



Comparação da eficácia de tecnologias para o controlo da perda de solo em áreas ardidas no Nordeste de Portugal aplicando modelo de erosão

Edson Cesar de Lima

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por

Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)

Professor Doutor Luciano Fleischfresser (UTFPR)

Bragança

2016

À minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos, sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grato.

Ao Professor Doutor Tomás D' Aquino Rosa de Figueiredo, pela sua orientação, total apoio, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas, total colaboração no solucionar de dúvidas e problemas que surgiram ao longo da realização deste trabalho, pela amizade e por todas palavras de incentivo.

À Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca, pela orientação, profissionalismo, apoio e conhecimentos transmitidos, que elevaram meus conhecimentos científicos.

Ao Professor Luciano Fleischfresser, pela orientação, apoio, boa disposição em todos os momentos.

À Coordenação do Mestrado em Tecnologia Ambiental da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, pela oportunidade e privilégio que tive em frequentar este Mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica e científica.

Tendo consciência da importância, dirijo um agradecimento especial à minha mãe, Ivone de Souza Frogeri Lima e minha família, por serem modelos de coragem, pelo apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência, além de total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foram surgindo.

Por último, porém não menos importante, aos meus amigos, especialmente aqueles que considero parte da família, pelos ótimos momentos proporcionados, apoio e amizade.

A todos o meu Muito Obrigado!

“Educação não transforma o mundo.

Educação muda pessoas.

Pessoas transformam o mundo.”

(Paulo Freire)

RESUMO

As florestas exercem grande influência nos meios físico, biótico e socioeconômico, evitando a degradação do solo pela erosão, controlando a qualidade da água, fornecendo matérias-primas e alimentos, abrigando a maior parte da fauna e flora terrestre. As áreas florestais estão todavia sujeitas a significativo risco de incêndio. Como consequência dos incêndios, e entre outros impactos, o solo fica exposto à ação erosiva da chuva determinando perdas de solo muito significativas e a degradação deste recurso. Deste modo, o controle da erosão após o incêndio é essencial para a mais rápida recuperação das áreas ardidadas suportada em medidas de conservação do solo eficazes.

O trabalho propõe-se fazer uma avaliação quantificada da eficácia de técnicas de conservação do solo no controle da erosão em áreas ardidadas, centrada em medidas de baixo custo e aplicável ao NE de Portugal, em especial o Distrito de Bragança. A metodologia de avaliação seguida inclui a construção de cenários regionais de aplicação simulada de uma seleção de medidas, mediante exploração de um modelo de erosão (Equação Universal de Perda de Solo – USLE).

Através das simulações realizadas fazendo variar a distribuição de barreiras ao longo da encosta e o seu grau de retenção, foi possível avaliar a eficácia desta técnica para a redução da erosão nas condições definidas como cenários de base. Observou-se que o grau de retenção tem maior influência na redução de perda do solo do que a distância entre barreiras. Isto evidencia a necessidade de uma implementação adequada desta medida, com a instalação de barreiras de elevado grau de retenção.

Aplicada apenas no primeiro ano pós-fogo, e de forma isolada, a técnica da sementeira não se mostrou suficientemente eficaz. Porém, se após um ano se realizar uma nova sementeira na área afetada, mostrou-se que pode ocorrer uma diminuição dos valores de perda de solo relativamente grande, pelo que será aconselhável a realização de uma ressementeira no ano seguinte à primeira aquando de intervenções pós-fogo com esta técnica.

Uma possível combinação entre os métodos anteriores iria proporcionar uma situação ótima, como observado nos resultados das simulações efetuadas, onde a maioria dos cenários apresentou valores estimados de perda de solo menores ou iguais a 2 ton/ha.ano, limiar que separa condições de risco de erosão baixo e moderado e corresponde à tolerância de perda de solo para solos delgados e de substrato não renovável.

ABSTRACT

Forests have great influence on the physical, biotic and socio-economic environments, preventing soil degradation by erosion, controlling water quality, providing raw materials and food, housing most of the terrestrial fauna and flora. However, forest areas are significantly subject to risk of conflagration. As a result of the fires, and among other impacts, the soil is exposed to the erosive rain action, causing very significant soil loss and degradation of this resource. Thus, erosion control after conflagrations is essential for a faster recovery of burned areas supported in effective soil conservation measures.

The work focuses on making a quantified evaluation of the effectiveness of soil conservation techniques in the control of erosion in burned areas, emphasized on low-cost measures and applicable to the NE Portugal, District of Bragança. The assessment methodology followed includes the construction of regional scenarios of simulated application of measures selection, through the exploitation of an erosion model (Universal Soil Loss Equation – USLE).

Through simulations performed by varying the distribution of barriers along the slope and their retention degree it was possible to evaluate the effectiveness of this technique on reducing the erosion with the based scenarios conditions defined. It was observed that the retention degree has greater influence in reducing soil loss than the distance between barriers. This highlights the need for proper implementation of this measure, with the installation of high degree retention barriers.

Applied only in the first post-fire year and isolated, the seeding technique was not effective enough. Nevertheless, if the seeding technique was applied in the affected area after one year it was shown that there may be a relatively large reduction in soil loss values, so it is advisable to perform a reseeded on the following first year post-fire intervention with this technique.

A possible combination of the previous methods would provide a great situation, as seen in the simulations results performed where most of the scenarios presented estimates soil losses smaller or equal to 2 ton/ha per year; threshold which separates conditions of low and moderate erosion risks and corresponds to the tolerance of soil loss to shallow soils with non-renewable substrates.

ÍNDICE

<i>Capítulo I - Introdução</i>	1
<i>Capítulo II – Fundamentação Teórica</i>	5
2.1. Erosão	7
2.1.1. Metodologias De Avaliação Da Erosão	9
2.2. Defesa Do Solo Contra Erosão	9
2.3. Incêndios Florestais	10
2.3.1. Importância	10
2.3.2. Situação Em Portugal	11
2.3.3. Impactos	14
2.3.3.1. Propriedades Físicas Do Solo	15
2.3.3.2. Matéria Orgânica Do Solo, Carbono E Azoto	16
2.3.3.3. Propriedades Químicas Do Solo	17
2.3.4. Recuperação De Áreas Ardidas	17
2.3.4.1. Sementeira	18
2.3.4.2. Mulching	19
2.3.4.3. Hydromulch	20
2.3.4.4. Poliacrilamidas	21
2.3.4.5 Barreiras	21
2.3.4.6. Banquetas E Albarras	22
<i>Capítulo III – Material e Métodos</i>	23
3.1. Metodologia E Área De Aplicação	25
3.1.1. Aplicação Do Modelo	26
3.1.1.1. Fator Erosividade (R)	26
3.1.1.2. Fator Erodibilidade (K)	27
3.1.1.3. Fator Declive (S)	29
3.1.1.4. Fator Comprimento Da Encosta (L)	29
3.1.1.5. Fator Cultural (C)	29
3.1.1.6. Fator Prática Conservacionista (P)	30
3.2. Construção Dos Cenários De Simulação	31
3.2.1. Condições Climáticas: Índice De Aridez E Zonas Climáticas	31
3.2.2. Condições Edáficas: Unidades De Solo Dominante	33
3.2.3. Condições Topográficas: Classe De Declive	34
3.3. Simulação	34

3.3.1. Fator C	35
3.3.2. Fator L	39
<i>Capítulo IV – Resultados e Discussão</i>	41
4.1. Cenário Base	43
4.1.1. Fator R	43
4.1.2. Fator K	43
4.1.3. Fator S	44
4.1.4. Produto RK	45
4.1.5. Produto RKS	45
4.2. Aplicação De Medidas De Conservação Do Solo Pós-Fogo	47
4.2.1. Sementeira	47
4.2.2. Barreiras	51
4.2.3. Sementeiras E Barreiras	56
4.2.4. Ressementeira E Barreiras	63
4.3. Apreciação Global de Resultados	64
<i>Capítulo V - Conclusão</i>	67
<i>Referências Bibliográficas</i>	71
<i>Anexos</i>	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas suscetíveis à desertificação em Portugal: a - Índice de aridez (IA) que define a susceptibilidade à desertificação em Portugal Continental no período 2000 – 2010 (PANCD, 2011); b – Risco de incêndio para o Distrito de Bragança; c - Risco de degradação do solo (Figueiredo et al., 2014).	8
Figura 2 - Área total ardida em Portugal no período de 01 de Janeiro a 15 de Outubro de (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas - ICNF, 2015).	12
Figura 3 - Número de ocorrências de incêndios florestais e fogachos em Portugal Continental, por ano, entre 01 de Janeiro e 15 de Outubro (Dados provisórios constantes na base de dados do SGIF no dia 16 de Outubro de 2015) (adaptado: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF, 2015)	13
Figura 4 - Número de área ardida em povoamentos e matos em Portugal Continental, por ano, entre 2005 e 2015 (Dados provisórios constantes na base de dados do SGIF no dia 16 de outubro de 2015) (adaptado: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF, 2015).	13
Figura 5 – Factores de degradação de taludes e encostas e efeito protector e correctivo da vegetação (Coppin & Richards, 1990 citado por Fernandes & Freitas, 2011).....	14
Figura 6 - Sementeira realizada junto à Estação de Fátima (Vale dos Ovos, Tomar) após à modelação do terreno para segurança do talude (Freitas, 2008).	19
Figura 7 - aplicação de restos vegetais de acordo com a técnica Mulching (WOCAT, 2015).	20
Figura 8 - Aplicação da técnica hydromulch em uma encosta com o intuito de combater efeitos erosivos no local (Miguez, 2014).	20
Figura 9 - Restauração da vegetação após incêndio pela adição de poliacrilamida ao solo (Correia, 2012).	21
Figura 10 - Técnica de estabilização utilizada no controle à erosão denominada barreiras (Miguez, 2014).....	22
Figura 11 - Estrutura de pedra usada para construção de diques com o intuito de conter erosão (Miguez, 2014.).....	22
Figura 12 - Curvas de produção anual de matéria seca de pastagens adotadas para cada classe de índice de aridez (adaptado de Moreira, 2002).....	36
Figura 13 - Curva do crescimento acumulado de pastagens por classe de índice de aridez adotado.	36
Figura 14 – Evolução ao longo do ano do grau de cobertura (%) da vegetação herbácea semeada por classe de índice de aridez.....	37
Figura 15 - Evolução da altura da vegetação ao longo do ano por classe de índice de aridez.	38
Figura 16 - Distribuição da Erosividade (fator R) ao longo do ano hidrológico: média e percentil 90 dos valores cumulativos relativos (%) (adaptado de Figueiredo, 2001).	39
Figura 17 - Exemplo do grau de retenção com barreiras a cada 10 metros ao longo de uma encosta com 30 metros de comprimento (A representa a quantidade de solo retido na primeira barreira, expressa em termos do fator L da USLE; B representa a distância entre barreiras).	40
Figura 18 - Produto RKS de acordo com a classe de declive, unidade de solo e índice de aridez.	46
Figura 19 – Fator C médio de acordo com a classe de índice de aridez para anos médio e excepcional: sementeira (primeiro ano).....	47

Figura 20 - Valores de RKLSC para anos médio e excepcional de acordo com declive, unidade de solo e índice de aridez (encostas de 200 metros), aplicando sementeira (primeiro ano).	48
Figura 21 - Fator de acordo com a classe de índice de aridez para anos médio e excepcional: ressementeira (segundo ano).	50
Figura 22 - Valores de RKLSC para anos médio e excepcional de acordo com declive, unidade de solo e índice de aridez (encostas de 200 metros), aplicando ressementeira (segundo ano).	50
Figura 23 - Fator L com 25 metros entre barreiras em encostas com 200 metros de comprimento: Efeito do grau de retenção das barreiras.	51
Figura 24 - Fator L em encosta de 200 m com barreiras em intervalos de 10, 25 e 50 metros, e com 50% de retenção de sedimentos na barreira.	52
Figura 25 - Perda de solo relativa ao longo de encosta com barreiras de diferente grau de retenção: distância entre barreiras de 10 metros.	53
Figura 26 - Perda de solo relativa ao longo de encosta com barreiras de diferente grau de retenção: distância entre barreiras de 25 metros.	53
Figura 27 - Perda de solo relativa ao longo de encosta com barreiras de diferente grau de retenção: distância entre barreiras de 50 metros.	54
Figura 28 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 10 m e 10% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.....	59
Figura 29 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 10 m e 50% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.....	60
Figura 30 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 10 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.....	60
Figura 31 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 50 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.....	61
Figura 32 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 50 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira, em ano excepcional. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano. .	62
Figura 33 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação de barreiras com intervalo de 50 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.	63
Figura 34 – Número de cenários com estimativa de perda de solo menor que 10 ton/ha.ano após aplicação de intervenções pós-fogo, em ano excepcional e para uma encosta de 200 metros de comprimento: Efeito comparado de barreiras e sementeiras (número máximo de cenários igual à 14).	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais tipos de tratamentos de estabilização do solo pós-incêndio .	18
Tabela 2 - Fator de estimativa da erosividade de acordo com a classe de precipitação (adaptado de Figueiredo, 2015) .	27
Tabela 3 - Classes de índice de aridez (relação entre precipitação e evapotranspiração).	31
Tabela 4 - Correspondência entre classes de índice de aridez e zonas climáticas da carta de solos do ne de portugal, para o distrito de bragança.	32
Tabela 5 - Unidades solo dominantes por Classe de índice de aridez.	34
Tabela 6 - Classes de declive adotadas para cada classe de índice de aridez e sua representatividade.	34
Tabela 7 - Zona climática, precipitação e fator R de acordo com o índice de aridez.	43
Tabela 8 - Fator K na terra fina e corrigido com elementos grosseiros (EG) por classe de índice de aridez e unidade de solo.	44
Tabela 9 – Fator S de acordo com o declive médio e índice de aridez.	44
Tabela 10 - Fator RK de acordo com o índice de aridez e unidade de solo dominante	45
Tabela 11 – Valores do fator L relativo utilizado para as simulações.	51
Tabela 12 - Perda de solo (Produto RKL_S) nos diferentes cenários de simulação de acordo com as diferentes condições de instalação das barreiras.	55
Tabela 13 - Perda de solo (Produto RKL_SCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com as diferentes condições de instalação das barreiras para ano médio.	57
Tabela 14 - Perda de solo (Produto RKL_SCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com as diferentes condições de instalação das barreiras para ano excepcional.	58
Tabela 15 - Perda de solo (Produto RKL_SCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com a ressementeira e as diferentes condições de instalação das barreiras para ano médio.	65
Tabela 16 - Perda de solo (Produto RKL_SCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com a ressementeira e as diferentes condições de instalação das barreiras para ano excepcional.	66



Capítulo I

Introdução

A erosão, causa importante do empobrecimento vertiginoso das terras, é um processo por qual as partículas constituintes do solo são arrastadas principalmente pela ação do vento ou da água (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Para Zachar (1982), agentes erosivos são água, vento, gelo, neve, plantas, animais e o ser humano.

Segundo Evelpidou & Vassilopoulos (2009), pode-se considerar a morfologia, processos marinhos, atividades tectônicas, clima e desastres naturais como fatores causadores de erosão natural. Por outro lado, os fatores humanos causadores de erosão caracterizam-se pela agricultura, abandono das terras, desmatamento, aumento populacional, urbanização, turismo entre outros.

