

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

O software, dados geográficos, tabelas e ficheiros utilizados neste trabalho estão esquematizados nas figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

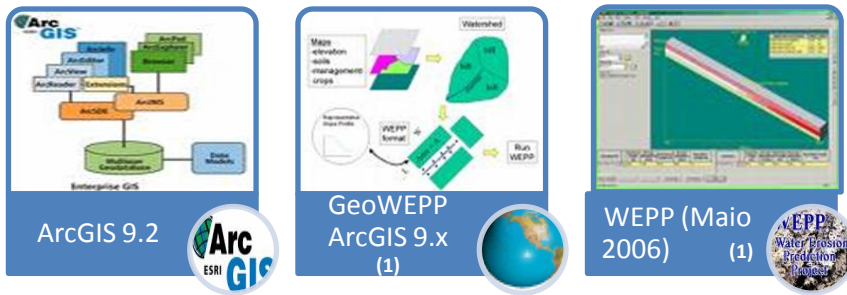


Figura 4.1 – Software utilizado nos modelos USLE e WEPP.

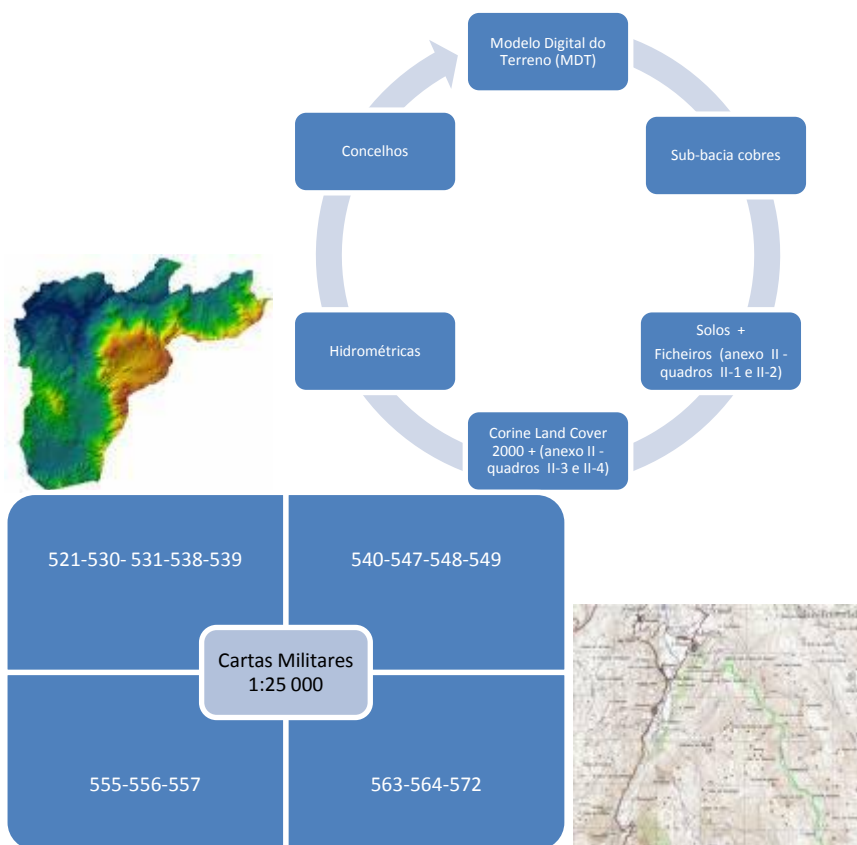


Figura 4.2 – Dados geográficos utilizados nos modelos de erosão USLE e WEPP.

(1) O “download” do GeoWEPP e WEPP foi realizado em Janeiro de 2009 através do site:
<http://www.geog.buffalo.edu/~rensch/geowepp/>

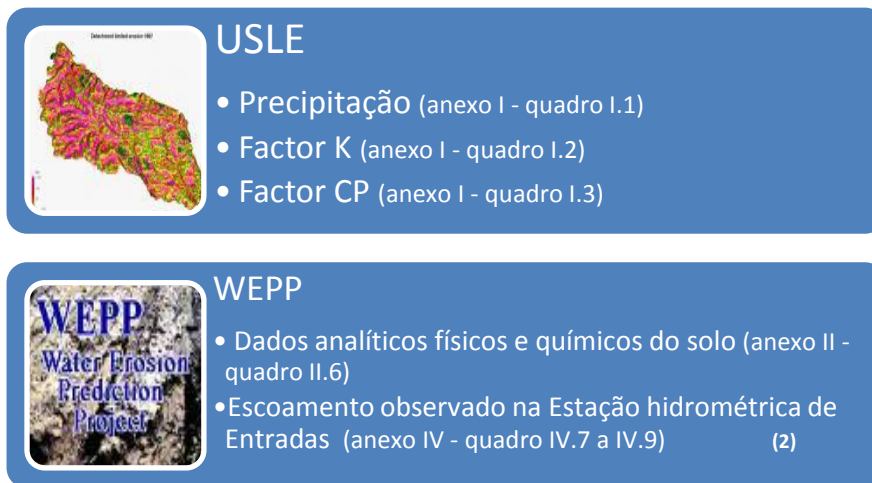


Figura 4.3 – Tabelas utilizadas para desenvolvimento dos modelos USLE e WEPP.

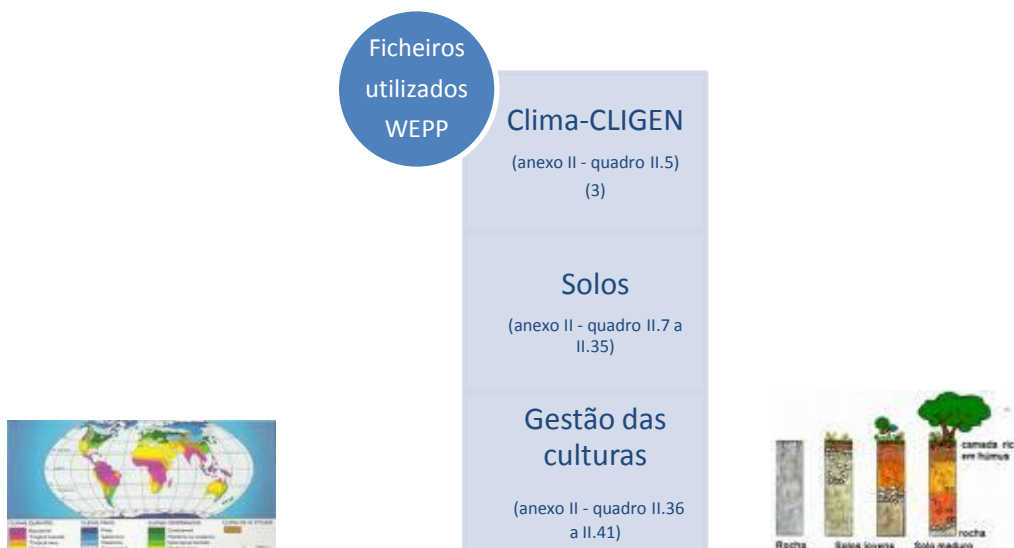


Figura 4.4 – Ficheiros construídos e utilizados no modelo WEPP.

