com 10 cm de diâmetro externo e cerca de 100 cm de altura. Os moldes tiveram sua base fechada com cap perfurado abrigando 5 cm de areia grossa, dessa forma funcionando como um dreno e foi mantida uma borda livre com aproximadamente 5 cm. Os 90 cm restantes dos tubos foram preenchidos com solo umedecido, homogêneo e compactado com um soquete especial de 2 kg, e queda de 50 cm, com 11 golpes por camada de 6 cm. Em cada molde, a massa de solo usada foi de aproximadamente 14 kg (MIRANDA NETO, 2015). Para cada molde de mini-lisímetro foram feitas medições do diâmetro interno, altura e altura útil (altura com solo), massa específica seca, índice de vazios e massa específica dos grãos (tabela 3). Foram utilizados potes cilíndricos de plástico para conter a água drenada dos mini-lisímetros. Estes foram devidamente selados com fitas adesivas, mantendo desta forma a água drenada em seu interior (figura 11).



Figura 7: Detalhe do filtro no fundo do lisímetro

Fonte: próprio autor, 2016.



Figura 8: Fundo do mini-lisímetro: detalhe do cap perfurado

Fonte: próprio autor, 2016.



Figura 9: Vegetais empregados no experimento na Casa de Vegetação

Fonte: próprio autor, 2016.

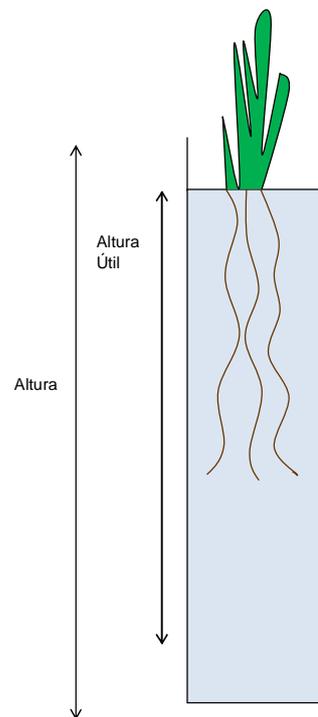


Figura 10: Esquema do mini lisímetro

Fonte: próprio autor, 2016.

Tabela 3: Especificações dos quatro mini-lisímetros

Fonte: Miranda Neto, 2015.

Especificação	Tubo 11	Tubo 12	Tubo 13	Tubo 18
Ø (diâmetro)	9,8 cm	9,8 cm	9,8 cm	9,8 cm
Altura	102 cm	100 cm	97,5 cm	100,1 cm
Altura útil (altura com solo)	94 cm	93 cm	91 cm	93,6 cm
Massa específica aparente seca	1,53 g/cm ³	1,57 g/cm ³	1,55 g/cm ³	1,52 g/cm ³
Índice de vazios	0,713	0,754	0,780	0,806
Massa específica dos grãos	2,75 g/cm ³	2,75 g/cm ³	2,75 g/cm ³	2,75 g/cm ³



Figura 11: Vedação dos mini-lisímetros

Fonte: próprio autor, 2016.

3.4.4 Regime de regas dos tubos

A quantidade de água utilizada na rega das amostras de vetiver variava entre 50ml e 300ml, de acordo com a frequência da rega ao longo de cada semana dos meses estudados, estação do ano, aspecto do solo e amostra (se já estava com água saturada ou não).

Inicialmente, durante a preparação das quatro amostras para o experimento, a quantidade de água depositada nos tubos era de 50 ml. Devido à rápida absorção da água pelo substrato, e, para suprir a necessidade hídrica do vegetal de modo que as plantas não sofressem estresse hídrico, essa quantidade foi aumentada para 100 ml. Com o passar dos meses e mudanças das estações do ano, a quantidade de água utilizada na rega foi aumentada para 200 mL, e, em alguns chegando a 300 ml como mostrado no Apêndice A.

3.4.5 Medição da água drenada nos mini-lisímetros

Para as medições da drenagem, foram utilizadas seringas de 20 ml, com o auxílio de uma agulha rosa (1,2x40 mm), perfurando a camada de fita adesiva e alcançando a água acumulada nos potes através do uso de um scalp branco (calibre 19). Assim, possibilitou-se a sucção e medição da água acumulada no fundo dos potes de cada mini-lisímetro.