Em fazendas que apresentam encostas muito íngremes ou vertentes alongadas, se não são aplicadas práticas de gestão adequadas para a conservação, tais como terraços nas encostas, mulching, alternância de culturas, o processo de erosão poderá ser acelerado (Xanthakis & Pavlopoulos, 2009).

As florestas, devido a sua biodiversidade e equilíbrio ecológico, exercem grande influência nos meios físico, biótico e socioeconômico, evitando a degradação do solo pela erosão, controlando a qualidade da água, fornecendo matérias-primas e alimentos, abrigando a maior parte da fauna e flora terrestre (Câmara Municipal Da Maia, 2016).

As áreas florestais estão todavia sujeitas a significativo risco de incêndio, seja pela quantidade de biomassa combustível acumulada ao longo da vida útil do povoamento, seja pela localização dessas áreas, tendencialmente afastada das povoações que condiciona a vigilância e o combate aquando da deflagração e propagação. Um incêndio florestal possui a capacidade de influenciar a estrutura e o desenvolvimento produtivo do local afetado, reduzindo os fatores ecológicos e econômicos, através da atenuação das interações ocorridas, fragmentação dos habitats, perda de variabilidade genética, fauna e flora (Guimarães et al., 2014). Segundo Ferreira et al. (2005) a maior parte dos nutrientes encontrados no solo são perdidos no primeiro mês após o incêndio, em regra através do escoamento superficial que se pode formar em solo descoberto na sequência de chuvadas erosivas. Deste modo, o controle da erosão após o incêndio é essencial para a mais rápida recuperação das áreas ardidadas suportada em medidas de conservação do solo eficazes.

Conforme Figueiredo & Fonseca (2009), a conservação do solo é um problema prático, variando de acordo com as situações encontradas em cada local, e nem sempre analisado inteiramente. Para que a prática da conservação obtenha sucesso, devem ser levados em consideração princípios básicos, onde a seleção das práticas conservacionistas deve variar de acordo com as condições do local, porém, realizada com um determinado

conjunto de princípios. Para Fox et al. (2006) para ser viável a implantação de estratégias para reduzir a degradação do solo, as ações devem ser aplicadas em locais específicos para causar o maior impacto em termos de conservação, com o menor custo possível.

O tema tratado neste trabalho, centrado na avaliação de medidas de conservação do solo aplicáveis em áreas ardidas, justifica-se assim pela importância das florestas para a conservação do solo e pela perda dessas funções consequente dos incêndios florestais, cuja recuperação carece de intervenções pós-fogo eficazes e viáveis. O aprofundamento desta temática é ainda mais justificável no Nordeste de Portugal, onde o coberto florestal é significativo e a ocorrência de incêndios florestais, persistente e atingindo vastas áreas, é uma reconhecida ameaça ao recurso solo. Aliás, constituiu o ponto de partida para o desenvolvimento do trabalho o caso do grande incêndio de Picões, (Município de Alfândega da Fé, Distrito de Bragança), em 2013, em cuja extensa área ardida foram realizadas várias intervenções pós-fogo.

O trabalho propõe-se fazer uma avaliação quantificada da eficácia de técnicas de conservação do solo no controle da erosão em áreas ardidas, centrada em medidas de baixo custo e aplicável ao Nordeste de Portugal, em especial ao Distrito de Bragança.

A metodologia de avaliação seguida inclui a construção de cenários regionais de aplicação simulada de uma seleção de medidas, mediante exploração de um modelo de erosão.

Após este capítulo introdutório, onde se explicitam os objetivos do trabalho realizado, a dissertação estrutura-se em quatro capítulos, iniciados por uma fundamentação teórica contemplando os tópicos erosão, defesa do solo contra erosão e incêndios florestais. Os capítulos descrevendo a metodológica aplicada, apresentando os resultados e a sua discussão, e as conclusões gerais do trabalho, completam o texto, que inclui ainda a lista de referências bibliográficas e anexos.



Capítulo II

Fundamentação Teórica

2.1. Erosão

De acordo com Pereira (2006), quando ocorre erosão em um ambiente com a vegetação nativa e não existe a influência de fatores antrópicos, a mesma recebe a classificação de natural ou geológica. Tal percepção depende de um período longo, pois o arrastamento das partículas do solo se manifesta de forma lenta.

Para Cunha (2003), os principais fatores dos processos erosivos resumem-se em:

- 1) Volume de água e sua distribuição no tempo e espaço, pois são determinantes da velocidade dos processos erosivos;
- 2) Cobertura vegetal, determinante da maior ou menor proteção contra o impacto e remoção de partículas de solo pela água;
- 3) Tipo de rocha/solo, que determina a suscetibilidade dos terrenos à erosão em função de suas características;
- 4) Lençol freático, pois sua profundidade é fator decisivo para o desenvolvimento de ravina;
- 5) Topografia, uma vez que maiores declives determinam maiores velocidades de escoamento das águas aumentando sua capacidade erosiva.

A erosão causada pelo vento é influenciada por elementos como clima, vegetação e solo, e será mais severa em locais com chuva escassa, ventos fortes e persistentes, carência de vegetação e solo seco, solto e com partículas finas, afetando principalmente zonas Áridas e Semiáridas. Esse processo pode ocasionar sérios danos ao solo, como a mudança de textura e das condições físicas do mesmo, onde a porção mais fina é carregada pelo vento, removendo partículas relevantes para a produtividade e a retenção de água (Bertoni & Lombardi-Neto, 1990).

A erosão causada pela água inicia-se pelo impacto da massa aquosa com o terreno, desagregando suas partículas. Esta primeira ação do impacto é complementada pela ação do escoamento superficial, a partir do acúmulo da água em volume suficiente para propiciar o arrastamento das partículas liberadas (Bertoni & Lombardi-Neto, 1990).

Conforme Lepsch (1977), ao atingir a superfície do solo, a gota da chuva pode apresentar uma velocidade de 5 a 15 km por hora e enxurradas geralmente a 1 km por hora. Essa velocidade de impacto aliada a uma área sem vegetação, pode ocasionar grandes danos ao solo, pois as partículas desagregadas pelas gotas da chuva são facilmente carregadas pelas enxurradas, resultando na erosão do local.

A erosão hídrica que apresenta maior potencial de impacto ao solo é a erosão laminar, onde é retirada gradativamente uma camada da superfície do solo. A percepção desse processo é de maior dificuldade, pois o solo permanece relativamente uniforme. Existe também a erosão em sulcos, com formas rasas ao longo do declive, e a erosão em ravinas, onde o movimento das partículas constituintes do solo é em maiores proporções. (Lepsch, 1977).

A Região Norte de Portugal, divisão administrativa de maior representação de áreas suscetíveis à desertificação, processo para o qual concorre a degradação dos solos por erosão, identificada como a principal ameaça ao recurso solo nesta região (Figura 1) (Figueiredo et al., 2014). O perigo de incêndio é aqui também elevado e a ocorrência persistente de incêndios florestais, como foi o caso do grande incêndio de Picões (ICNF, 2015), cria condições de risco severo de erosão, que as intervenções pós-fogo devem atenuar.

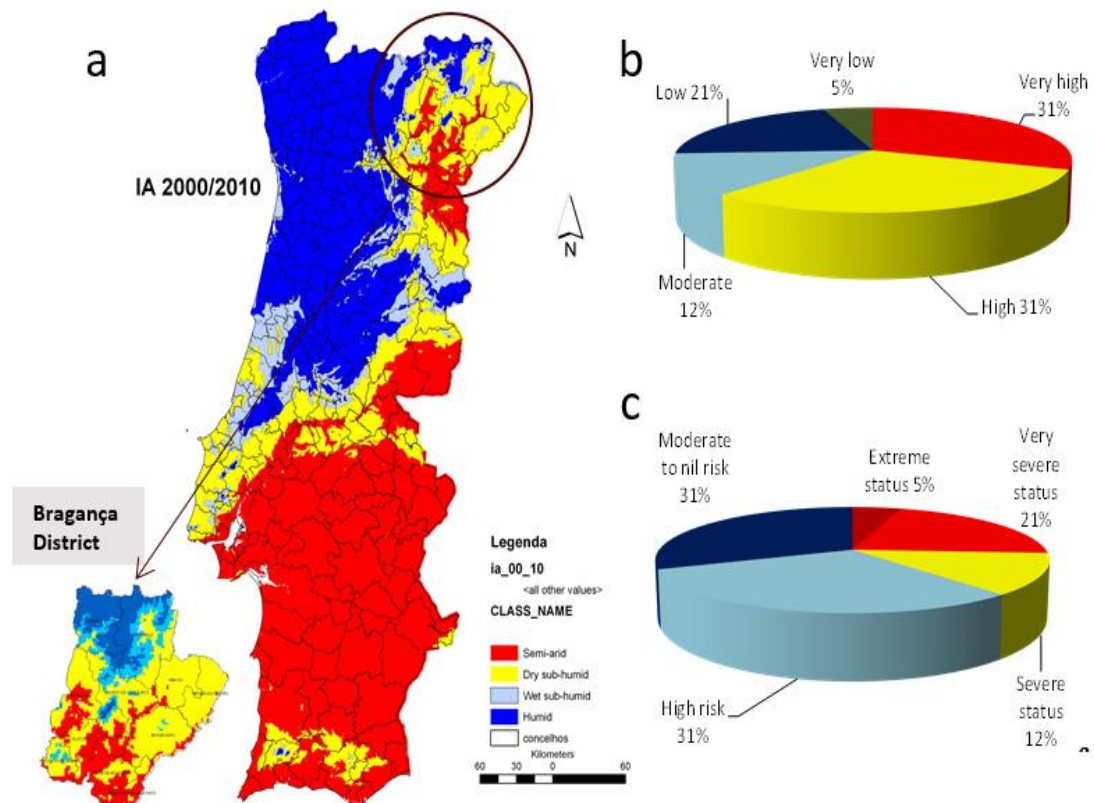


Figura 1 - Áreas suscetíveis à desertificação em Portugal: a - Índice de aridez (IA) que define a susceptibilidade à desertificação em Portugal Continental no período 2000 – 2010 (PANCD, 2011); b – Risco de incêndio para o Distrito de Bragança; c - Risco de degradação do solo (Figueiredo et al., 2014).

2.1.1. Metodologias De Avaliação Da Erosão

Pode-se citar como exemplos modelos que necessitam de uma maior gama de informações como Revised Universal Soil Loss Equation 2 - RUSLE2; Water Erosion Prediction Project – WEPP; e The European Soil Erosion Model – EUROSEM (Flanagan, 1995). Em contrapartida, existe modelo representativo, que necessita de uma quantidade menor de informações sobre a área, como Universal Soil Loss Equation – USLE, desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978) para prever as perdas de solo média a longo prazo com escoamento superficial em áreas com sistemas de cultivo e de gestão especificadas. Devido a imprevisíveis eventos que podem ocorrer em um pequeno período, essa equação é substancialmente menos precisa em eventos específicos do que para a previsão de perda a longo prazo.

2.2. Defesa Do Solo Contra Erosão

O uso indevido da terra, como em áreas de recuperação florestal, e o cultivo em encostas íngremes sem que se realize a conservação pode promover a erosão drástica do solo (Xanthakis & Pavlopoulos, 2009).

Para Lepsch (1977), deve-se utilizar práticas conservacionistas em áreas de cultura para que não ocorra impactos significativos ao solo. Essas práticas dividem-se em processos de caráter edáfico, para manter ou até melhorar a fertilidade do solo, caráter vegetativo, visando a cobertura do solo em áreas com maior probabilidade à erosão, e caráter mecânico, com o intuito de preservar o solo, evitando ocorrência de erosão através da utilização de máquinas.

De acordo com o Grupo de Trabalho Técnico para as Boas Práticas Agrícolas - MADRP (2000), algumas práticas agrícolas, com o intuito de reduzir o extravio da camada do solo com maior potencial para o desenvolvimento de plantas (cultura), são:

- A distribuição das culturas, de acordo com as características encontradas no terreno, ajuda diretamente no combate à erosão. Para culturas anuais o ideal é o terreno plano ou com pouco declive. Por outro lado, para áreas com um declive acentuado, que geralmente são utilizadas para a silvopastorícia, à florestas ou à vegetação nativa, a distribuição das áreas, deve ser realizada utilizando a diagonal em relação a linha de maior declive da região em questão.

- A rotação de cultura, se realizada corretamente, pode influenciar em uma melhor fertilidade para o solo, e se aplicada de acordo com o clima ao longo do ano, pode oferecer grande ajuda ao combate a erosão do terreno, como recobrir grande parte do solo durante o período de chuvas.

- Movimentar o solo apenas quando comprovada a necessidade do processo. A mobilização será menor em áreas regulares, sempre obedecendo as curvas de nível.

- Maior atenção no cultivo em terrenos com declive acentuado, pois apresentam maior sensibilidade a erosão, destinando-a atividades como a pastorícia extensiva ou florestas.

- Moldar a técnica de irrigação as condições encontradas na área é essencial para evitar o escoamento superficial e o carregamento de sedimentos. Para que isso não ocorra, deve ser realizado um dimensionamento levando em conta a topografia, o solo, o clima, a cultura e a área.

- Evitar a utilização de maquinários pesados em áreas com solos húmidos e o sobrepastoreio com o intuito de evitar a compactação do solo.

2.3. Incêndios Florestais

2.3.1. Importância

Conforme o Relatório da Comissão Eventual para os Incêndios Florestais, Portugal (2004), a área florestal possui uma grande importância para o meio físico, biótico e socioeconômico do país. Quando analisado no setor econômico, a mesma representa 4% do PIB nacional, gerando aproximadamente 160 mil postos de trabalhos, evidenciando tal importância.

A composição da área florestal influencia diretamente nas interações do ecossistema, pois pode diminuir ou até evitar a erosão do solo, produzir matéria orgânica fornecendo nutrientes e proteção ao solo, regular o fluxo de água nos rios, e influenciar no clima local (Portugal, 2004).

De acordo com Freire et al. (2002), os incêndios florestais geralmente estão relacionados a um conjunto de fatores encontrados na área afetada, onde o mesmo pode ser originado através de elementos naturais ou humanos. Para Miranda (1998), a

dimensão dos incêndios florestais está ligada ao tipo de combustível, considerando a humidade e densidade, e a direção do vento.

O combustível pode ser associado a qualquer tipo de biomassa que será consumida durante o incêndio, influenciando no comportamento do fogo através de suas características, onde os materiais finos influenciam a propagação e a dinâmica da chama, pois quando secos, queimam com maior facilidade. Por outro lado, a humidade do combustível é um fator determinante no poder e no comportamento de um incêndio (Fernandes et al., 2002).

Após um incêndio, a probabilidade de que ocorra erosão no solo em questão é alta, onde a terra fica exposta a fenômenos naturais, podendo formar uma camada impermeável, evitando a infiltração da água, ocasionado o carregamento de constituintes do solo (Ferreira et al., 2005).