(2) O “download” do escoamento observado na Estação Hidrométrica de Entradas foi realizado em Maio de 2009 através do site:

http://snirh.pt/snirh.php?main_id=2&item=1&objlink=&objrede

(3) O “download” do ficheiro climático CLIGEN foi realizado em Março de 2009 através do site:

<http://home.isa.utl.pt/~joaopalma/index.php?id=39,0,0,1,0,0>

4.2 METODOLOGIA PARA A DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a delimitação da área de estudo utilizou-se a extensão “Spatial Analyst Tools” do ArcGIS 9.2, e dentro desta as ferramentas da “Hidrology” (Fill, Flow Direction e Watershed), utilizando-se como dados geográficos o MDT e o ponto “outlet”. A sua esquematização encontra-se representada na figura 4.5.



Figura 4.5 – Esquema da metodologia utilizada para delimitação da área de estudo.

4.3 METODOLOGIAS PARA O CÁLCULO DA EROSÃO E DO ESCOAMENTO

Neste subcapítulo descrevem-se as metodologias adoptadas no desenvolvimento da dissertação, que tem como objectivo a produção de mapas caracterizadores da distribuição espacial da erosão, e sua comparação, na aplicação dos dois modelos utilizados, USLE e WEPP; a comparação de diferentes resoluções (10, 30 e 60) aplicadas aos referidos modelos; e ainda, o escoamento superficial obtido pela aplicação do modelo WEPP para comparação com o escoamento observado na Estação Hidrométrica de Entradas.

A definição de uma abordagem metodológica serve como ponto de partida para o desenvolvimento do debate conceptual (NEVES, 1996).

4.3.1 “Universal Soil Loss Equation” (USLE) ou Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

A erosão foi determinada através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo, descrita por WISCHMEIER & SMITH (1978), e apresentada no subcapítulo 2.3.2, com a numeração 2.1.

Cada factor desta equação teve um tratamento específico e o seu desenvolvimento através da análise espacial para geoprocessamento algébrico, possibilitando a quantificação da erosão.

a) Factor de erosividade da precipitação - Factor R

O factor erosividade (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva causar erosão em uma determinada área sem protecção (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

O cálculo do factor de erosividade (R) é relativamente complexo e carece de registos udográficos de grande precisão.

Para obtenção do valor do factor R utilizou-se uma equação extraída de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990):

$$R = 67.355 * (r^2 / P)^{0.85} * 12 \quad (4.1)$$

em que:

R = erosividade da chuva, MJ.mm/ha.h;

r = precipitação média mensal, mm;

P = precipitação média anual, mm/ano.

Pela sua capacidade de gerar escoamento, a chuva é a forma de precipitação de maior importância em estudos hidrológicos. As suas principais características são a precipitação total, a duração e as distribuições temporal e espacial. A precipitação total não tem significado se não estiver ligada a uma duração, que é o período de tempo compreendido entre o início e o final da medição de um evento de chuva.

A distribuição temporal da chuva descreve a variação da quantidade de chuva para o tempo de duração desse evento. A intensidade corresponde a precipitação por unidade de tempo, apresentando variação temporal, mas, para análise dos processos hidrológicos, geralmente são definidos intervalos de tempo nos quais a intensidade é considerada constante.

Durante uma dada precipitação existe uma grande probabilidade de que a quantidade medida por duas ou mais estações pluviométricas próximas seja diferente. Isso ocorre pelo facto de a chuva variar também espacialmente. Em análises hidrológicas é frequente determinar a média espacial de chuva sobre uma amostragem. Isso normalmente é feito através dos seguintes métodos: chuva média e polígonos de Thiessen.

O método dos polígonos de Thiessen não foi aplicado ao modelo, devido a ter-se optado por aplicar os mesmos dados climáticos nos dois modelos utilizados neste trabalho. Assim, a precipitação média mensal (*r*) e anual (*P*), foram obtidas apenas utilizando os dados de uma estação meteorológica (anexo I – quadro I.1).

A metodologia aplicada para obtenção do Factor R encontra-se ilustrada no esquema representado na figura 4.6.