3.4.6 Cálculo de ajuste da lâmina d'água

A conversão é necessária visto que as lâminas evapotranspiradas são apresentadas como uma medida linear (metro cúbico por metro quadrado) e como os mini-lisímetros não tinham um metro quadrado e sim $0,00754 \text{ m}^2$ foram feitos os ajustes do volume de água para cada metro quadrado por meio do fator de conversão.

Para se determinar o fator de conversão calculou-se a área do tubo com diâmetro de 9,8 cm que equivale a $0,00754 \text{ m}^2$, dividiu-se então 1 L (que corresponde a $0,001 \text{ m}^3$) pela área e achou-se o fator de conversão para que o volume regado ou evapotranspirado pudesse ser transformado em lâmina d'água em mm.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os valores obtidos experimentalmente, foi possível criar uma tabela onde os dados de rega, dreno e evapotranspiração ao longo dos meses pudessem ser convertidos em mm através do cálculo de ajuste da lâmina d'água (tabelas 4 e 5). Desta maneira, foi possível calcular a taxa média e máxima da evapotranspiração de cada vegetal.

Tabela 4: Evapotranspiração mensal do vetiver: tubos 11 e 12

n° tubo (und)	11 (mm)			12 (mm)		
	rega	dreno	evapo	rega	dreno	evapo
mês						
jul/15	33,1	0,0	33,1	33,1	0,0	33,1
ago/15	39,8	0,0	39,8	39,8	0,0	39,8
set/15	66,3	0,0	66,3	66,3	0,0	66,3
out/15	92,8	0,0	92,8	92,8	0,0	92,8
nov/15	106,1	0,0	106,1	106,1	0,0	106,1
dez/15	106,1	0,0	106,1	106,1	0,0	106,1
jan/16	212,1	2,8	209,3	212,1	0,0	212,1
fev/16	159,1	10,7	148,4	159,1	0,0	159,1
mar/16	139,2	9,9	129,3	238,6	0,0	238,6
abr/16	185,6	63,0	122,6	225,4	73,2	152,2
mai/16	72,9	34,5	38,4	66,3	32,5	33,8
jun/16	79,5	35,1	44,4	79,5	13,0	66,6
jul/16	26,5	3,6	22,9	26,5	1,1	25,5
Taxa média			93,9			108,2
Taxa máxima			209,3			238,6

Tabela 5: Evapotranspiração mensal do vetiver: tubos 13 e 18

n° tubo (und)	13 (mm)			18 (mm)		
	rega	dreno	evapo	rega	dreno	evapo
jul/15	33,1	0,0	33,1	33,1	0,0	33,1
ago/15	39,8	0,0	39,8	39,8	0,0	39,8
set/15	66,3	0,0	66,3	66,3	0,0	66,3
out/15	92,8	0,0	92,8	92,8	0,0	92,8
nov/15	106,1	0,0	106,1	106,1	0,0	106,1
dez/15	106,1	0,0	106,1	106,1	0,0	106,1
jan/16	212,1	0,0	212,1	212,1	0,0	212,1
fev/16	159,1	0,0	159,1	159,1	0,0	159,1
mar/16	238,6	0,0	238,6	238,6	0,0	238,6
abr/16	278,4	65,5	212,9	209,5	68,7	140,8
mai/16	79,5	14,8	64,7	79,5	20,2	59,4
jun/16	79,5	9,8	69,7	79,5	21,5	58,1
jul/16	26,5	0,0	26,5	26,5	0,0	26,5
Taxa média	116,2			108,8		
Taxa máxima	238,6			238,6		

A partir da ferramenta computacional desenvolvida por Hora *et al.* (2010), foi possível obter a ETo no local de estudo, como mostra a figura 12.

The screenshot shows the 'SisEVT - Sistema para Estimativa da Evapotranspiração' window. The 'Configuração' section includes:

- Local: Ponto de Interesse
- Posição: Lat: -22,9047 Graus, Long: -43,00 Graus, Alt: 3 m
- Período: Início 2003, Término 2003
- Método: Clássico
- ETo: Penman - Montheith (FAO)
- ETR: Balanço Hídrico
- CAD: 100 mm

 The 'Resultado' section displays a table with the following data:

	ETo	ETR
1/2003	112,2	123,4
2/2003	110,4	98,5
3/2003	123,9	106,4
4/2003	110,3	79,3
5/2003	106,8	61,5
6/2003	80,7	40,4
7/2003	64,2	41,8
8/2003	52,2	66,8
9/2003	56,9	65,5
10/2003	70,4	91,5
11/2003	77,4	101,8
12/2003	93,1	109,9

 At the bottom, there are buttons for 'Visualizar', 'Indexar', 'Exportar', and 'Fechar'.