2.3.2. Situação Em Portugal

De acordo com Pereira et al. (2006), em seu trabalho denominado “Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal”, a área consumida pelos incêndios durante o período de um ano no país, é em média 100000 hectares. Segundo o 7º Relatório de incêndios Florestais realizado pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF (2015), no período de 01 de Janeiro a 15 de Outubro de 2015, a área total ardida no país foi de aproximadamente 62401 hectares (Figura 2), correspondendo à 3288 ocorrências de incêndios florestais e 12802 fogachos no território nacional (Figura 3). Se comparado com valores referentes aos últimos anos, de 2005 à 2014, houve um decréscimo de 18% no número de ocorrências e 38% na média de área queimada por ano (Figura 4).

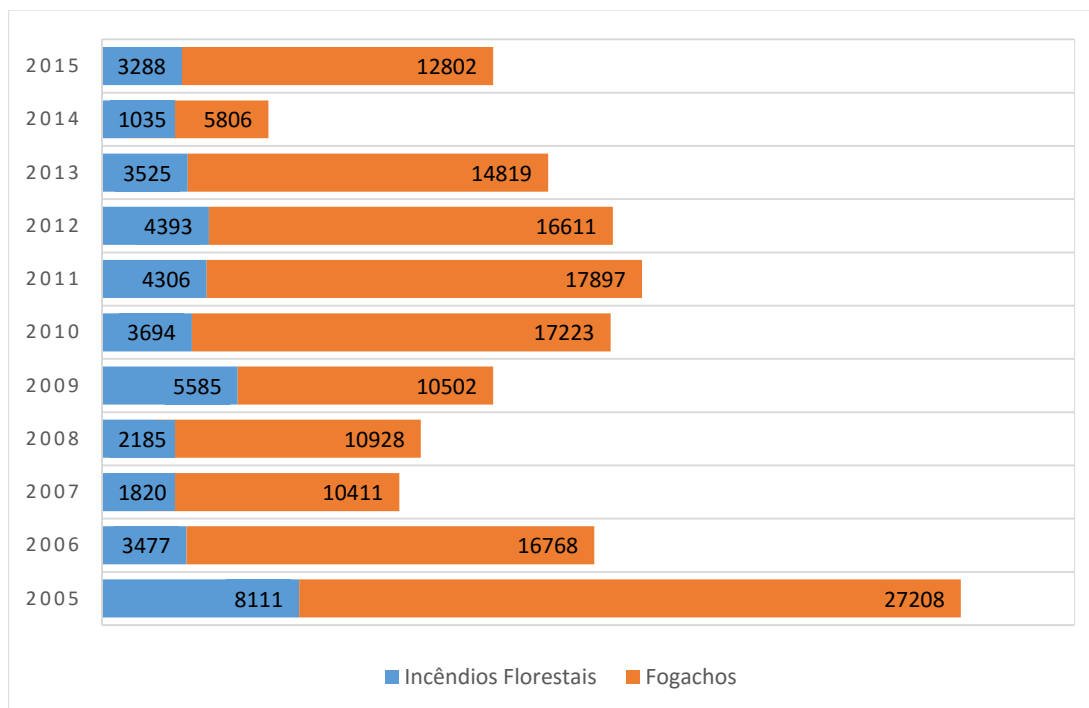


Figura 3 - Número de ocorrências de incêndios florestais e fogachos em Portugal Continental, por ano, entre 01 de Janeiro e 15 de Outubro (Dados provisórios constantes na base de dados do SGIF no dia 16 de Outubro de 2015) (adaptado: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF, 2015)

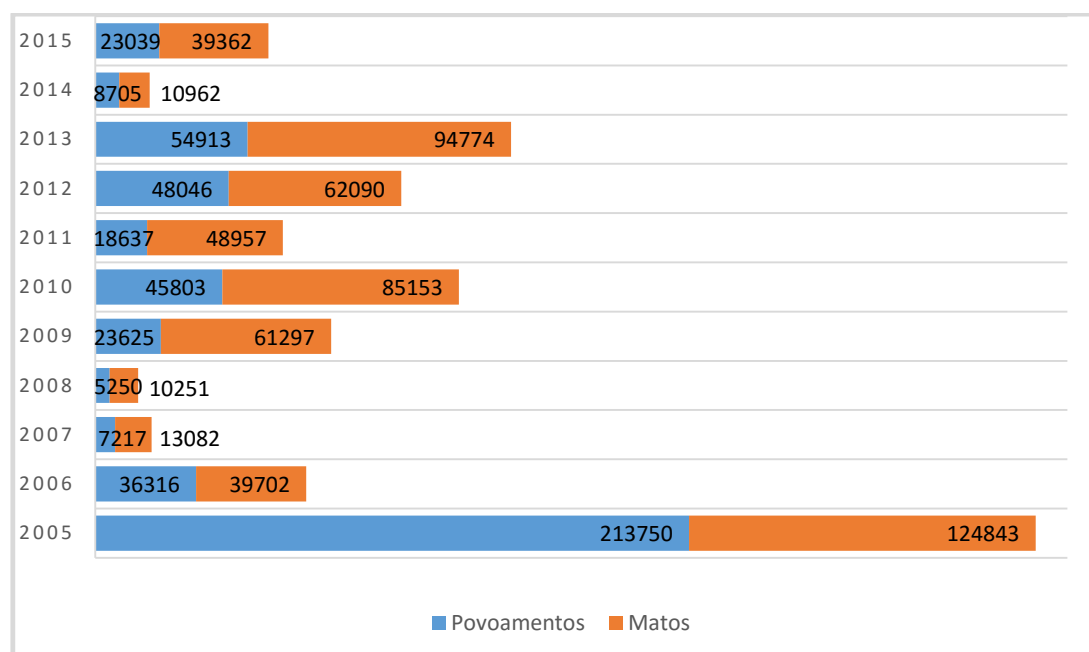


Figura 4 - Número de área ardida em povoamentos e matos em Portugal Continental, por ano, entre 2005 e 2015 (Dados provisórios constantes na base de dados do SGIF no dia 16 de outubro de 2015) (adaptado: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF, 2015).

O ICNF, ciente dos impactos negativos que os incêndios podem ocasionar, aprovou o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI) através da Resolução do Conselho de Ministros nº 65/2006, de 26 de Maio (ICNF, 2006).

De acordo com o ICNF (2006), para que o objetivo do plano seja atingido, é necessário a atuação em cinco ramos, sendo eles:

- Aumento da resiliência do território aos incêndios florestais;
- Redução da incidência dos incêndios;
- Melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios;
- Recuperação e reabilitação dos ecossistemas;
- Adaptação de uma estrutura orgânica funcional e eficaz;

2.3.3. Impactos

Segundo Fernandes & Freitas (2011), pode-se resumir os problemas em taludes e encostas ocasionados pela degradação pela erosão em dois fatores específicos, erosão superficial e movimento de massas (Figura 5).

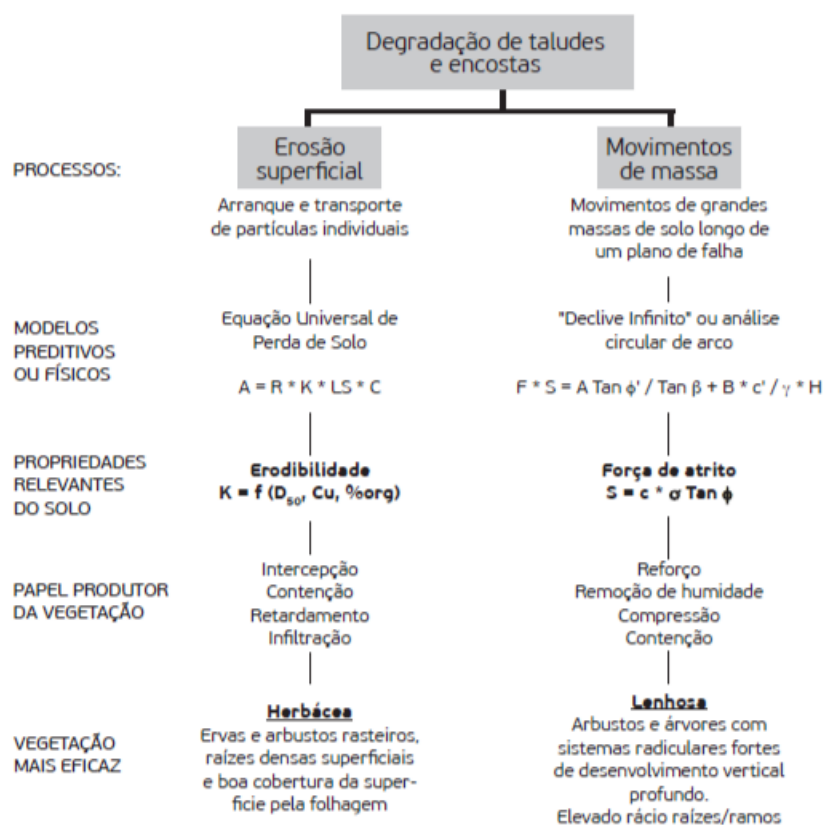


Figura 5 – Factores de degradação de taludes e encostas e efeito protector e correctivo da vegetação (Coppin & Richards, 1990 citado por Fernandes & Freitas, 2011).

Conforme Coelho & Valente (2015), dentre os fatores causadores de impactos negativos no solo, como a degradação, em Portugal os incêndios encontram-se entre os

principais. Para Shakesby & Doerr (2006) os incêndios representam um de uma série de distúrbios em florestas que podem aumentar significativamente as perdas de solo e de fertilidade. Conforme Martins & Pedrosa (2013), é necessário a compreensão das características do solo ardido, levando em conta o uso e ocupação da área em questão, juntamente com a probabilidade de risco de erosão no local.

Segundo Guimarães et al. (2014), um fator mais importante que a magnitude de um incêndio é a significância do mesmo sobre as diferentes áreas da sociedade, que vai ajudar na escolha de técnicas a serem utilizadas com o intuito de reduzir os impactos sobre a área afetada.

Em Portugal, um dos maiores impactos negativos ocorridos todos os anos são os incêndios florestais, onde, geralmente ocorridos em meses com maiores temperaturas, devastam grandes áreas, o incêndio de Tavira - São Brás de Alportel é um exemplo, ocorrido em 2012, abrangeu uma área de aproximadamente 24843 ha, oferecendo riscos aos residentes próximos ao local. (Baptista et al., 2012).

Ainda segundo Baptista et al. (2012), devido ao impacto da gota da chuva e do aumento da taxa de escoamento em uma área ardida, qualquer incêndio florestal é um facilitador à erosão. Para Cerda & Lasanta (2005), após o incêndio florestal, em Portugal, além do aumento da vulnerabilidade do solo quanto ao risco de erosão, ocorre a perda de fertilidade do mesmo, já que os nutrientes existentes encontra-se, geralmente, na camada superficial.

De acordo com Costa (1991), em áreas queimadas, que sofrem degradação através da erosão realizada principalmente pela água, observa-se com maior frequência o desenvolvimento de solos mais pedregosos ocasionados pelo arraste de sedimentos. Além de um indicador dos impactos diretos do fogo sobre as propriedades do solo, a gravidade do incêndio do solo é frequentemente utilizado como um indicador de impactos indiretos do fogo sobre a resposta hidrológica e erosão das áreas recém-queimadas (Shakesby & Doerr, 2006; Vieira, 2015).

2.3.3.1. Propriedades Físicas Do Solo

Pode-se definir as propriedades físicas do solo como textura, porosidade e densidade aparente do solo. Para Lopes (1978), o tamanho das partículas do solo influencia na textura do mesmo, ou seja, quanto menor o tamanho da partícula, mais

próximo se encontrará da textura argilosa, por outro lado, quanto maior forem as partículas, a textura estará mais próxima da arenosa. O fogo pode prejudicar agentes do solo, como substâncias húmicas que associadas a argila presente no solo pode influenciar em sua estrutura, ocasionando assim a degradação do mesmo (Andreu et al.,2001; Shakesby e Doerr, 2006).

Macedo & Sardinha (1993) descrevem a porosidade do solo como a quantidade relacionado ao seu volume, que não apresenta nenhum tipo de partícula sólida. Segundo Leite (2011), o fogo aumenta a quantidade de microporos encontrada, porém não possui uma grande influência na porosidade, devido não afetar as camadas com maior profundidade do solo, mantendo a sua taxa de permeabilidade nessa região.

Segundo Costa (1991), a densidade aparente do solo pode ser definida entre uma razão da massa recorrente a parte sólida, de um determinado volume, e pela massa de água contida no mesmo volume. Para Savadogo et al. (2007), a densidade aparente do solo aumenta após um incêndio devido a diminuição da taxa de infiltração de água quando comparado à áreas não queimadas.

2.3.3.2. Matéria Orgânica Do Solo, Carbono E Azoto

Conforme Fernandes et al. (2009), a matéria orgânica presente no solo pode ser encontrada com resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição associados a uma biomassa microbiana. A mesma ocasiona benefícios ao solo em que se encontra, proporciona aumento na retenção de água, evita drásticas variações no pH, diminui perda de solo, nutrientes e propicia a agregação do solo. Batista et al. (2004) descreve que o fogo pode liberar óxidos e deixar presentes carbonatos contidos na matéria orgânica, propiciando o controle da acidez do solo.

Ainda segundo Fernandes et al. (2009), o azoto (N), em sua maioria, é encontrado na camada orgânica do solo, assim podendo haver uma grande perda do mesmo com ocorrência de incêndio.

Costa (1991) demonstra que a razão C/N é obtida através da divisão da quantidade de carbono orgânico presente no solo pela quantidade total de azoto encontrada no mesmo solo, razão que aumenta quando se trata de solos onde ocorreram incêndios.

2.3.3.3. Propriedades Químicas Do Solo

Fernandes et al. (2009), demonstra que o fósforo, um dos nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal, encontra-se em pequenas quantidades na forma orgânica comparado à outros nutrientes, podendo ser encontrado, de acordo com o pH do solo, em diferentes formas. Após um incêndio, o fósforo pode ser encontrado nas cinzas, podendo ser assimilado, porém pode ser arrastado pelas diferentes formas de erosão.

O comportamento do potássio é parecido ao do fósforo, ou seja, o potássio em sua maioria é encontrado sob a forma mineral, sofrendo alterações com o fogo e permanecendo nas cinzas (Alauzis et al., 2004; Brais et al., 2000).

2.3.4. Recuperação De Áreas Ardidas

Conforme Bento-Gonçalves et al. (2013), “ *a maioria dos tratamentos pós-fogo são muito caros e não são adequados para aplicações em grandes áreas ardidas. A sua justificação só pode ser suportada quando um recurso de elevado valor está em risco ou vidas humanas ou infraestruturas*”.

Após um incêndio, a primeira etapa a ser realizada para ajudar na recuperação da área ardida é reunir o máximo possível de informações disponíveis sobre o local que sofreu a queimada, ajudando assim em decisões posteriores. Deve-se realizar uma estimativa das áreas com maior vulnerabilidade e desenvolver uma avaliação dos impactos perante outros recursos, como a flora presente na área. (Vega et al., 2013).

Ferreira et al. (2005) define três medidas para ajudar na prevenção à erosão em áreas ardidas, sendo respectivamente:

- 1) Criação barreiras com o intuito de reduzir a taxa de escoamento da água no local, permitindo a infiltração da água no solo e evitando a perda de sedimentos;
- 2) Aplicação de resíduos orgânicos para diminuir a exposição do solo quanto ao impacto ocasionado pela chuva;
- 3) Criação da oportunidade de infiltração em superfícies repelentes à água, ajudando também na acumulação das cinzas.