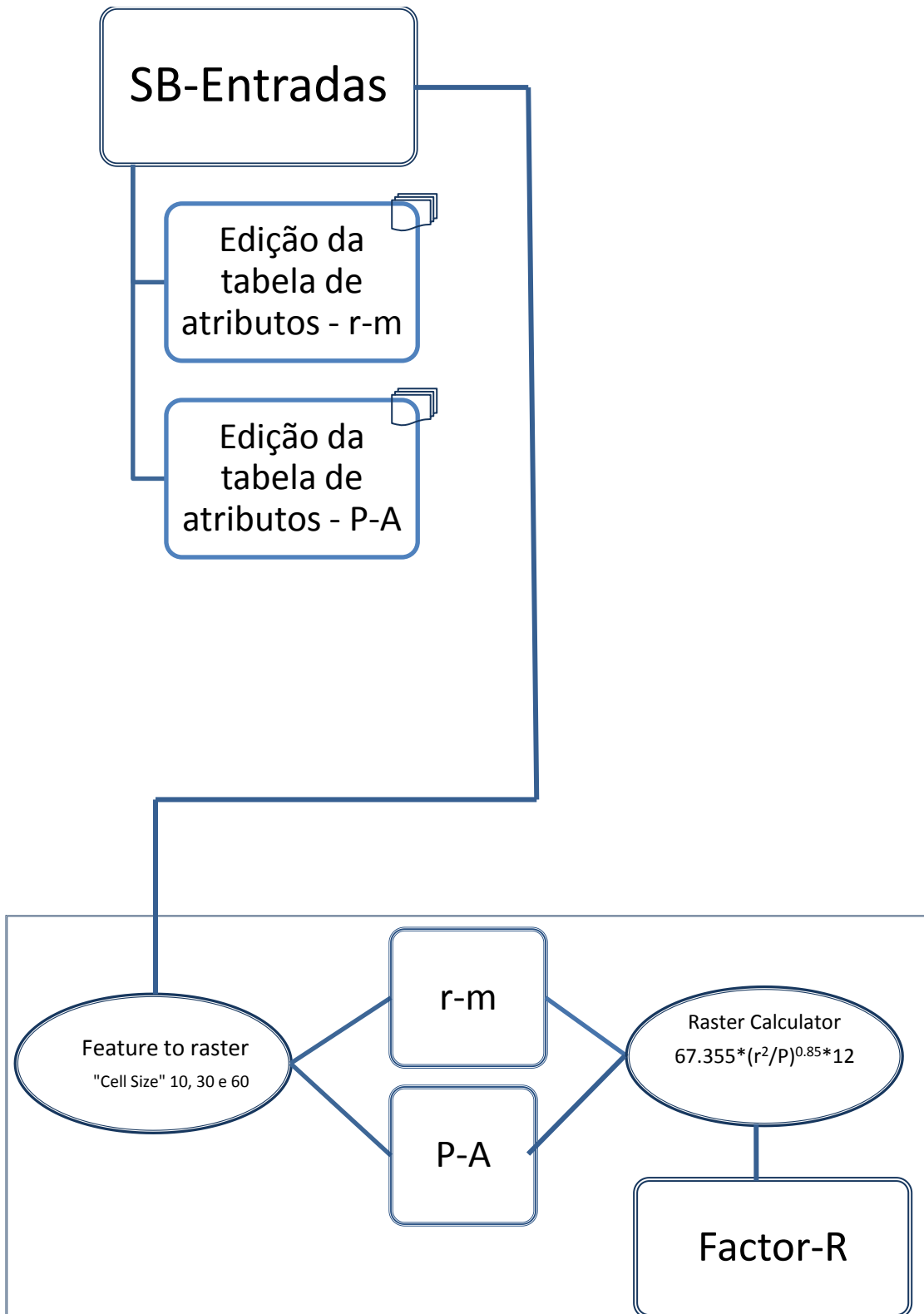


Figura 4.6 – Esquema da metodologia aplicada para obtenção do Factor R.

b) Factor erodibilidade dos solos - Factor K

A erodibilidade refere-se às propriedades inerentes ao solo (textura, estrutura, porosidade e profundidade) e reflecte a sua susceptibilidade à erosão.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) destacam, entre as propriedades do solo que influenciam a erosão, aquelas que controlam a velocidade de infiltração da água, a permeabilidade e a capacidade de absorção, bem como as ligadas à coesão, que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e da enxurrada.

À tabela de atributos dos solos foi adicionado um campo “Factor-K”, que foi editado com valores de erodibilidade calculados para cada unidade pedológica referente à classificação SROA definidos em PIMENTA, 1998 (anexo I – quadro I. 2).

A metodologia aplicada para obtenção do Factor K encontra-se esquematizada na figura 4.7.

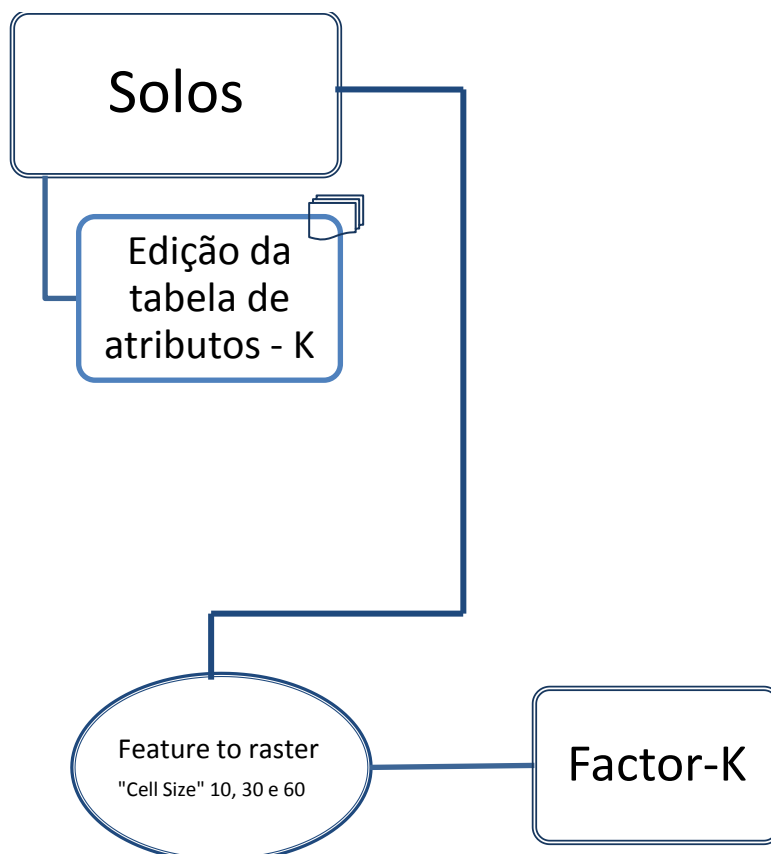


Figura 4.7 – Esquema da metodologia aplicada para obtenção do Factor K.

Outra forma de cálculo da erodibilidade é a proposta por WISCHMEIER & SMITH, 1978, a partir de resultados dos parâmetros geotécnicos obtidos, através da seguinte fórmula:

$$K=0.137/100*[2.1*10^{-4}*(12-MO)*((Sil+Af)*(100-Arg))^{1.14}+3.25*(S_1-2)+2.5*(P_1-3)] \quad (4.2)$$

em que:

K = erodibilidade do solo, t/MJ*h/mm;

MO = matéria orgânica, %;

Sil + Af = limo + areia fina, %;

Arg = argila, %;

S₁ = parâmetro que descreve a estrutura do solo;

P₁ = parâmetro que descreve a permeabilidade.

c) Factor fisiográfico - Factor LS

O relevo é um dos factores mais importantes no processo erosivo, pois a superfície terrestre é constituída, na sua maior parte, por vertentes.