Figura 12: Cálculo da ETo na área estudada

Utilizando a fórmula $ETPc = Kc \cdot ETo$, obteve-se o valor de Kc para cada mês no período de julho de 2015 a julho de 2016 (tabela 6).

Tabela 6: Cálculo do Kc do vetiver de acordo com a relação entre a ETo e a ETc do vegetal.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO			
mês	ETo	ETc	Kc
jul/15	64,2	33,1	0,5
ago/15	52,2	39,8	0,8
set/15	56,9	66,3	1,2
out/15	70,4	92,8	1,3
nov/15	77,4	106,1	1,4
dez/15	93,1	106,1	1,1
jan/16	112,2	211,4	1,9
fev/16	110,4	156,4	1,4
mar/16	123,9	211,3	1,7
abr/16	110,3	157,1	1,4
mai/16	106,8	49,1	0,5
jun/16	80,7	59,7	0,7
jul/16	64,2	25,4	0,4

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que os quatro mini-lisímetros se comportaram de modo quase igual. Inicialmente, a rega foi realizada com pequenas quantidades de água, mas nos meses seguintes essa quantidade foi aumentada até que se observou a drenagem. Possivelmente os dados devam ser tomados apenas quando houver drenagem para garantir que o suprimento foi adequado e os vegetais não sofreram estresse hídrico por falta de água, e a possibilidade de estresse por excesso não ficou evidenciada devido a baixa quantidade drenada. Houve um aumento da demanda hídrica no verão, ao passo que no inverno a evapotranspiração do vegetal reduziu consideravelmente.

Os vegetais ainda permaneceram com vitalidade, embora o confinamento nos tubos limite um pouco o pleno desenvolvimento já que os vegetais foram plantados há 4 anos quando da pesquisa de Miranda Neto (2015).

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O vetiver é uma planta muito eficiente para contenção de encostas, e seu reconhecimento e uso é mundial. No Brasil, o Sistema Vetiver ainda é pouco utilizado, portanto denota-se uma necessidade de maior divulgação e propagação desse método tão eficaz para a recuperação das áreas de encosta do país. Com o coeficiente de cultivo da gramínea vetiver é possível um manejo sustentável dos recursos hídricos assim como a economia de gastos usando a quantidade de água realmente necessária para a manutenção do vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. A.; LEITE, I. M.; TIBURTINO, U.; BRABOSA, M. R. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Cerne**, v.11, n.3, 2005.

BARBOSA, M. C. R.; LIMA, H. M. DE; PEREIRA, A. R. **Um estudo do aumento da resistência ao cisalhamento em solos revegetados com vetiver**. Vila Velha, Espírito Santo, Brasil, 2011.

BARROS, G. C. de. **Estudo fitoquímico e avaliações da toxicidade aguda e atividades biológicas da raiz do Vetiver (Vetiveria zizanioides L. Nash)**. Goiânia, 2008. Disponível em: http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_arquivos/10/TDE-2009-09-21T195932Z-364/Publico/Dissertacao_Gilvana_Barros.pdf Acesso: 15/05/2016.

BIASI, L. A.; DESCHAMPS, C.. **Plantas Aromáticas do cultivo à produção de óleo essencial**. 1 ° edição. Curitiba, 2009.

CARDOSO, C. H. S. **Desenvolvimento de um protocolo para micropropagação de Vetiver (Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty)**. Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Ciências Agrárias Curso de Agronomia. Florianópolis/SC, Junho de 2011.

CARVALHO, L. G. de, RIOS, G. F. A., MIRANDA, W. L., CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de Referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CHOMCHALOW, N.; NANAKORN, W.. Uses and Utilization of Vetiver. Tailândia, 2003. Disponível em: http://vetiver.com/ICV3-Proceedings/THAI_other%20uses.pdf acesso em: 27/05/2016

CHOMCHALOW, N.. The Utilization of Vetiver as Medicinal and Aromatic Plants, with Special Reference to Thailand. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin. Bangkok, Thailand 2001. Disponível em: http://www.vetiver.org/PRVN_med_aro%20doc.pdf Acesso: 23/05/2016.

DEFLOR Bioengenharia. Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas. Boletim Técnico. Ano 01- n.º003- Setembro, 2006. Editora FAPI Ltda.

DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. Necessidades hídricas das culturas. Trad. H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

EICHHORN, S. E.; EVERT, R. F.; RAVEN, P. H.. *Biologia vegetal*. Estados Unidos, 2006.