Para Vega et al. (2013) os tipos de tratamentos para zonas ardidas dividem-se em duas classes principais, tratamento em encostas e tratamentos em talvegues (Tabela 1), sempre com o objetivo de reduzir e prevenir a erosão na área afetada.

Tabela 1 – Principais tipos de tratamentos de estabilização do solo pós-incêndio

Classe de Tratamento	Tratamento	Vantagens
Tratamento em Encostas	Sementeira	Forma de aplicação: manual, hidrosementeira
	Mulching	Materiais: palha, resíduos florestais; Forma de Aplicação: manual, aérea
	Hidromulching	Forma de aplicação: desde terra ou ar
	Poliacrilamidas (PAM)	Composição
	Barreiras	Materiais: troncos, materiais vegetais
	Banquetas e Alarras	
	Mulching + Sementeira	
Tratamento em Talvegues	Barreiras transversais temporárias em canais efêmeros	Composição: fardos de palha, troncos, pedras
	Estabilização do Leito	Composição: troncos, rochas, madeira
	Desviadores de fluxo e obras de manutenção de drenagem	Tipos de performance

Fonte: adaptado de Vega et al., 2013

2.3.4.1. Sementeira

Durante muito tempo, a técnica mais utilizada para a cobertura do solo queimado é a sementeira, sua taxa de eficiência é maior quando associado a outras técnicas de recuperação, pois se aplicada somente essa técnica, as sementes ficam sujeitas ao carregamento superficial ocasionado pela erosão (Freitas, 2008). Visualizando acelerar a germinação promovendo o crescimento de mudas, pode ser viável a utilização de tratamentos com o intuito de quebrar a dormência das sementes, visto que o objetivo é fornecer proteção ao solo exposto (Ferreira, 2008).

De acordo com Bandeira et al. (2003) as gramíneas são amplamente utilizadas em processos de recuperação ambiental, devido suas características fisiológicas e morfológicas, que promovem a rápida formação de cobertura vegetal. De acordo com Pereira (2006), em seu trabalho “Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle da erosão”, na primeira fase de recuperação da área, pode ser realizado o consórcio entre sementes de gramíneas e plantas leguminosas que fixam nitrogênio e ajudam no desenvolvimento das plantas (Figura 6).



Figura 6 - Sementeira realizada junto à Estação de Fátima (Vale dos Ovos, Tomar) após à modelação do terreno para segurança do talude (Freitas, 2008).

2.3.4.2. Mulching

Para Vega et al. (2013) Esta técnica visa cobrir a área exposta a precipitação, com o intuito de reduzir a ação da erosão. Para isso são utilizados diversos tipos de materiais vegetais, geralmente agrícolas, como resíduos de culturas de trigo, cevada e arroz, utilizando também materiais de origem florestal, como folhas, ramos, troncos de árvores entre outros (Figura 7). Esta técnica traz benefícios a área que sofreu queimada, diminuindo a quantidade de água que atinge diretamente o solo, diminuindo a degradação ocasionada pelo impacto da gota da chuva, e limitando a taxa de escoamento de água no solo (Smets et al., 2008).



Figura 7 - aplicação de restos vegetais de acordo com a técnica Mulching (WOCAT, 2015).

2.3.4.3. Hydromulch

Uma variante de mulching é o de hydromulch (Figura 8), que se refere à aplicação de uma mistura à base de água de fibras orgânicas, sementes, nutrientes, agentes de ligação do solo e corante verde (Cortizo, 2013). Sua aplicação pode ser pelo ar ou diretamente ao solo, formando uma camada sobre o mesmo (Vega et al., 2013). Em áreas áridas, a aplicação exige cuidadosa seleção de espécies que estão adaptadas ao ambiente de destino, para garantir uma cobertura adequada e evitar que as espécies introduzidas comportem-se como invasoras (Kruse et al., 2004).



Figura 8 - Aplicação da técnica hydromulch em uma encosta com o intuito de combater efeitos erosivos no local (Miguez, 2014).

2.3.4.4. Poliacrilamidas

As poliacrilamidas quando aplicadas ao solo, agem como fortalecedor, conservando as características do solo, usa-se como um condicionador do solo em culturas agrícolas e para controle de escoamento e erosão (Ben-Hur, 2006). Para Vega et al. (2013) uma vantagem desta técnica é o baixo custo comparado a outros métodos. Estes incluem uma vasta gama de produtos químicos orgânicos, copolímeros de acrilamida, de cadeia simples ou composta, incorporando sais inorgânicos e outros compostos (Figura 9).



Figura 9 - Restauração da vegetação após incêndio pela adição de poliacrilamida ao solo (Correia, 2012).

2.3.4.5 Barreiras

Segundo Vega et al. (2013) esta técnica tem como intuito formar uma barreira para a evitar os efeitos erosivos na camada superior do solo. Geralmente é uma técnica eficaz em encostas íngremes e áreas recentemente queimadas. Sua construção resume-se em estacas, de madeira ou ferro, presas ao solo, troncos de árvores dispostos de forma horizontal com pedras, terra e galhos para reter os sedimentos (Figura 10).



Figura 10 - Técnica de estabilização utilizada no controle à erosão denominada barreiras (Miguez, 2014).

2.3.4.6. Banquetas E Albarras

Segundo Robichaud et al. (2000), esta técnica consiste na utilização de pedras dispostas para formação de degraus com o objetivo de intervir no arraste de sedimentos ocasionado pela água evitando assim a erosão do solo (Figura 11). Geralmente esta técnica é implantada junto a outros métodos, como a sementeira para potencializar sua eficiência.



Figura 11 - Estrutura de pedra usada para construção de diques com o intuito de conter erosão (Miguez, 2014.)



Capítulo III

Material e Métodos

3.1. Metodologia E Área De Aplicação

Com o intuito de avaliar a eficácia das medidas selecionadas para a conservação do solo para áreas recém-ardidas na Região NE de Portugal, consideraram-se os elementos representativos das condições edafoclimáticas regionais comuns de ocorrência de incêndios florestais, que se tomaram como cenários de implementação dessas medidas. Para cada cenário, consideraram-se os elementos caracterizadores das condições potenciais de erosão (clima, solo e topografia), sobre as quais foi simulada a aplicação das medidas de intervenção pós-fogo. Através de modelo de estimativa da erosão definido como Equação Universal de Perda de Solo – USLE, descrito na seção 2.1.1, realizou-se a avaliação da eficácia das medidas adotadas de acordo com as condições regionais anteriormente definidas como cenários de simulação. Tomou-se o Distrito de Bragança como área de aplicação da metodologia indicada.

A Equação Universal de Perda de Solo segundo os respectivos autores é:

$$A = R K L S C P$$

De tal maneira que:

A – Perda de solo em uma determinada área de acordo com as características dos fatores integrantes da equação, retratada pelo peso de solo degradado pela área do local em questão.

R - Fator Erosividade, relacionado com a precipitação e o escoamento, expressa em unidades de índice de erosão ocasionada pela precipitação.

K - Fator de Erodibilidade, é a taxa de perda de solo por unidade de índice de erosão, para um solo especificado.

L - Fator Comprimento da Encosta é a relação entre a perda de solo nas características locais de comprimento da encosta (ou do escoamento) e a da condição de referência.

S - Fator de Declive, é a relação entre a perda de solo nas condições locais de inclinação do terreno e a da condição de referência.

C – Fator Cultural, é a relação entre a perda de solo nas condições locais de coberto vegetal e sua gestão ao longo do tempo e a da condição de referência.

P – Fator Prática Conservacionista, é a razão da perda de solo com a aplicação de uma prática de conservação do solo como mobilização segundo as curvas de nível, cultivo em faixas ou terraços, e a da condição de referência.

É condição de referência da USLE, para a qual os fatores indicados assumem o valor de 1, uma parcela de terreno cultivado, com 9 % de declive (S) e 22 m de comprimento de encosta (L), mantida com o solo nu (C) mediante mobilizações segundo o maior declive (P).

3.1.1. Aplicação Do Modelo

Para o cálculo da perda de solo média anual em uma área (A), é necessário a obtenção de seis fatores principais. Para isso, Wischmeier & Smith (1978) indicam os procedimentos a seguir, que correspondem à utilização de formulários, tabelas ou ábacos. Todavia, por falta da informação necessária, em regra muito detalhada, estes procedimentos de base nem sempre são adotados, pelo que se recorre a procedimentos alternativos, baseados em informação menos detalhada e mais disponível. Estes procedimentos alternativos, precisam de ser calibrados com os procedimentos originais, e normalmente têm validade local ou regional e não generalizada.

Neste trabalho foram seguidos em alguns fatores os procedimentos de estimativa originais, quando aplicáveis, e procedimentos alternativos, devidamente referenciados, nos restantes casos.

3.1.1.1. Fator Erosividade (R)

A estimativa da influência das precipitações na erosão do solo foi obtida através da seguinte expressão (Figueiredo, 2015):

$$\mathbf{R = 3,0292 P^{0,852}}$$

Onde:

R- Fator erosividade ($MJ ha^{-1} mm h^{-1}$);

P – Precipitação (mm, valores médios anuais para a área em questão).

Esta expressão, aplicável ao NE de Portugal, basea-se em Figueiredo & Gonçalves (1990) e Figueiredo (2001). Para realizar a estimativa da Erosividade (R) à escala da zona

climática nesta Região, pode-se adotar um fator de estimativa variável de acordo com a classe de precipitação (Tabela 2), resultando na equação (Figueiredo, 2015):

$$R = P f$$

Onde:

R - Fator erosividade; ($MJ ha^{-1} mm h^{-1}$);

P - Precipitação (mm, valores médios anuais para a área em questão);

f - Fator de estimativa da Erosividade.

Tabela 2 - Fator de estimativa da erosividade de acordo com a classe de precipitação (adaptado de Figueiredo, 2015) .

Classe de Precipitação Média Anual (P, mm)	Fator de Estimativa (f)
< 600	1,22
600-800	1,16
800-1000	1,11
1000-1200	1,08
1200-1400	1,05
> 1400	1,03

3.1.1.2. Fator Erodibilidade (K)

O fator Erodibilidade (K) foi estimado de acordo com o procedimento original (Wischmeier & Smith, 1978) através da seguinte equação:

$$100 K = [2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)] 0,1316$$

$$M = (\% \text{ Limo} + \text{Areia Muito Fina}) (100 - \% \text{ Argila})$$

Onde:

K - Fator de Erodibilidade [$ton.ha^{-1}.(MJ ha^{-1} mm h^{-1})$];

a - % Matéria Orgânica, adotando-se como valor máximo de 4% para teores superiores;

b - Código da Estrutura;

c - Código de Permeabilidade.

Argila, Limo e Areia Muito Fina – definidas de acordo com a escala granulométrica USDA.

Para obtenção de estimativas no Sistema Internacional de unidades, a expressão acima é multiplicada pelo fator 0,1316.

O código da estrutura segue a seguinte classificação (Figueiredo, 1990, adaptando o original de Wischmeier & Smith, 1978):

- 1- Agregações granulosa e grumosa muito fina;
- 2- Agregações granulosa e grumosa fina;
- 3- Agregações granulosa e grumosa média e granulosa grosseira;
- 4- Agregações Laminiforme, prismiforme, anisiforme e granulosa muito grosseira.

Também de acordo com Wischmeier & Smith, (1978), a codificação das classes de permeabilidade é a seguinte:

- 1- Rápida e muito rápida;
- 2- Moderadamente rápida;
- 3- Moderada;
- 4- Moderadamente Lenta;
- 5- Lenta;
- 6- Muito Lenta.

Devido a presença de elementos grosseiros no solo, é necessário uma correção no valor do fator Erodibilidade, tal como obtidos pela equação anterior. Para isso, aplicou-se a expressão abaixo, seguindo o recomendado por Wischmeier & Smith, (1978):

$$K_{eg} = K_{tf} e^{-0,035 \%EG}$$

Onde:

K_{eg} – Valor de *K* corrigido pela presença dos elementos grosseiros à superfície;

K_{tf} – Fator *K* (estimado apenas para a terra fina);

%EG – Percentagem de cobertura superficial do solo por elementos grosseiros.

3.1.1.3. Fator Declive (S)

A influência do declive em um processo erosivo pode ser estimada pela seguinte expressão (McCool et al., 1987, mais frequentemente aplicada do que a original de Wischmeier & Smith, 1978):

$$S = 16,8 \text{ sen } \theta - 0,50$$

Onde:

S – fator declive,

θ – Ângulo de inclinação da encosta (graus).

3.1.1.4. Fator Comprimento Da Encosta (L)

O efeito da extensão da encosta na erosão pode ser avaliado pela expressão (Figueiredo, 2015, reescrevendo o original de Wischmeier & Smith, 1978, indicado para declives superiores a 5%):

$$L = 0,213 \lambda^{0,5}$$

Onde:

L – Fator Comprimento da Encosta;

λ – Comprimento da encosta, em metros, da origem ao ponto final de escoamento.

3.1.1.5. Fator Cultural (C)

O cálculo do fator cultural leva em consideração diferentes elementos, sendo eles expressos na seguinte equação (Wischmeier & Smith, 1978):

$$C = CC SC = (1 - FC e^{-0,34H}) e^{-3,5RC}$$

Onde:

C - Fator Cultural;

CC – Efeito da Cultura (copas ou parte aérea);

SC – Efeito da cobertura do solo (resíduos e vegetação rasteira);

FC – Cobertura pela Cultura; em valores de 0 a 1.

H – Altura da Cultura, em metros;

RC – Cobertura por Resíduos, em valores de 0 a 1.

e – Base do logaritmo neperiano.

Devido a que as diferenças entre regiões climáticas quanto ao padrão de distribuição da erosividade das precipitações ao longo do ano se traduzem por diferente eficácia protetora do coberto vegetal, é necessário combinar os dois fatores R e C. Para tal, considera-se a variação ao longo do ano do fator C, calculado de acordo com a expressão acima, e ponderam-se esses valores com os valores de R de acordo com a sua distribuição também ao longo do ano, em regra, o ano hidrológico, do que resulta o fator C ponderado.

$$C_{\text{pond}} = \sum_{i=1}^n C_i \frac{R_i}{R}$$

Onde:

i – período do ano considerado para o qual se calculou C e se tem a fração da Erosividade anual que ocorre nesse período (R_i/R).

3.1.1.6. Fator Prática Conservacionista (P)

Para o valor do fator prática conservacionista adotou-se o valor fixo de 1, com o intuito de neutralizar o efeito do fator nas estimativas de perda de solo, visto que nas áreas de estudo neste trabalho não se aplicam as práticas apresentadas no original (Wischmeier & Smith, 1978).

3.2. Construção Dos Cenários De Simulação

3.2.1. Condições Climáticas: Índice De Aridez E Zonas Climáticas

Conforme Rosário et al. (2015), o índice de aridez, relação entre a quantidade de precipitação e a evapotranspiração de um determinado local, resume-se em seis classes (Tabela 3). Como o índice de aridez é considerado um indicador de suscetibilidade à desertificação (neste caso associada também à degradação dos solos por via do impacto dos incêndios), tomou-se este índice para efeitos da definição das condições climáticas caracterizadoras dos cenários.