O cálculo do factor topográfico é um dos mais complexos na equação de perdas de solo. Várias metodologias foram elaboradas, por diversos autores, na tentativa de uma melhor representação desta variável. Uma limitação a todas estas tentativas, é o facto de se considerar a uniformidade da paisagem, não se levando em consideração que o perfil da vertente pode ser côncavo, convexo ou rectilíneo, implicando que os resultados obtidos possam subestimar ou sobrestimar as perdas de solo.

O comprimento da vertente é entendido como a distância entre dois pontos extremos (um mais elevado, outro mais baixo) de igual declive. Havendo mudança no ângulo do declive, há mudança dos processos erosivos que afectam as perdas de solo. Utilizando o conceito tradicional de vertente em geomorfologia, consideram-se aqui os segmentos de vertentes e não a sua totalidade.

A interacção das duas variáveis, declive e extensão das vertentes, no condicionamento de perdas de solo, levaram BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) a

considerarem mediante formulação específica, maior influência do declive (S) em relação ao comprimento da vertente (L). Traduzido através da seguinte equação:

$$LS = 0.00984 * L * 0.63 * S * 1.18 \quad (4.3)$$

em que:

L = comprimento da vertente, m;

S = declive, %.

O factor de comprimento de encosta (L) corresponde à relação entre os comprimentos da encosta e do talhão de referência (valor a dimensional).

O factor de declive da encosta (S) corresponde à relação entre os declives da encosta e do talhão de referência. Os factores de comprimento e de declives são habitualmente calculados de forma associada (valor a dimensional).

A equação original para o cálculo do factor LS é uma equação empírica de WISCHMEIER & SMITH (1978):

$$LS = (x / 22.13)^n * (65.41 \text{ sen}^2 \theta + 4.56 \text{ sen } \theta + 0.065) \quad (4.4)$$

em que:

x = comprimento da vertente, m;

θ = ângulo de inclinação da vertente, \emptyset ;

n = 0.5 se o declive for igual ou superior a 5 %; 0.4 se o declive estiver compreendido entre 3.5% e 4.5%; 0.3 em declives de 1% a 3%; e 0.2 em declives com percentagem inferior a 1%.

Outra equação para obtenção do factor LS (MOORE & BURCH (1986)):

$$LS = (A_s / 22.13)^{0.4} * (\text{sen } \theta / 0.0896)^{1.3} \quad (4.5)$$

em que:

A_s = área de drenagem específica, m².

Considerando-se um comprimento médio da encosta de 100 m:

$$LS = 1.822544 * (\text{dec} / 8.96)^{1.3} \quad (4.6)$$

em que:

dec = declive, (%).

O factor topográfico também pode ser obtido através da expressão apresentada por HANN et al., (2002).

$$LS = 0.00984 * \lambda^{0.63} * (100 * \text{sen } \theta)^{1.18} \quad (4.7)$$

em que:

λ = comprimento médio da vertente, m ;

θ = ângulo de declive do talude, \emptyset .

Como se pode constatar, existem várias equações que se podem aplicar no cálculo do factor LS.

Neste trabalho optou-se por utilizar a equação 4.6. É necessário para isso calcular o declive em % através do modelo digital do terreno, utilizando a ferramenta de análise espacial “Slope” da extensão “Spatial Analyst Tools” do ArcGIS 9.2.

A metodologia aplicada para obtenção do Factor LS encontra-se representada na figura 4.8.

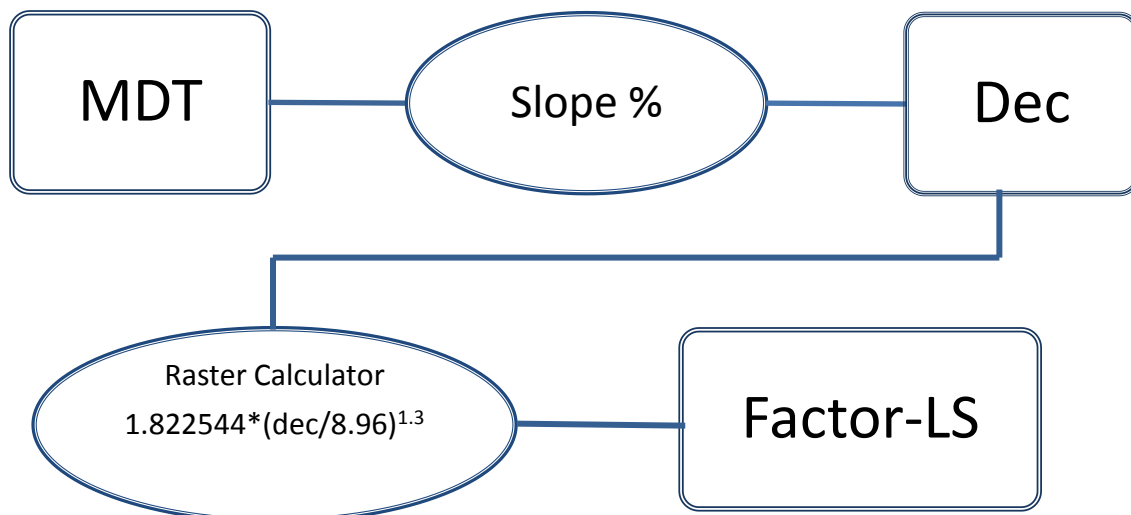


Figura 4.8 – Esquema da metodologia aplicada para obtenção do Factor LS.

d) Factor de coberto vegetal (C) e factor de práticas agrícolas ou de medidas de controlo da erosão (P) – Factor CP

O factor C é definido como a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições (tipo de cobertura vegetal, rotação de culturas e práticas culturais) e as perdas correspondentes a um terreno mantido continuamente a descoberto (WISCHMEIER & SMITH, 1965).

O factor P da equação é definido por BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) como sendo a relação entre a intensidade de perdas de solo, em culturas, adoptando determinada prática conservacionista e as perdas que acontecem quando a cultura está plantada no sentido do declive, ou seja, desprovida de qualquer preocupação conservacionista.

Os autores relacionam como práticas conservacionistas mais comuns, a plantação segundo as curvas de nível, a plantação em faixas segundo as curvas de nível, os terraços e a rotação de culturas. A cada tipo de prática atribuem um valor numérico.

A cobertura vegetal é um escudo natural que protege o solo. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de protecção, que cada cultura oferece.

O factor do coberto vegetal (C) é a relação entre as perdas de solo para um determinado coberto e a situação de alqueive (valor a dimensional).

O factor de prática agrícola (P) é o valor correspondente à relação entre as práticas agrícolas efectuadas e as de referência (valor a dimensional).