EMBRAPA ó **Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento**. Coeficientes de Cultivo - Banco de Dados. Acesso disponível em: <http://www.cnpat.embrapa.br/publicacoes/kc/> Acessado em: 20/09/2016.

FERNANDES, N.F. e AMARAL, C.P. do. **Movimentos de massa: Uma abordagem geológica-geomorfológica**. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. Degradação ambiental. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 123-194. 1996.

GIRÃO, O., CORRÊA, A. C. DE B., GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas Como Unidades De Gestão E Planejamento, A Partir Do Estudo De Áreas A Sudoeste Da Cidade Do Recife ó PE. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE ó DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 2007.

GREENFIELD, J. Vetiver grass: the hedge against erosion. Haverford, U.S.A. **Infinity Publishing.com**. 2002.

GRIMSHAW, R. G. **An Introduction to Vetiver Grass Technology**. Chairman ó The Vetiver Network; 2002.

GRIMSHAW, R. G.. Vetiver System: A Green Investment for Sustainable Development. **The Fourth International Conference on Vetiver**. Caracas, Venezuela, 2006. Disponível em: <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/P02.pdf> Acesso: 23/05/2016.

GROSTEIN, M. D. Metrópole e Expansão Urbana: A persistência de processos "insustentáveis". **São Paulo em Perspectiva**. vol.15 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2001.

GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In: **Geomorfologia Urbana/** Antônio José Teixeira Guerra (org). ó Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280p.

HENGCHAOVANICH, D. & NILAWEERA, N. An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization. In: **International Conference on Vetiver**, 1., Bangkok, 1996. Anais. Bangkok, 1996. CD ROM.

HENGCHAOVANICH, D. **Vetiver grass for slope stabilization and erosion control**. 2.ed. Bangkok, Pacific Rim Vetiver Network, 1998. 28p.

HORA, M.A.G.M.; MARQUES, E.; HORA, A.F. **SisVazNat 1.0: Sistema de Reconstituição de Vazões Naturais**. 1. ed. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2010. v. 1. 75p .

LIAO, X. **Studies on plant ecology and system mechanisms of constructed wetland for pig farm in South China**. PhD Thesis, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong, China, 2000.

MIRANDA NETO, M. I., **Contribuição das raízes da gramínea vetiver na resistência ao cisalhamento de um solo arenoso**. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil da UFRJ/ COPPE. Rio de Janeiro, 2015, 225 p.

MORO, G. T., SOUZA, L. V. M. P. de, ALMEIDA, E. S. Levantamento de susceptibilidade a deslizamento e erosão em encostas ó estudo de caso: Morro da Cruz ó Itajaí ó SC. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4162 4162.

ORIHUELA, J. A. **Manual sobre El uso y manejo del pasto Vetiver (Chrysopogon zizanioides)**. Lima, Peru 2007. Disponível em: www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf Acesso: 05/06/2016.

OROZCO, M. M. D., **Caracterização da gramínea vetiveria ziznioides para aplicação na recuperação de áreas degradadas por erosão**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Belo Horizonte, 2009, 81 p.

PEREIRA, A. R.. **O uso do Vetiver na estabilização de taludes e encostas**. Boletim Técnico nº 3. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006. Disponível em: <http://www.deflor.com.br/portugues/pdf/boletim3.pdf> Acesso em: 23/05/2016.

PEREIRA, G. A natureza (dos) nos fatos urbanos: produção do espaço e degradação ambiental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 3, p. 33-51, Editora da UFPR, 2001.

PEREIRA, R. A, VILLA NOVA, N. A., SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PINTO, L. V. A.; PEREIRA, M. W. M.; SOUZA, R. X. de; PEREIRA, A. J.; COBRA, R. L. **Sobrevivência de mudas do campim vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) em raízes nuas e produzidas em saquinhos de polietileno plantadas em diferentes espaçamentos.** Inconfidentes/MG, 2010. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/Congresso/Trabalhos2010/XI-020.pdf> Acesso: 23/05/2016.

ROSSETTO, A. M. **Proposta de um sistema integrado de gestão do ambiente urbano (SIGAU) para o Desenvolvimento Sustentável de cidades.** Tese de Doutorado. UFSC, Florianópolis, 2003.