Tabela 3 - Classes de índice de aridez (relação entre precipitação e evapotranspiração).

Classe de Índice de Aridez	Relação entre Precipitação e Evapotranspiração	Classes de Suscetibilidade à Desertificação
Hiperárido	< 0,05	Elevada
Árido	0,05 à 0,2	
Semiárido	0,2 à 0,5	
Subhúmido Seco	0,5 à 0,65	Moderada
Subhúmido Chuvoso	0,65 à 1,0	Nula
Húmido	> 1,0	

A distribuição geográfica regional das classes de índice de aridez demonstra-se na Figura 1. Tendo em conta esta distribuição e as classes de Suscetibilidade à Desertificação indicadas na Tabela 3, consideraram-se três categorias para representar as condições climáticas típicas encontradas na Região: Semiárido; Subhúmido Seco; Subhúmido Chuvoso e Húmido. Uma vez que, para as restantes condições caracterizadoras dos cenários (edáficas e topográficas) a base cartográfica é a Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991), para tais condições climáticas foi feita a correspondência com a classificação em zonas climáticas regionais adotada nessa Carta, baseada na temperatura e precipitação média anual (ver caixa de texto abaixo). Recordar-se que na Carta de Solos referida, para cada unidade cartográfica se indica a respectiva zona climática ou a associação de zonas climáticas. A associação de zonas climáticas adotada como representativa de cada classe de índice de aridez correspondeu à, ou às, de maior representação espacial, expressa em termos de área (Tabela 4).

Classificação climática regional adotada na Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991).

Classificação quanto a zona climática (baseada na temperatura média anual, T):

A – Terra Fria de Alta Montanha, com temperatura média ($T \leq 9^{\circ}\text{C}$);

M – Terra Fria de Montanha, com $T > 9^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 10^{\circ}\text{C}$;

F – Terra Fria de Planalto, com $T > 10^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$;

T – Terra de Transição, com $T > 12,5^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 14^{\circ}\text{C}$;

Q – Terra Quente, com $T \geq 14^{\circ}\text{C}$.

Classificação quanto a precipitação média anual:

1 – Zonas com precipitação superior a 1200 mm;

2 – Zonas com precipitação entre 1000 e 1200 mm;

3 – Zonas com precipitação entre 800 e 1000 mm;

4 – Zonas com precipitação entre 600 e 800 mm;

5 – Zonas com precipitação abaixo de 600 mm.

Exemplo de classificação: T4 – local com terra de transição com temperatura superior à $12,5^{\circ}\text{C}$ e inferior à 14°C e precipitação entre 600 e 800 mm.

Tabela 4 - Correspondência entre classes de índice de aridez e zonas climáticas da carta de solos do ne de portugal, para o distrito de bragança.

Classes de Índice de Aridez (IA)	Área no Distrito de Bragança, ha (%)	Associações de Zonas Climáticas na Carta de Solos (ZC)	ZC Representativa Adotada	Área da ZC adotada na classe IA, ha (%)
Semiárido	128120,6 (19,74)	Q5, Q4 Q5, Q4 Q5 (Q3), Q4 Q5 T5, Q5 Q4 T4, Q5 T5, T5 Q5	Q5	101364,16 (83,35)
Subúmido Seco	344386,54 (53,05)	F4, F4 F3, F4 F5, Q4, Q4 Q3, Q4 T4, T2 T3 Q2, T2 T3 T4, T3, T3 F3, T3 T2 Q2, T3 T4, T3 T4 Q4, T4, T4 F3, T4 Q4, T4 T5, T4 T5 Q3, T4 T5 Q4, T4 T5 T3, T5	T4 e F4	201941,90 (59,75)
Subhúmido Chuvoso e Húmido	176692,22 (27,22)	F1, F2, F2 F1 F3, F2 F3, F3, F3 F2, F3 T3, M1, M1 A1	F2	89086,96 (44,67)

3.2.2. Condições Edáficas: Unidades De Solo Dominante

Para cada categoria de condições climáticas, definidas de acordo com a classe de índice de aridez e as correspondentes zonas climáticas predominantes, identificaram-se as unidades cartográficas dos solos, representado pelas unidades solo dominantes, tal como definido na Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991) (ver caixa de texto abaixo). Seleccionaram-se as unidades solo dominantes a considerar nos cenários em cada categoria de condições climáticas, calculando a área ocupada por cada uma delas, tendo em conta a sua proporção nas unidades cartográficas e utilizando a base de dados SIG da Carta de Solos do NE de Portugal (Figueiredo et al., 2004). Foi seleccionado o conjunto das mais representadas, com área agregada excedendo 50% da superfície da respectiva categoria de condição climática. Uma vez que em duas destas (Subhúmido seco, e Subhúmido chuvoso e Húmido) se repetiram unidades solo entre as mais representadas (Itox e Idbx), consideraram-se ainda mais duas unidades cartográficas suplementares nesses dois casos. A cada uma das unidades solo corresponde uma classe de pedregosidade, de acordo com Figueiredo (2001) e Figueiredo (2013) (Tabela 5).

Classificação das unidades pedológicas seleccionadas para os cenários (Agroconsultores e Coba, 1991, seguindo a legenda FAO/UNESCO, 1987):

Ieox – Leptossolo êutrico órticos de xistos e rochas afins;
Itox – Leptossolo dístrico órticos de xistos e rochas afins;
Idbx – Leptossolo dístrico câmbicos de xistos e rochas afins;
Idog – Leptossolo dístrico órticos de granitos e rochas afins;
Iug – Leptossolo úmbrico de granitos e rochas afins;
Iux – Leptossolo úmbrico de xistos e rochas afins;
Iub – Leptossolo úmbrico de rochas básicas.

Tabela 5 - Unidades solo dominantes por Classe de índice de aridez.

Classe de Índice de Aridez	Unidade Solo	Área (ha)	Área na Classe IA (%)
Semiárido	Ieox	64981,07	53,43
Subhúmido Seco	Idox	125376,98	41,64
	Idbx	42659,12	14,17
	Idog	33853,59	11,24
	Iug	17288,4	5,74
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Idox	55333,71	39,17
	Iux	18891,23	13,37
	Idbx	16919,65	11,98
	Iub	7454,43	5,28

3.2.3. Condições Topográficas: Classe De Declive

A Carta dos Solos do NE de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991) define classes de declive e associa a cada unidade cartográfica uma ou um conjunto de classes que representam as condições topográficas dominantes nessas unidades. Para a construção dos cenários de simulação, foi definida de declive dominante em cada categoria de condições climáticas, considerando dois critérios: maior representatividade singular de cada classe (em área) e representação agregada superior a 50% da área da respetiva classe de índice de aridez (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de declive adotadas para cada classe de índice de aridez e sua representatividade.

Classe de Índice de Aridez	Classe de Declive adotada (Intervalo de Declives, %)	Área (ha)	Área na Classe IA (%)
Semiárido	25-30 e 45-50	27932,08	46,76
	> 45-50	19006,15	31,82
Subhúmido Seco	25-30 e 45-50	38335,15	31,35
	12-15 e 25-30	34416,77	28,15
Subhúmido Chuvoso e Húmido	12-15 e 25-30	56198,65	58,96

3.3. Simulação

Com os cenários de base estabelecidos (Anexo 1), calcularam-se os fatores da USLE a atribuir em cada caso, seguindo os procedimentos explicitados acima, obtendo-se os valores dos fatores R, K e S para cada um dos elementos caracterizadores dos

cenários de base: fator Erosividade baseado no valor médio de precipitação na zona climática; fator Erodibilidade a partir dos dados da terra fina do perfil tipo das unidades solo dominantes e do valor médio da percentagem de elementos grosseiros da respectiva classe de pedregosidade; fator Declive baseado no valor médio das classes de declive. O produto destes fatores entendeu-se representar a perda de solo potencial em cada cenário.

As simulações correspondem à implementação de sementeiras com misturas de sementes, à instalação de barreiras segundo as curvas de nível, e a sua combinação. Sob a designação de barreiras incluem-se tanto as barreiras de resíduos da vegetação arbustiva encontrada no terreno a pós o como os sulcos ou “regos” abertos no terreno, uma vez que em ambos os casos se trata de considerar a interrupção do escoamento e transporte de solo destacado ao longo da encosta, com grau variável de retenção nessas estruturas.

Os fatores da USLE a serem simulados são o fator cultural (C) e o fator comprimento da encosta (L), associados a cada medida de intervenção pós-fogo, cuja eficácia se pretende avaliar, comparando as perdas de solo estimadas com as potenciais para cada cenário.

3.3.1. Fator C

Para o cálculo do fator C, assumiu-se apenas o efeito das “copas” (biomassa aérea), uma vez que se trata de vegetação herbácea de baixo porte e ocupação esparsa do terreno, face às condições edáficas e topográficas desfavoráveis que em regra caracterizam as áreas áridas. Para a cobertura pela cultura, utilizou-se o a curva de crescimento de pastagens de acordo com Moreira (2002) de sequeiro mediterrânico para anos e/ou regiões mais secas, de sequeiro mediterrânico para anos e/ou regiões de maior precipitação e de pastagens de montanha para o Semiárido, Subhúmido Seco e Subhúmido Chuvoso e Húmido, respectivamente (Figura 12).

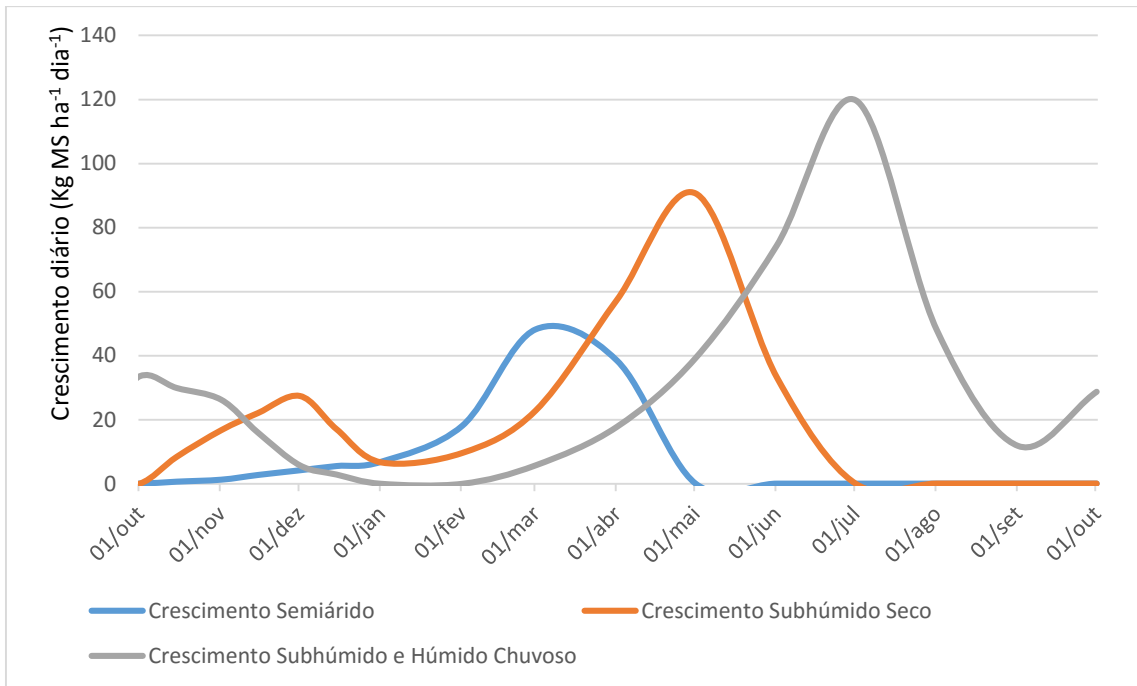


Figura 12 - Curvas de produção anual de matéria seca de pastagens adotadas para cada classe de índice de aridez (adaptado de Moreira, 2002).

A partir do crescimento diário de matéria seca, é possível obter o grau de cobertura do solo em dois passos. O primeiro corresponde à obtenção das curvas de valores acumulados de matéria seca produzida ao longo do ano (Figura 13).

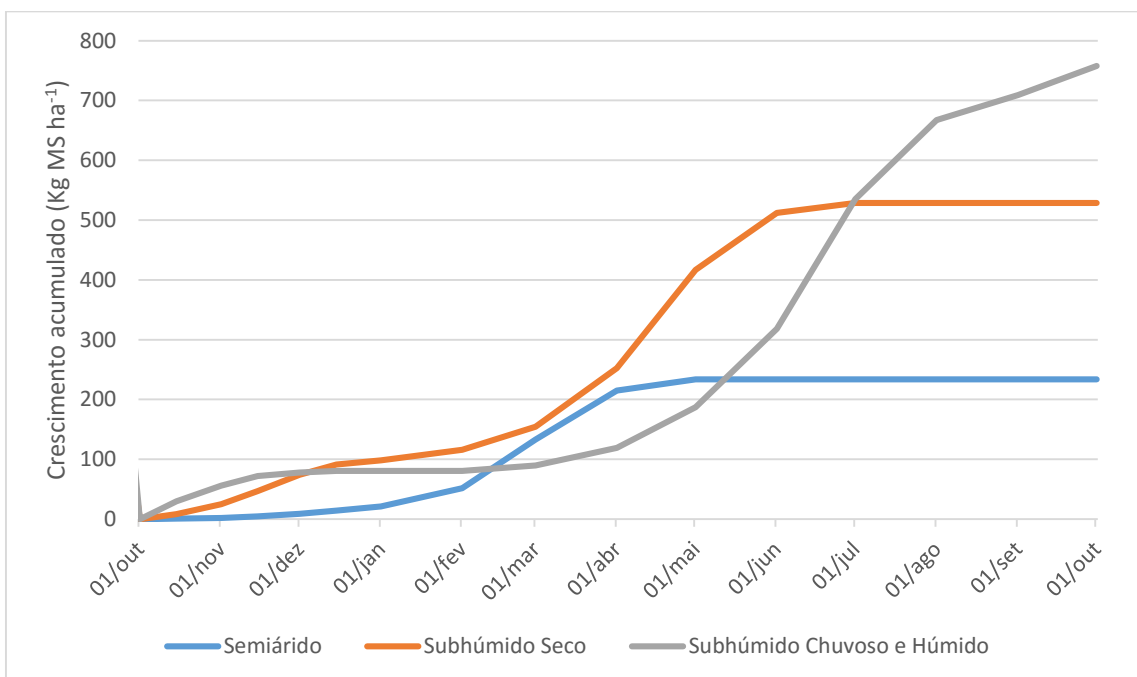


Figura 13 - Curva do crescimento acumulado de pastagens por classe de índice de aridez adotado.

O segundo passo baseia-se na conversão da matéria seca em grau de cobertura pela erva semeada. Para isso, recorreu-se à Prabhakara et al. (2015), que apresentam a relação entre os dois parâmetros para várias espécies, tendo sido selecionada, para efeitos da construção dos cenários, o Azevém (Rye Grass), por se tratar de uma gramínea presente nas misturas de sementes aplicadas em recuperação de áreas ardidadas, que tende a ser dominante aquando da plena instalação do coberto vegetal herbáceo nessas áreas. Aos dados apresentados para esta espécie, foi ajustada a seguinte função:

$$y = B \left(\frac{A}{A + x} \right)$$

Onde:

y – Grau de Cobertura, expresso em %;

A – Valor fixo (539,47) obtido por regressão;

B – Valor fixo (105,26) obtido por regressão;

x – Crescimento de matéria seca, expresso em Kg MS há⁻¹ dia⁻¹.