Em determinados estudos considera-se o P (Práticas conservacionistas) igual a 1, entrando-se apenas com o factor C (Cobertura do solo), com atribuição do factor C a cada classe de ocupação do solo.

A tabela utilizada neste trabalho para obtenção do factor CP associa a cultura e o uso às práticas agrícolas (PBH DO RIO SADO, 2000).

À “shape” Corine Land Cover” adicionou-se um campo para o factor CP, e a cada classe de uso fez-se corresponder o respectivo valor de CP (anexo I - quadro I.3).

A metodologia aplicada para obtenção do Factor CP encontra-se esquematizada na figura 4.9.

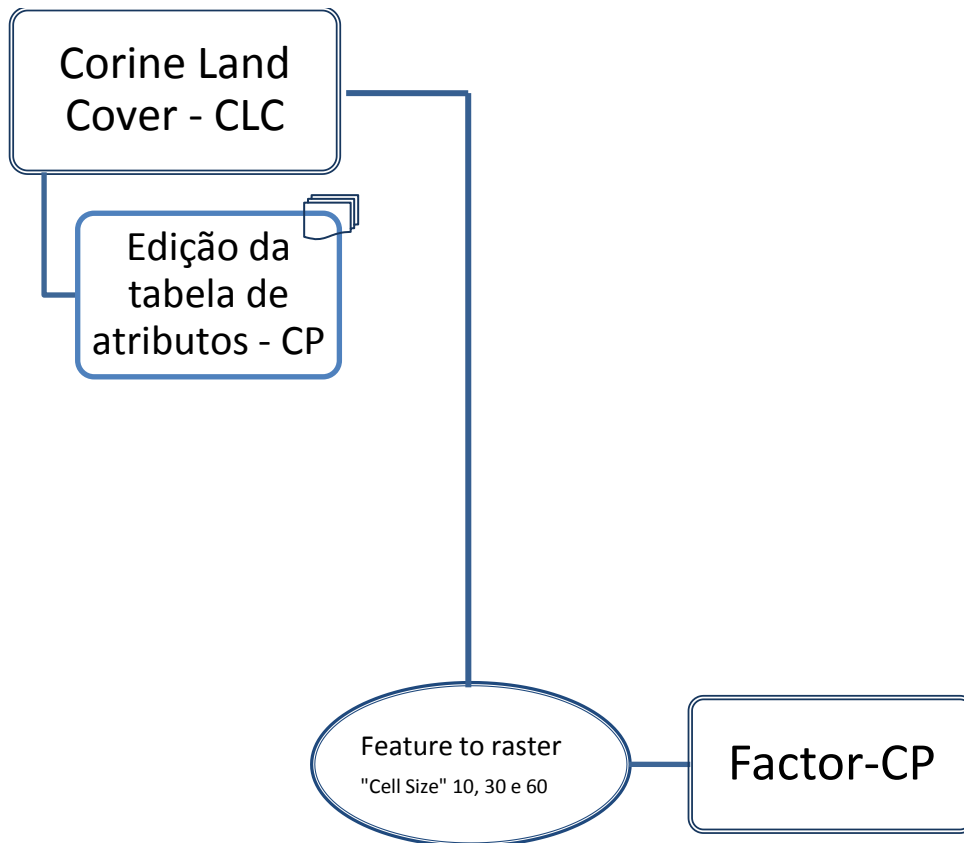


Figura 4.9 – Esquema da metodologia aplicada para obtenção do Factor CP.

e) Perdas de solo ou erosão específica (A)

Depois de se terem obtido todas as “grids” dos factores envolvidos na Equação Universal de Perda de Solo, calculou-se o A (perdas de solo ou erosão específica em t/ha/ano). Em seguida, para obtenção da erosão média na área de estudo aplicou-se a ferramenta de análise espacial “Zonal Statistics” da extensão “Spatial Analyst Tools” do ArcGIS 9.2.

A obtenção do valor de erosão média encontra-se representada na figura 4.10.