SANTOS, R. R. A.; SOUZA FILHO, H. L. de.; CARNEIRO, W. J. de O. Uso do vetiver *Chrysopogon zizanioides* (L.) na estabilização de taludes e encostas na região metropolitana da cidade de Salvador ó BA. **XIII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica,** UNIFACS, 2014. <http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>.

SELBY, M. J. Hillslope Materials & Processes. **Oxford University Press,** Oxford. 1990.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Aula 5 ó Radiação Solar e Balanço de Energia.** ESALQ, USP, 2009. Disponível em <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula5.pdf>>. Acessado em outubro de 2009.

TRUONG, P.; TAN, T.; PINNERS, V. E. Vetiver system applications technical reference manual. **The Vetiver Network International.** 2008, 2^a Ed.

TRUONG, P.; TAN, T.; PINNERS, V. E. **Vetiver system applications: Technical Reference Manual.** Vietnam, 2006. Disponível em: http://www.vetiver.org/TVNManual_Vf.pdf Acesso em 19/05/2016.

TRUONG, P. **The Global Impact of Vetiver Grass Technology on the Environment.** Proc. Second International Conference on Vetiver. Thailand. 2000.

VÃN ÂY, N.; VÃN HÒA N. G. H. **Application of Temporary Immersion Bioreactor Technique to Micropropagation of Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.).** T p chí Khoa h c. Thailand, 2007.

APÊNDICE A

Resumo da rega e medição do dreno de cada mini-lisímetro ao longo dos 13 meses, assim como a quantidade de água regada e drenada, em ml, nos tubos

Quantidade de água utilizada na rega e a drenagem em cada mini-lisímetro ao longo dos 13 meses

n° do tubo (unidade)	11 (mL)		12 (mL)		13 (mL)		18 (mL)	
	rega	dreno	rega	dreno	rega	dreno	rega	dreno
15/07/2015	50	0	50	0	50	0	50	0
24/07/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
29/07/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
07/08/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
13/08/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
28/08/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
03/09/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
14/09/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
17/09/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
22/09/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
25/09/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
02/10/2015	100	0	100	0	100	0	100	0
09/10/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
17/10/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
23/10/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
06/11/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
11/11/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
19/11/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
26/11/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
01/12/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
10/12/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
16/12/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
23/12/2015	200	0	200	0	200	0	200	0
06/01/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
08/01/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
11/01/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
13/01/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
15/01/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
18/01/2016	100	0	100	0	100	0	100	0
20/01/2016	100	0	100	0	100	0	100	0
22/01/2016	100	21	100	0	100	0	100	0

01/02/2016	100	0	100	0	100	0	100	0
03/02/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
12/02/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
15/02/2016	100	81	100	0	100	0	100	0
18/02/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
23/02/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
26/02/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
02/03/2016	100	0	100	0	100	0	100	0
04/03/2016	50	0	50	0	50	0	50	0
08/03/2016	100	0	100	0	100	0	100	0
10/03/2016	100	9	200	0	200	0	200	0
14/03/2016	100	5	200	0	200	0	200	0
17/03/2016	100	7	200	0	200	0	200	0
21/03/2016	150	9	250	0	250	0	250	0
23/03/2016	100	19	200	0	200	0	200	0
29/03/2016	100	12	200	0	200	0	200	0
31/03/2016	150	14	300	0	300	0	300	0
04/04/2016	100	18	300	0	300	0	200	22
06/04/2016	100	15	150	29	300	0	130	32
08/04/2016	100	19	150	33	250	20	150	25
11/04/2016	50	17	50	29	150	32	50	28
13/04/2016	50	7	50	17	100	23	50	18
15/04/2016	200	11	200	18	200	19	200	15
18/04/2016	200	143	200	138	200	101	200	108
20/04/2016	200	45	200	124	200	152	200	96
25/04/2016	200	113	200	94	200	80	200	100
28/04/2016	200	87	200	70	200	67	200	74
05/05/2016	200	132	200	95	200	82	200	115
17/05/2016	200	63	200	22	200	2	200	0
24/05/2016	150	65	100	128	200	28	200	37
02/06/2016	100	33	100	22	100	29	100	60
07/06/2016	100	42	100	23	100	8	100	35
16/06/2016	200	20	200	0	200	0	200	0
21/06/2016	100	117	100	31	100	37	100	56
30/06/2016	100	53	100	22	100	0	100	11
11/07/2016	100	14	100	8	100	0	100	0
13/07/2016	100	13	100	0	100	0	100	0
26/01/2016	200	0	200	0	200	0	200	0
29/01/2016	100	0	100	0	100	0	100	0