Os valores de crescimento acumulado de matéria seca para cada zona climática, com base quinzenal, foram convertidos em percentagem de cobertura do solo (Figura 14):

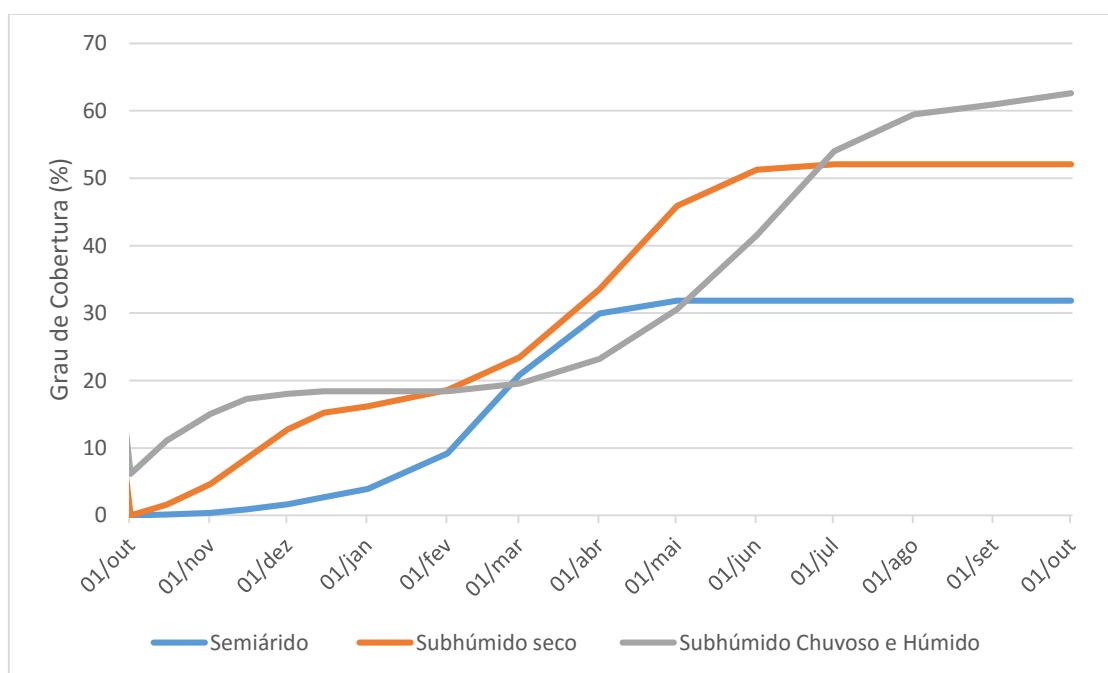


Figura 14 – Evolução ao longo do ano do grau de cobertura (%) da vegetação herbácea semeada por classe de índice de aridez.

Para a região em questão e tendo em conta as condições edafoclimáticas pouco favoráveis em que se realiza a sementeira, definiu-se o valor de 20 cm como o máximo de altura da vegetação, atingido no pico de crescimento e parte subsequente do ano (Jaime Pires, comunicação pessoal, Maio 2016). Os valores deste parâmetro foram obtidos com base quinzenal por interpolação linear desde a sementeira, no Outono, até esse pico (Figura 15).

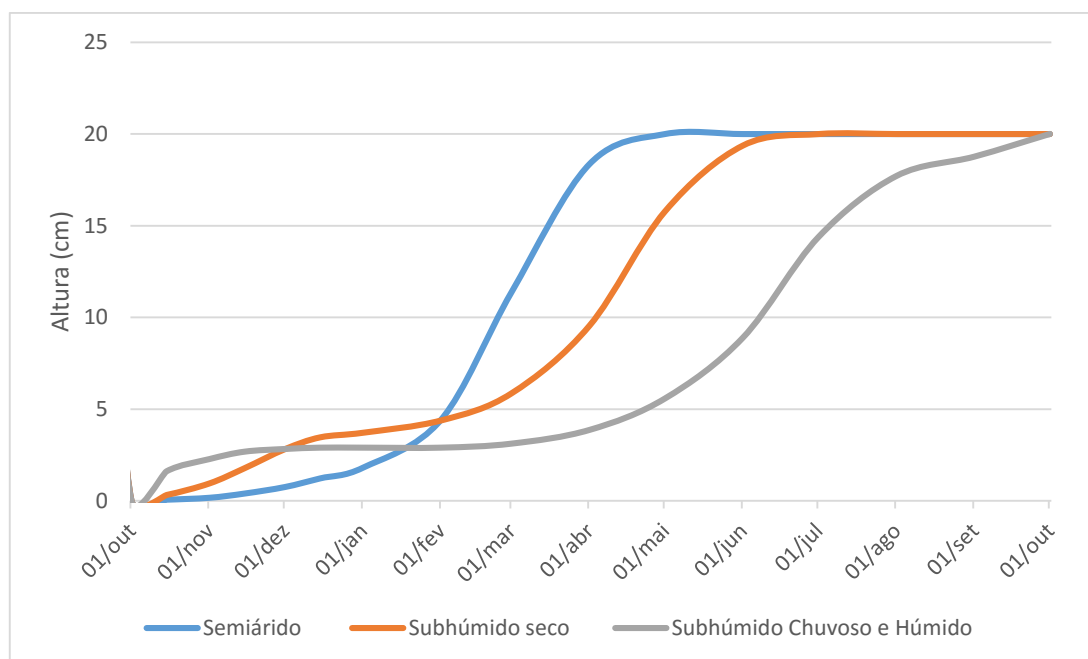


Figura 15 - Evolução da altura da vegetação ao longo do ano por classe de índice de aridez.

A distribuição da erosividade ao longo do ano é considerada no cálculo do fator C médio anual ponderado, como se viu acima. Neste trabalho calcularam-se valores de C anual ponderado para anos normais e excepcionais, utilizando, respectivamente, as curvas média e do percentil 90 de distribuição percentual acumulada da erosividade das precipitações, obtidas para a região por Figueiredo (2001) (Figura 16).

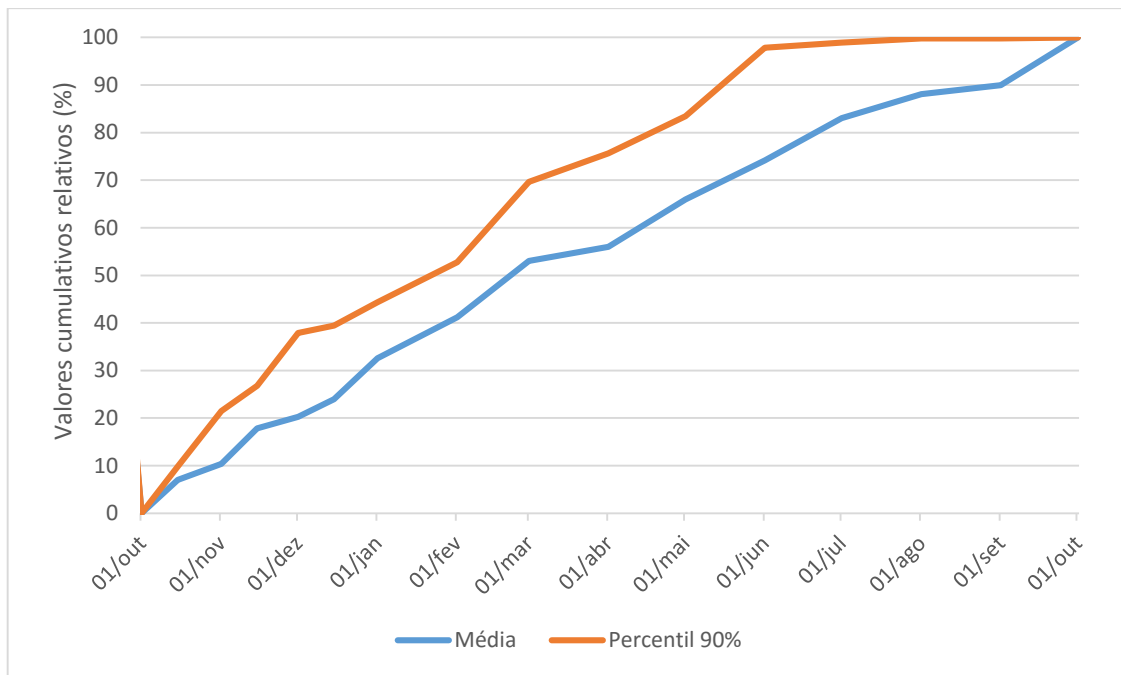


Figura 16 - Distribuição da Erosividade (fator R) ao longo do ano hidrológico: média e percentil 90 dos valores cumulativos relativos (%) (adaptado de Figueiredo, 2001).

Os gráficos de grau de cobertura e de altura da vegetação foram aplicados para o cálculo do fator C com base quinzenal. Para o fator C ponderado, tomaram-se as duas curvas da Figura 16, também com base quinzenal, o que permitiu obter o fator C ponderado médio anual para ano normal e ano excepcional e para as três classes de índice de aridez.

As simulações foram efetuadas considerando uma sementeira de primeiro ano, como se viu acima não considerando o efeito de resíduos sobre o solo no cálculo do fator C, e um ressementeira no segundo ano, no sentido de reforçar a eficácia desta prática. Neste caso, foi tomado grau de cobertura final do primeiro ano como cobertura por resíduos ao longo do segundo ano, mantendo-se idênticos ao primeiro ano os padrões de crescimento da erva semeada.

3.3.2. Fator L

Para as simulações do fator comprimento L, atribuiu-se o valor de 200 metros para a encosta, levando em consideração dois critérios, a distância entre barreiras e a percentagem de retenção de solo erodido em cada barreira. Para o primeiro critério selecionou-se 10, 25 e 50 metros; já para o segundo critério considerou-se 10, 50 e 90% de retenção nas barreiras.

Obteve-se o fator L para cada uma das simulações realizadas multiplicando L_{relativo} correspondente pelo fator L calculado de acordo com o original:

$$L_{\text{simulação}} = L \times L_{\text{relativo}}$$

O L_{relativo} obtém-se através da razão entre o L correspondente à cada percentagem de retenção nas barreiras e distância entre barreiras, aos 200 metros de encosta, e o valor de L calculado para a 0% de retenção para este comprimento de encosta. Adotou-se o comprimento de encosta de referência de 200 metros porque corresponde aproximadamente ao máximo recomendado como limite de aplicação da equação do fator L da USLE, na medida em que o suporte experimental para obtenção desta equação inclui poucos dados acima deste comprimento (Wischmeier & Smith, 1978).

Com isso, é possível estimar o grau de eficácia das barreiras na redução da perda de solo potencial, de acordo com a percentagem de retenção, ao longo da encosta (Figura 17).

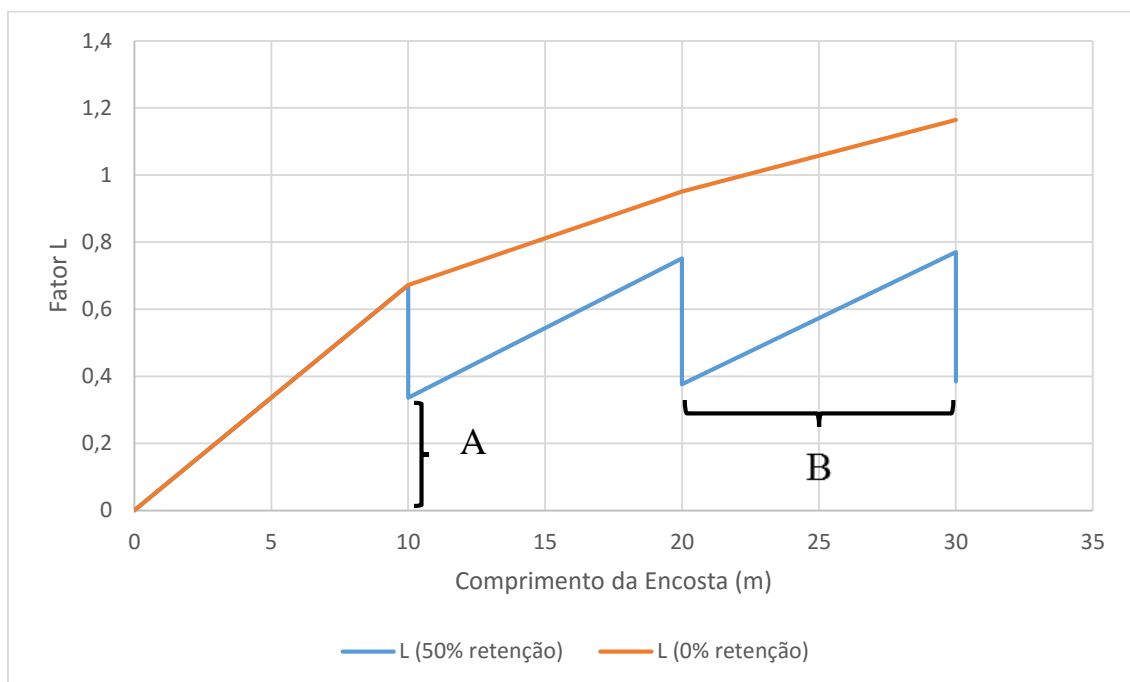


Figura 17 - Exemplo do grau de retenção com barreiras a cada 10 metros ao longo de uma encosta com 30 metros de comprimento (A representa a quantidade de solo retido na primeira barreira, expressa em termos do fator L da USLE; B representa a distância entre barreiras).



Capítulo IV

Resultados e Discussão

4.1. Cenário Base

4.1.1. Fator R

Foram obtidos os valores de R de 671, 812 e 1188 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ para as 3 categorias de condições climáticas, antes definidas com base nos índices de aridez, Semiárido, Subúmido Seco, E Subúmido Chuvoso e Húmido, respectivamente. Tais valores resultam diretamente da precipitação média anual considerada para cada zona climática representativa dessas categorias e do fator de estimativa de erosividade aplicado de acordo com Figueiredo (2015) (Tabela 7).

Tabela 7 - Zona climática, precipitação e fator R de acordo com o índice de aridez.

Classe de Índice de Aridez	Zona Climática representativa	P(mm)	Fator de Estimativa da Erosividade	R (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)
Semiárido	Q5	550	1,22	671
Subúmido Seco	T4 F4	700	1,16	812
Subúmido Chuvoso e Húmido	F2	1100	1,08	1188

4.1.2. Fator K

O fator K pode ser classificado em baixo, médio e elevado (valores de $K \leq 0,029$, $0,029 < K < 0,053$ e $K \geq 0,053$, respectivamente) (Figueiredo, 1989). Através das características dos solos (Anexo 2), o maior valor calculado foi o da unidade de solo Idox (Leptosolo dístrico órticos de xistos e rochas afins), com um fator erodibilidade de 0,059 ton/ha por unidade de R. Já os menores valores foram para as unidades de solos Idog (Leptosolo dístrico órticos de granitos e rochas afins) e Iug (Leptosolo úmbrico de granitos e rochas afins), com 0,034 e 0,022 respectivamente (Tabela 8). É possível identificar a predominância de erodibilidades médias e elevadas, sendo baixa apenas em Iug (solo derivado de granito, de textura grosseira e com elevado teor de matéria orgânica). Vale ressaltar que a pedregosidade em todos os casos é classificada como elevada ou moderada, pelo que a erodibilidade, quando corrigida quanto aos elementos

grosseiros, apresenta valores menores do que os indicados, resultando em todos os casos em erodibilidades baixas.