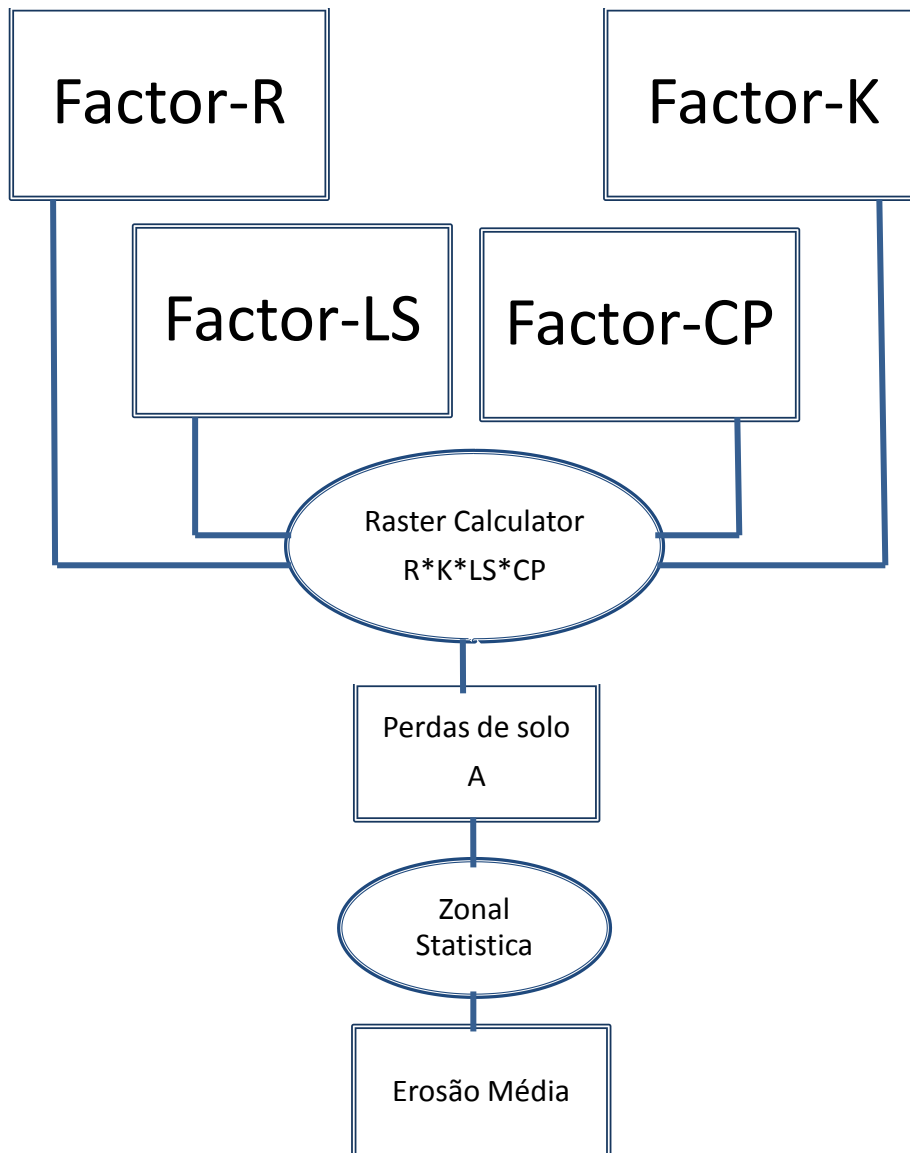


Figura 4.10 – Esquemática da obtenção da erosão específica e da erosão média.

4.3.2 “Water Erosion Prediction Project” (WEPP) ou Projecto de Previsão da Erosão Hídrica (PPEH)

RENSCHLER *et al.* (2002) e RENSCHLER (2003) desenvolveram o GeoWEPP. É uma aplicação que integra os processos do modelo WEPP com as capacidades de modelação espacial do SIG permitindo obter a informação geográfica dos dados e resultados obtidos por aplicação do modelo. O GeoWEPP é uma interface que permite a integração do modelo WEPP com o ArcGIS.

A ligação de um SIG ao “Water Erosion Prediction Project” (WEPP), permite efectuar a previsão da erosão hídrica e do escoamento superficial, e simultaneamente analisar a distribuição espacial destes fenómenos hidrológicos.

O SIG fornece ao modelo WEPP uma base de dados geográfica referente às variáveis de entrada no modelo que apresentam variação espacial, tais como: topografia, solo e utilização do solo. No modelo WEPP é efectuado o processamento da informação, são geradas as saídas de dados necessárias para representar no SIG a distribuição espacial da erosão e o escoamento superficial na zona de estudo (figura 4.11).

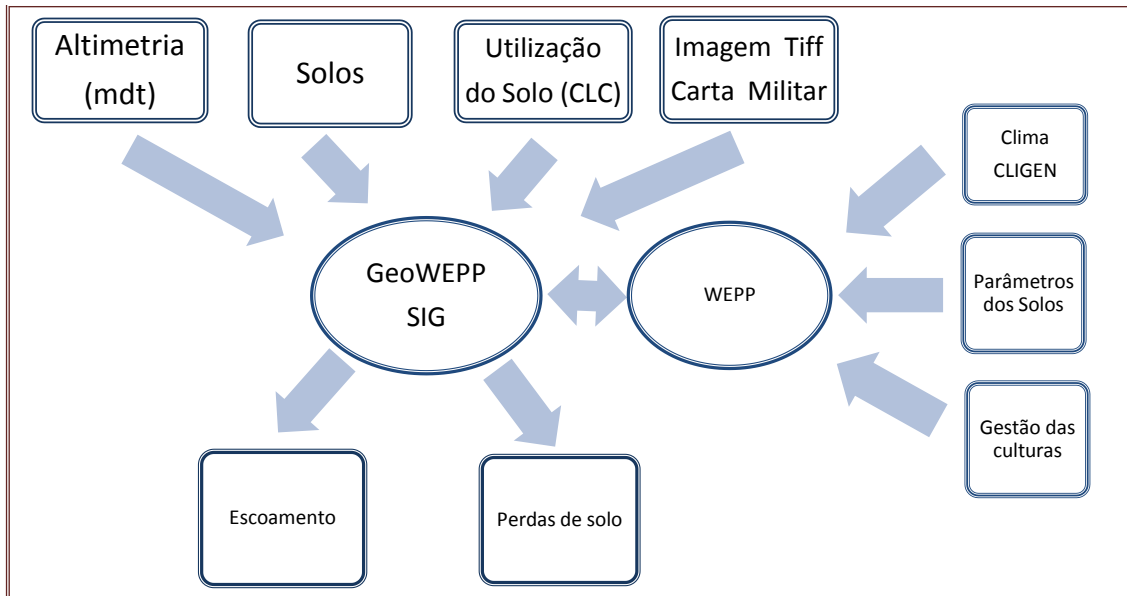


Figura 4.11 – Modelo GeoWEPP (SIG) – WEPP.

Foram utilizadas três resoluções (10, 30 e 60) para a informação de entrada (modelo digital do terreno, solos e utilização do solo) no GeoWepp.

A metodologia adoptada para construção dos dados de entrada no GeoWEPP encontra-se representada na figura 4.12.

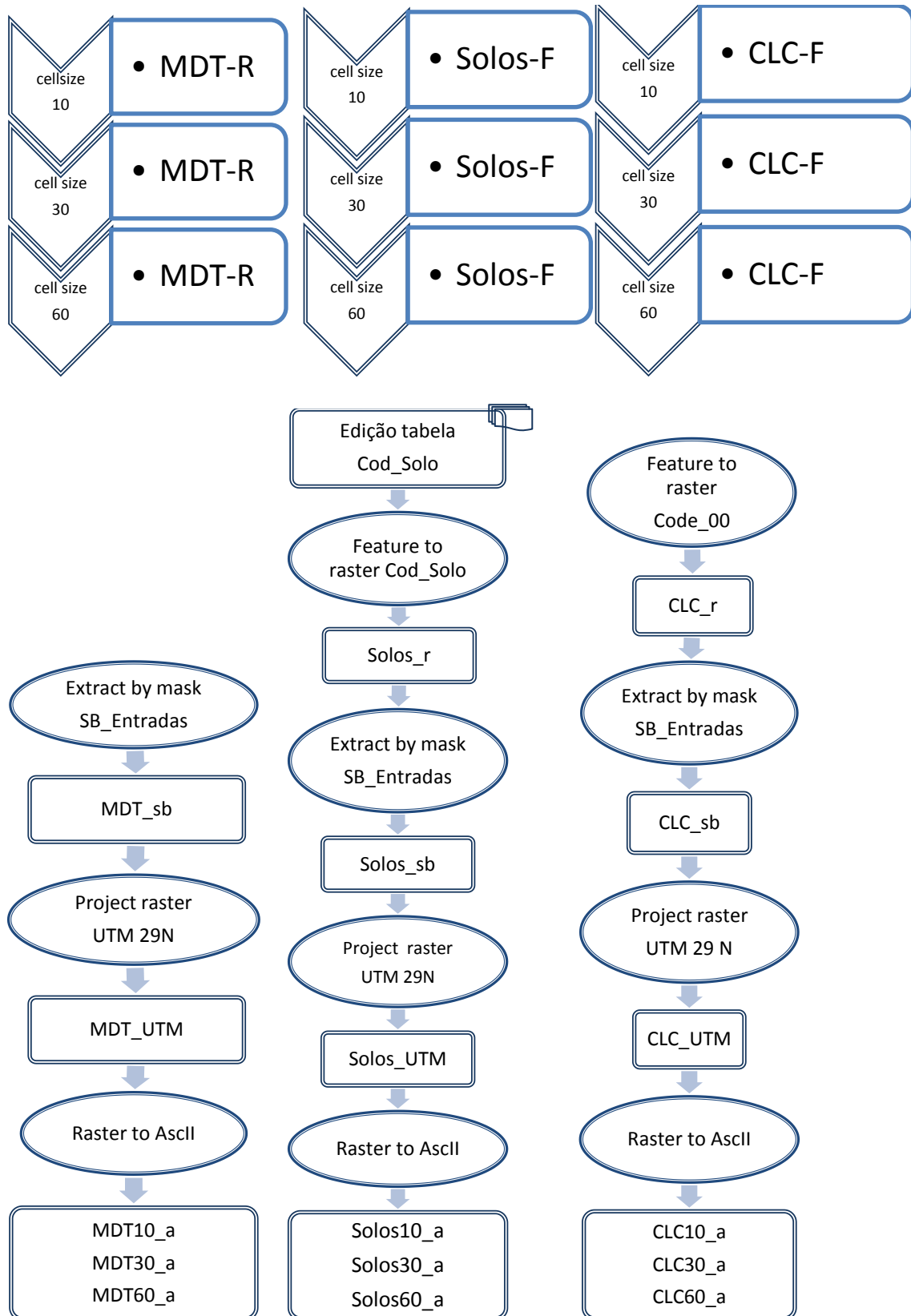


Figura 4.12 – Diagrama da construção dos dados de entrada no GeoWEPP.

A figura 4.13 representa as zonas UTM de onde se obteve a zona correspondente à área de estudo (UTM 29 N).

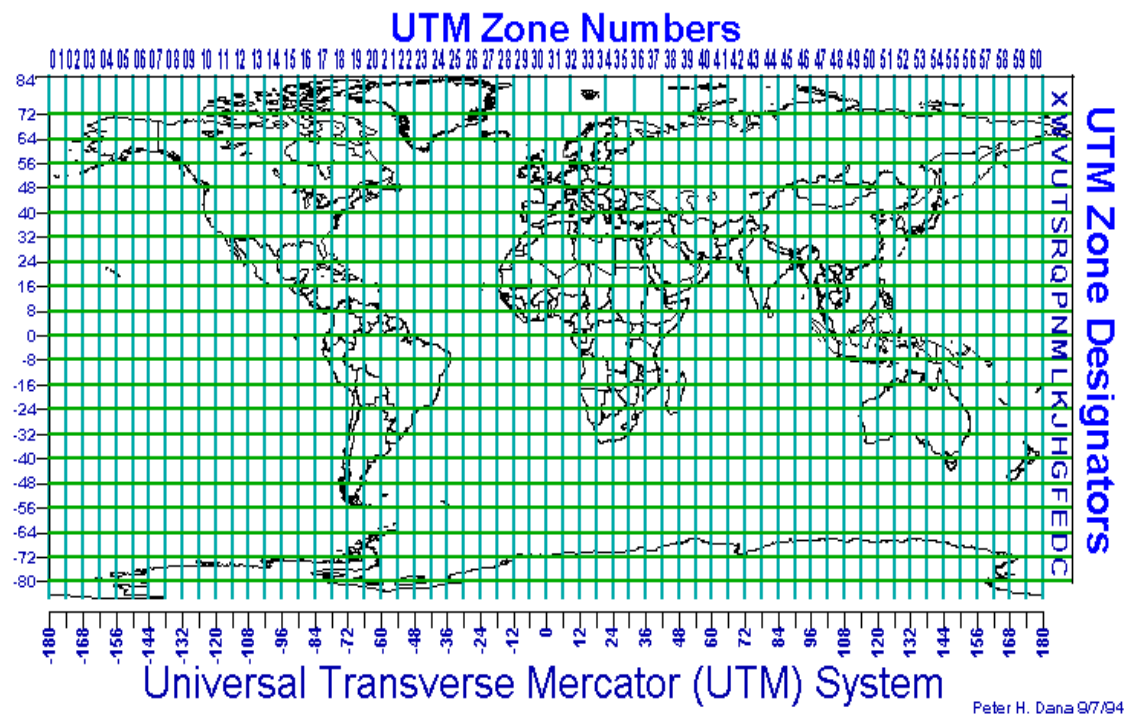


Figura 4.13 – Representação das zonas UTM (Universal Transverse Mercator).

Outra entrada no sistema foi o conjunto de cartas militares, que foram agrupadas numa só, através da ferramenta “Workspace to Raster Dataset”, e posteriormente transformada em “tiff”, através do “Export Data” do ArcGIS 9.2.

Com a entrada de todos os dados geográficos e ficheiros txt (solo_t, soilsdb, clc_t e clc_tdb – anexo II – quadros II.1, II.2, II.3 e II.4, respectivamente) que ligam a informação geográfica do GeoWEPP à informação contida nos ficheiros WEPP, foram delineados os canais de escoamento.

De seguida seleccionou-se o ponto “outlet” (Entradas) para as coordenadas pretendidas (20,927.628; 88,664.025), indicando-se a zona UTM (29), obtendo-se como resposta a delimitação da sub-bacia. Depois de aceite a sub-bacia, foi seleccionada a Estação Meteorológica de Beja (anexo II - quadro II.5), os solos (anexo II – quadros II.7 a II.35) e a gestão das culturas (anexo II – quadros II.36 a II.41). Posteriormente foi escolhida a opção “Watershed” para 14 anos (nº anos para que foi construído o submodelo CLIGEN), extraindo-se daqui os resultados da erosão e escoamento.