Tabela 8 - Fator K na terra fina e corrigido com elementos grosseiros (EG) por classe de índice de aridez e unidade de solo.

Índice de Aridez	Unidade de Solo Dominante	Perfil Tipo	K (ton/ha.R)	Pedregosidade	EG (%)	Keg (ton/ha.R)
Semiárido	Ieox	438 F	0,055	Elevada (30-50%)	40	0,014
Subhúmido Seco	Ibox	248 C	0,059	Moderada (15-30%)	22,5	0,027
	Ibxb	143 Q	0,035	Moderada (15-30%)	22,5	0,016
	Iboxg	344 Q	0,034	Elevada (30-50%)	40	0,008
	Iboxg	134 F	0,022	Moderada (15-30%)	22,5	0,01
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Iboxg	248 C	0,059	Moderada (15-30%)	22,5	0,027
	Iboxg	143 Q	0,035	Moderada (15-30%)	22,5	0,016
	Iboxg	224 C	0,035	Moderada (15-30%)	22,5	0,016
	Iboxg	260 F	0,042	Elevada (30-50%)	40	0,01

4.1.3. Fator S

Quanto ao fator S, o valor mais alto foi obtido para a área de Semiárido onde ocorre a classe 4 (declive médio de 40%), com valor igual a 7,87, seguido pelas áreas de Semiárido e Subhúmido Seco com um declive de 37,50% (classe 3) com valor de 5,40. O menor valor é para os índices de aridez Subhúmido Seco e Subhúmido Chuvoso e Húmido, com 2,87 (Tabela 9). Tais valores seguem esse padrão devido o calculo do fator estar em função do grau de inclinação da encosta, ou seja, quanto maior o grau de declive do terreno, maior será o fator S.

Tabela 9 – Fator S de acordo com o declive médio e índice de aridez

Índice de Aridez	Classe Declive	Declive médio %	θ (graus)	S
Semiárido	3	37,5	20,56	5,4
	4	57,5	29,9	7,87
Subhúmido Seco	2	20,5	11,59	2,87
	3	37,5	20,56	5,4
Subhúmido Chuvoso e Húmido	2	20,5	11,59	2,87

4.1.4. Produto RK

Quando analisado o produto entre os fatores R e K, é possível observar que os valores superiores são para as unidades de solos Idox, para o índice de aridez Subhúmido Chuvoso e Húmido e Subhúmido Seco, com valores de 32,12 e 21,95 ton/ha.ano, respectivamente. Os menores valores ficam com as unidades de solos Idog, Iug e Ieox, sendo 6,90, 8,02 e 9,06 nesta mesma ordem (Tabela 10).

O produto RK representa o potencial de perda de solo de uma área determinado apenas pelos fatores de erosão básicos (clima e solo), em princípio não controláveis pela intervenção humana, e independentemente da topografia local. Neste caso, permite ordenar os cenários de base quanto a esse potencial e portanto quanto ao risco de erosão associado.

Tabela 10 - Fator RK de acordo com o índice de aridez e unidade de solo dominante

Índice de Aridez	R (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)	Unidade de Solo Dominante	K_{eg} (ton/ha.R)	RK (ton/ha)
Semiárido	671	Ieox	0,014	9,06
Subhúmido Seco	812	Idox	0,027	21,95
		Idbx	0,016	13,11
		Idog	0,008	6,9
		Iug	0,01	8,02
Subhúmido Chuvoso e Húmido	1188	Idox	0,027	32,12
		Iux	0,016	19,18
		Idbx	0,016	18,74
		Iub	0,01	12,29

4.1.5. Produto RKS

O produto representando as condições potenciais de erosão na região, para os cenários estabelecidos (agora considerando o efeito da topografia), apresenta diferentes valores de acordo com sua declive, unidade de solo e índice de aridez. Podem-se identificar dois valores salientes, 119 e 92 ton/ha.ano, pertencentes a unidade de solo Idox associados a classe de declive 25-30 e 45-50%, do índice Subhúmido Seco, e 2 do índice Subhúmido Chuvoso e Húmido, respectivamente.

Os menores valores estão presentes no clima Subhúmido Seco, com unidades de solo Idog e Iug, ambos com classe de declive 12-15 e 25-30%, apresentando valores de 20 e 23 nesta mesma ordem (Figura 18).

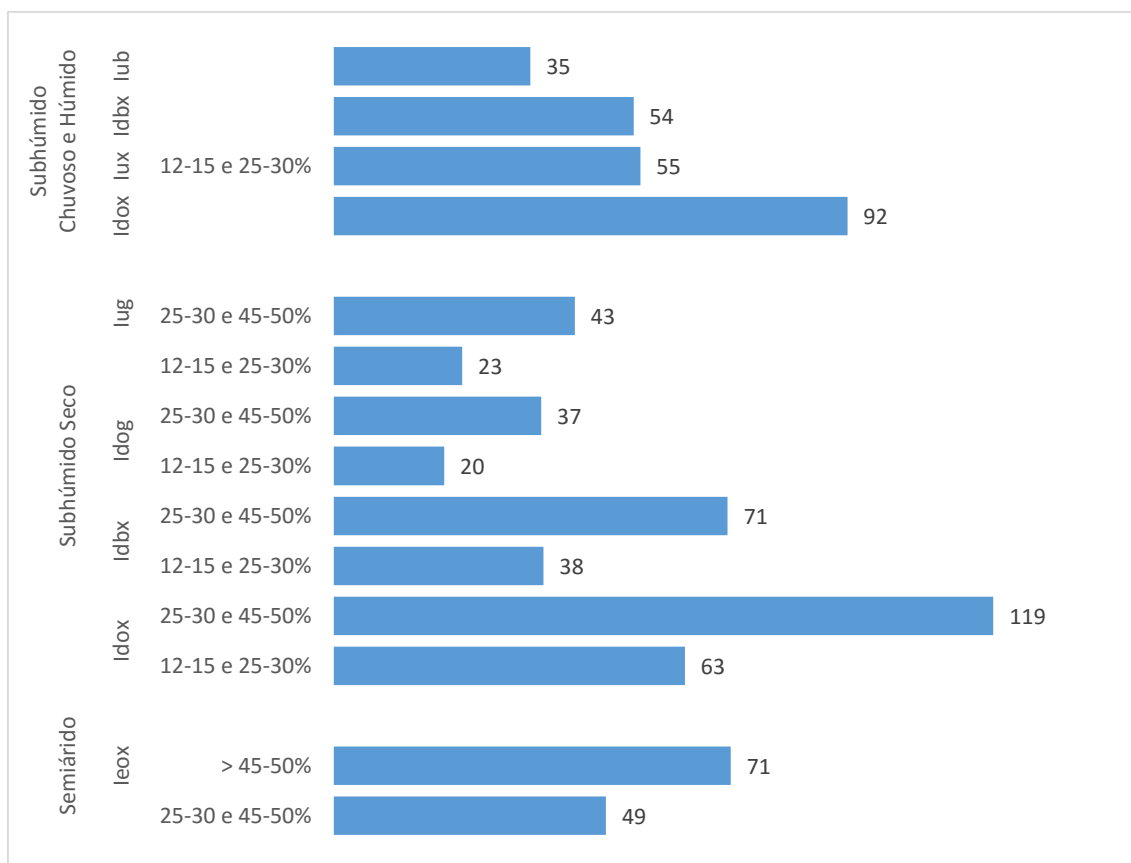


Figura 18 - Produto RKS de acordo com a classe de declive, unidade de solo e índice de aridez.

Nota-se que os maiores valores estão associados à unidades solo com o prefixo “Id”, significando que são Leptossolos dístricos, e terminam com a letra “x”, indicando que provêm de xistos e rochas afins. Por outro lado, os menores valores estão relacionados ao prefixo “I” indicando que são Leptossolos, e terminam com a letra “g”, com significado de que originam-se de granitos e rochas afins.

Vale ressaltar que a razão entre as perdas de solo potenciais nos cenários mais e menos críticos é de 6, a significar que as medidas de intervenção pós-fogo a aplicar terão que mostrar-se muito mais eficazes no cenário mais crítico, podendo permitir-se medidas de menor eficácia relativa no cenário menos crítico.

4.2. Aplicação De Medidas De Conservação Do Solo Pós-Fogo

4.2.1. Sementeira

O crescimento da vegetação herbácea está diretamente relacionado com a aridez do clima, sendo no Semiárido o valor de matéria seca produzida ao longo de um ano muito baixo quando comparado com o do Subhúmido Seco e Subhúmido Chuvoso e Húmido. Neste último caso, chega a a um valor superior à três vezes a quantidade de matéria seca anual gerada no clima Semiárido (onde é de apenas cerca de 250 Kg/ha), sendo para o Subhúmido Seco, de aproximadamente 500 Kg de matéria seca por hectare (ver Figura 13 sobre crescimento acumulado da vegetação no Capítulo III).

No fator C médio, em todas as condições climáticas dos cenários, os valores para o ano excepcional são superiores aos obtidos para um ano médio. Porém, as diferenças nos valores de C são pequenas, também não diferindo muito entre classes de índices de aridez. Os valores superiores pertencem ao Semiárido com 0,87 e 0,83 para anos excepcionais e convencionais respectivamente, e valores menores para os anos excepcionais e convencionais para o clima Subhúmido Chuvoso e Húmido, sendo 0,78 e 0,70 nesta ordem (Figura 19).

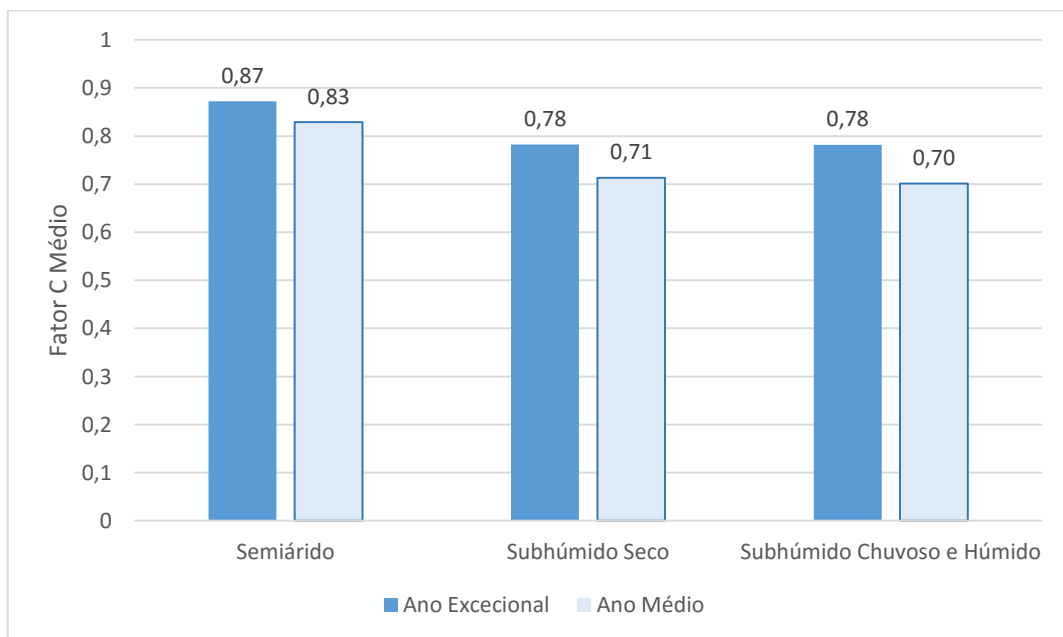


Figura 19 – Fator C médio de acordo com a classe de índice de aridez para anos médio e excepcional: sementeira (primeiro ano).

Com valores do fator C calculado, e para uma encosta com o comprimento de referência adotado (200 metros), obtêm-se os valores de RKLSC para os anos médio e excepcional, que correspondem à estimativa da perda de solo nas condições definidas para os vários cenários, com aplicação de sementeiras como medida de intervenção pós-fogo.

Para o primeiro (ano médio), os valores superiores, como esperado, estão ligados à unidade de solo Idox, sendo agravados nas classes de declive superiores, como é o caso no clima Subhúmido Seco com classe de declive 25-30 e 45-50%, atingindo 255 ton/ha.ano. Ainda em anos médios, os menores valores são encontrados em clima Subhúmido Seco, para classe de declive 12-15 e 25-30%, com unidades de solo Idog e Iug, apresentando valores de 43 e 50 ton/ha.ano, respectivamente. Em anos excepcionais os valores são superiores quando comparados com anos médios, onde o produto RKLSC para clima Subhúmido Seco com unidade de solo Idox e classe de declive 25-30 e 45-50%, atinge o valor anual de 279 ton/ha.ano (Figura 20).

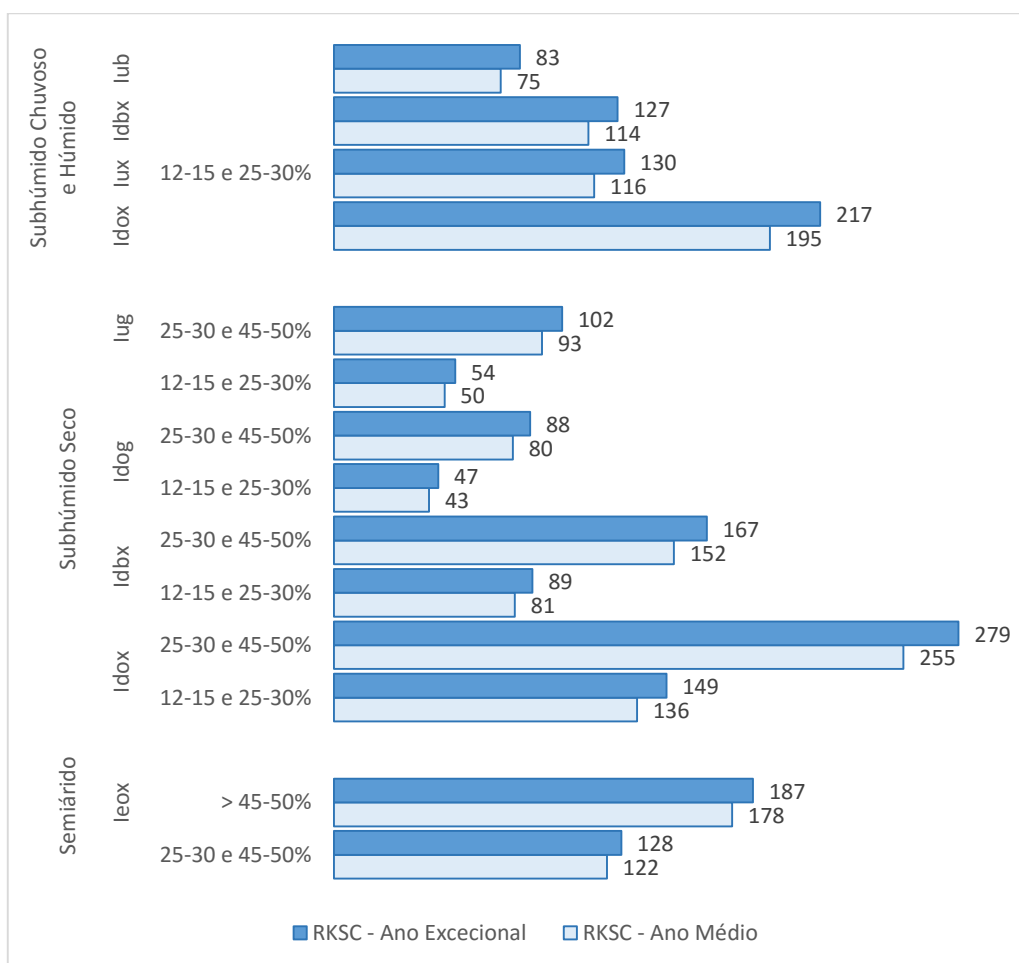


Figura 20 - Valores de RKLSC para anos médio e excepcional de acordo com declive, unidade de solo e índice de aridez (encostas de 200 metros), aplicando sementeira (primeiro ano).