Os ficheiros dos solos foram construídos com base na informação extraída de CARDOSO (1965), de onde foram retirados os seguintes parâmetros, para cada tipo de solo e camada do respectivo perfil: profundidade (mm), areia (%), argila (%), matéria orgânica (%), capacidade de troca catiónica (meq/100g de solo) e elementos grosseiros (%). Os restantes parâmetros do solo foram estimados, tendo por base os dados da referência citada. Os parâmetros estimados foram: SALB – albedo, saturação Inicial (m/m), K_i - erodibilidade entre sulcos ($\text{Kg}^*\text{s}/\text{m}^4$), K_r - erodibilidade no sulco (s/m), t_c – tensão de cisalhamento crítico (N/m^2) e K_b – condutividade efectiva (mm/h).

O parâmetro albedo do solo foi estimado pela equação proposta por BAUMER (1990):

$$\text{SALB} = 0.6 / \text{EXP} (0.4 * \text{ORGMAT}) \quad (4.8)$$

em que:

SALB = albedo, a dimensional;

ORGMAT = matéria orgânica, %.

O valor do albedo encontra-se entre 0.60, para solos com 0% de matéria orgânica e 0.08 para solos com 5 % de matéria orgânica.

A saturação inicial (cm^3 de água / cm^3 de solo) e a textura do solo foram extraídas através de um calculador de propriedades hidráulicas (SAXTON *et al.*, 1986), tendo como dados de entrada a % de areia e argila. (4)

Os parâmetros K_i , K_r , t_c e K_b foram calculados pelas seguintes fórmulas retiradas do “User WEEP” (USDA, 1995):

Para solos com % de areia = ou > a 30%:

$$K_i = 2728000 + 192100 * VFS \quad (4.9)$$

(4) O cálculo da saturação inicial do solo e determinação da classe de textura do solo foi realizado em Maio de 2009 através do site:

http://www.pedosphere.com/resources/texture/worktable_us.cfm

em que:

K_i = erodibilidade entre sulcos, Kg*s/m⁴;

VFS = areia muito fina, %.

$$K_r = 0.00197 + 0.00030 * VFS + 0.03863 * \text{Exp}(1.84 * \text{ORGMAT}) \quad (4.10)$$

em que:

K_r = erodibilidade no sulco, s/m;

VFS = areia muito fina, %;

ORGMAT = matéria orgânica, %.

$$t_c = 2.67 + 0.065 * \text{CLAY} - 0.058 * \text{VFS} \quad (4.11)$$

em que:

t_c = tensão de cisalhamento crítico, N/m²;

CLAY = argila, %;

VFS = areia muito fina, %.

VFS tem de ser = ou < a 40 %, se for > deve-se utilizar 40%.

ORGMAT tem de ser > 0.35%, se for < deve-se utilizar 0.35%.

CLAY tem ser < a 40%, se for > deve-se utilizar 40%.

Para solos com % de areia < a 30%:

$$K_i = 6054000 - 55130 * \text{CLAY} \quad (4.12)$$

em que:

K_i = erodibilidade entre sulcos, Kg*s/m⁴;

CLAY = argila, %.

$$K_r = 0.0069 + 0.134 \cdot \text{Exp}(-0.20 \cdot \text{CLAY}) \quad (4.13)$$

em que:

K_r = - erodibilidade no sulco, s/m;

CLAY = argila, %.

$$t_c = 3.5 \quad (4.14)$$

em que:

t_c = tensão de cisalhamento crítico, N/m².

Na equação para o cálculo do K_i e K_r , a argila tem de ser >10%, se for < deve-se utilizar 10%.

Para solos com % de argila < ou = a 40%:

$$K_b = -0.265 + 0.0086 \cdot \text{SAND}^{1.8} + 11.46 \cdot \text{CEC}^{-0.75} \quad (4.15)$$

em que:

K_b = condutividade efectiva, mm/h;

SAND = areia, %;

CEC = capacidade de troca catiónica, meq/100g de solo.

Para solos com % de argila > a 40%:

$$K_b = 0.0066 \cdot \text{Exp}(244/\text{CLAY}) \quad (4.16)$$

em que:

K_b = condutividade efectiva, mm/h;

CLAY = argila, %.

Todos os parâmetros utilizados na construção dos ficheiros do solo estão inseridos no anexo II – quadro II.6.

4.3.3 Metodologias aplicadas para avaliação dos resultados

No que se refere ao modelo USLE (“Universal Soil Loss Equation”) depois de obtida a “grid” da erosão específica, para as resoluções testadas (10, 30 e 60), foi aplicada uma estatística zonal, na qual foi utilizada a ferramenta de análise espacial “Zonal Statistics” da extensão “Spatial Analyst Tools” do ArcGIS 9.2, para obtenção da erosão média.

No modelo WEPP (“Water Erosion Prediction Project”) para se obter a erosão média (“cell size”: 10, 30 e 60), foi seleccionado o valor médio de erosão de cada classe resultante da “grid” de erosão do GeoWEPP, multiplicado pelo n.º de células para cada classe e dividido pelo total de células de todas as classes.

Não foi possível utilizar os resultados da estatística zonal aplicada ao modelo WEPP (anexo IV – quadros IV.4 a IV.6), em virtude, de a cada uma das células estar associado o número referente à classe e não ao valor da erosão.

Para avaliação e validação dos resultados calculados pelo modelo WEPP (“Water Erosion Prediction Project”) foi aplicado o coeficiente de eficiência de NASH & SUTCLIFFE (1970) para o parâmetro escoamento superficial, por evento diário (m³/s) para 14 anos (1977 a 1990), tendo como base os valores observados na Estação Hidrométrica de Entradas.

NASH & SUTCLIFFE (1970) definiram a eficiência do modelo, que é semelhante ao coeficiente de determinação, através da seguinte fórmula:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_t - O_t)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (4.17)$$

em que:

R^2 = eficiência do modelo;

Y_t = valor observado;

\bar{Y} = média dos valores observados;

O_t = valor calculado pelo modelo.

A eficiência do modelo é uma medida muito utilizada na avaliação da qualidade dos resultados da modelação hidrológica.

Se os resultados do modelo forem fortemente correlacionados, mas enviesados, a eficiência do modelo é inferior ao coeficiente de determinação. STONE (1995) descreve esta situação apresentando um coeficiente de determinação igual à unidade, que traduz um ajustamento perfeito entre valores observados e calculados.