Todos os valores calculados se situam acima da tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano, tomada como referência neste trabalho por aproximação ao proposto por Arnoldus (1977). Esta tolerância, na verdade, é aplicável a solo espessos com substrato renovável, o que não é o caso nesta região. A tolerância para solos delgados com substrato não renovável é de cerca de 2 ton/ha.ano, de acordo com a mesma fonte. Os dois valores de tolerância podem definir limiares de risco atual de erosão: severo quando a taxa de erosão é superior ao primeiro, baixo quando a taxa de erosão é inferior ao segundo.

Assim, verifica-se que a sementeira como medida isolada de intervenção pós-fogo, no primeiro ano de instalação da vegetação herbácea não se revela suficientemente eficaz em qualquer dos cenários, uma vez que não é possível reduzir a perda de solo para valores inferiores à tolerância.

Deste modo, esta medida deverá ser reforçada com uma ressementeira no segundo ano. Com a ressementeira, os valores de C médio anual ponderado reduzem-se sensivelmente com valores máximos para a região Semiárida com 0,29 e 0,27 para anos excepcionais e médios respectivamente. Em regiões Subhúmidas Chuvosas e Húmida os fatores são de 0,09 e 0,08 para anos excepcionais e médios na devida ordem (Figura 21). Por outro lado, quando aplicados estes valores ao produto RKLSC, pode verificar-se que as perdas de solo nos vários cenários, como esperado, se reduzem proporcionalmente, mostrando assim a melhoria na eficácia desta medida quando reforçada no segundo ano. Com a aplicação da ressementeira, observa-se que para as unidades de solos Idog e Iug, com classe de declive 12–15 e 25–30% para o Subhúmido Seco, o produto RKLSC não ultrapassa as 10 ton/ha.ano, sendo 7 e 8 ton/ha.ano médio, respectivamente, e 8 e 9 por ano excepcional, nesta ordem. Com a classe de índice de aridez a unidade de solo Iub apresenta o mesmo comportamento, não excedendo o valor limite de 10 ton/ha por ano, com valores de 8 e 9 ton/ha para ano médio e excepcional na devida ordem (Figura 22). Com esses resultados, a eficácia geral da medida no conjunto dos cenários justificam a implementação da sementeira e ressementeira em um plano de recuperação de área ardida para combater a erosão drástica do solo.

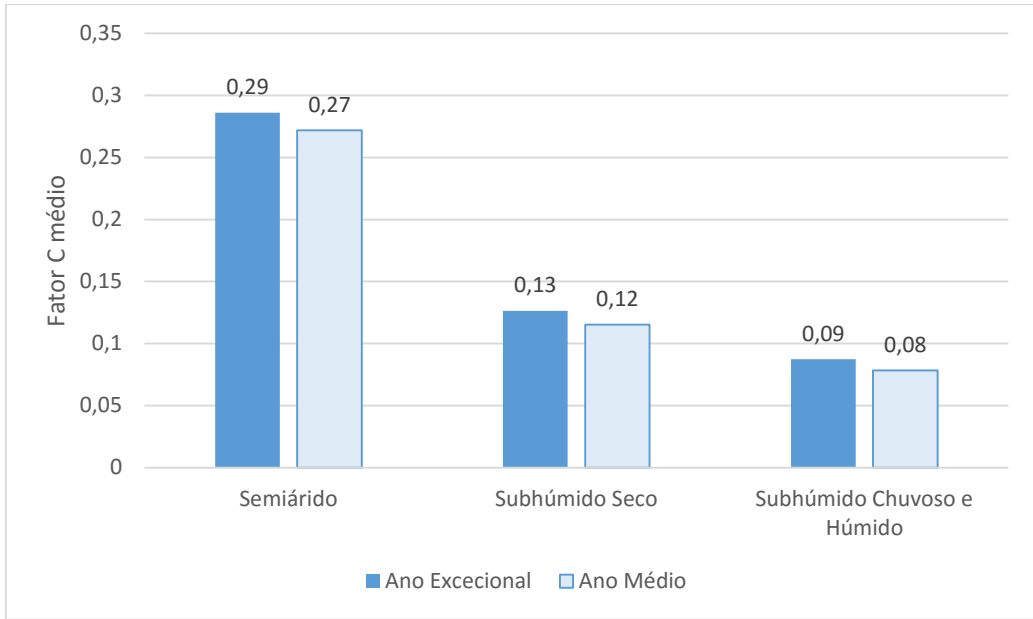


Figura 21 - Fator de acordo com a classe de índice de aridez para anos médio e excepcional: ressementeira (segundo ano).

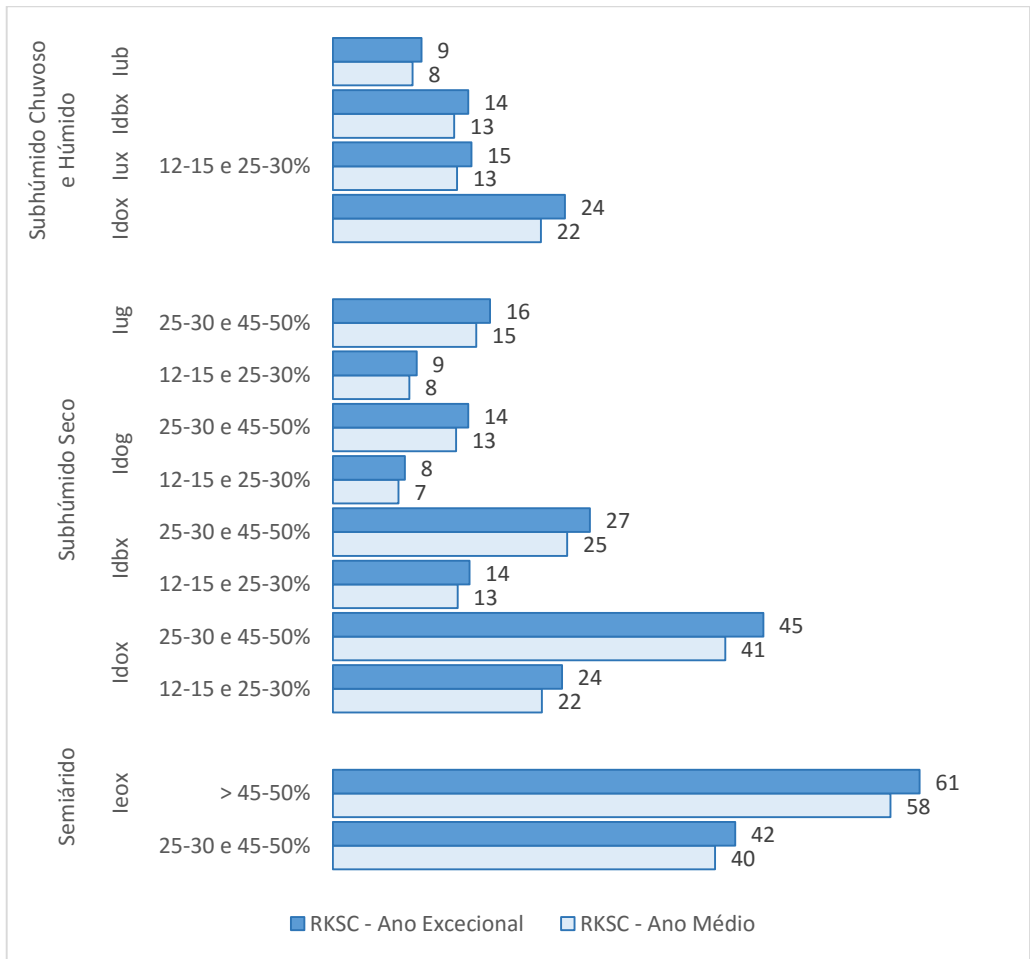


Figura 22 - Valores de RKLSC para anos médio e excepcional de acordo com declive, unidade de solo e índice de aridez (encostas de 200 metros), aplicando ressementeira (segundo ano).

4.2.2. Barreiras

Em encostas onde é necessário empregar métodos de retenção de sedimentos para prevenir ou reduzir os danos causados pela erosão, barreiras de retenção podem ser opção viável, nas quais quanto maior seu grau de retenção, maior será a eficiência da mesma. Através da metodologia aplicada, obtêm-se os valores de L para as simulações do efeito destas barreiras (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores do fator L relativo utilizado para as simulações.

Distância entre Barreiras (m)	Retenção 10%	Retenção 50%	Retenção 90%
10	0,46	0,13	0,02
25	0,66	0,2	0,04
50	0,78	0,29	0,05

Na primeira área entre barreiras, o grau de retenção é nulo; porém, na primeira barreira, assim como nas demais, é possível visualizar uma queda no arraste de sedimentos. Nos diferentes graus de retenção a perda de sedimentos entre as barreiras tende a estabilizar com o aumento do comprimento da encosta, demonstrando que a eficiência do seu efeito depende do grau de retenção, tendo o comprimento da encosta progressivamente menor importância no processo quando esta técnica é aplicada (Figura 23).

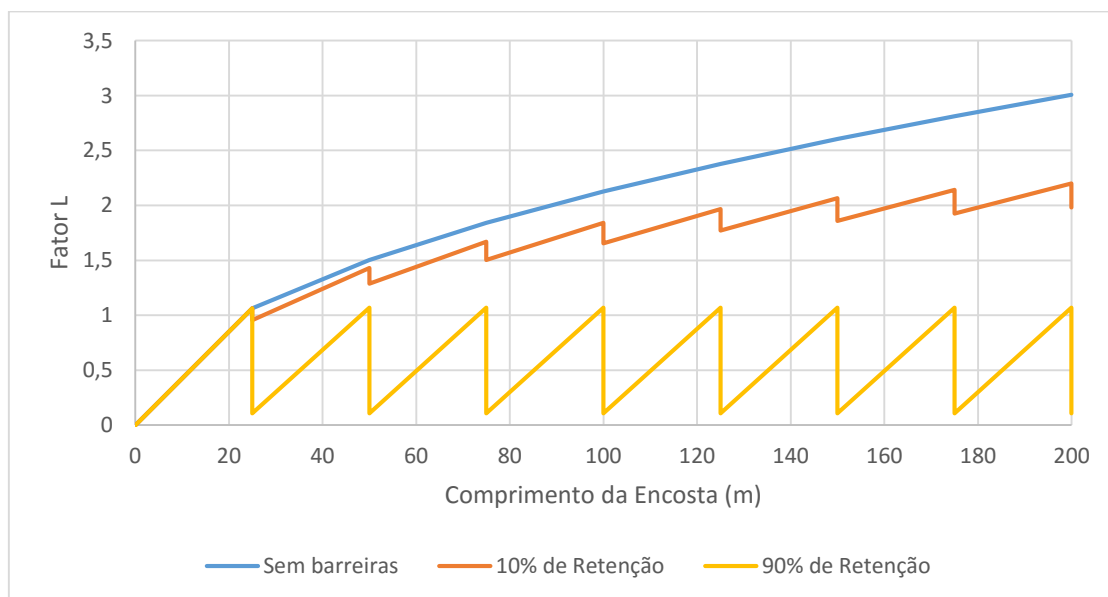


Figura 23 - Fator L com 25 metros entre barreiras em encostas com 200 metros de comprimento: Efeito do grau de retenção das barreiras.

Para o fator L com a mesma percentagem de retenção de sedimentos, é possível avaliar a eficácia das barreiras com diferentes distâncias entre si, evidenciando-se a semelhança no seu comportamento ao longo da encosta, porém com valores de L tanto maiores quanto maior a distância entre barreiras. Quanto menor o intervalo entre barreiras, melhor será a eficácia da técnica ao longo da vertente (Figura 24).

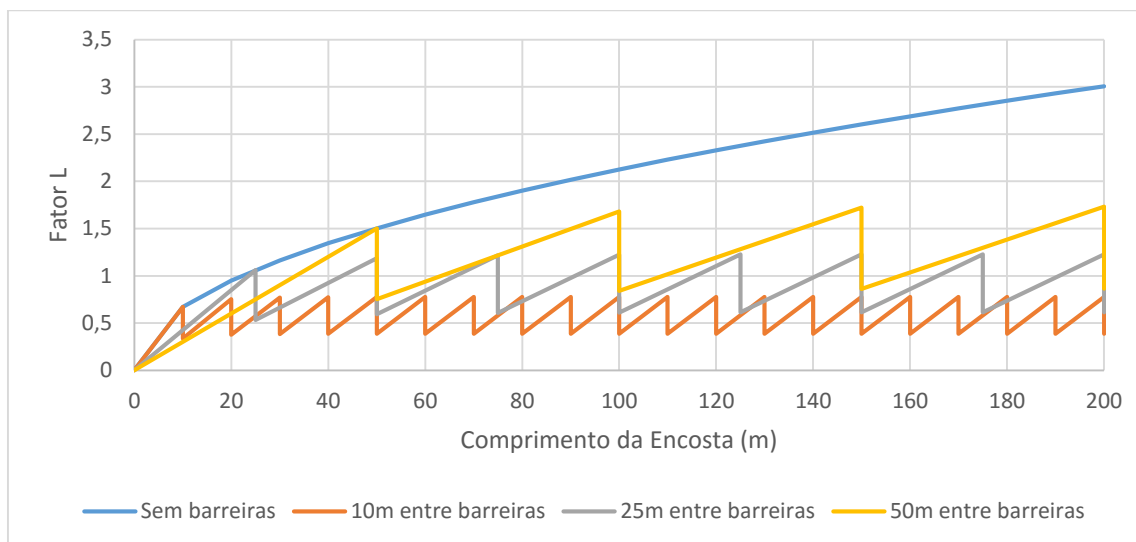


Figura 24 - Fator L em encosta de 200 m com barreiras em intervalos de 10, 25 e 50 metros, e com 50% de retenção de sedimentos na barreira.

Considerando uma maior gama de percentagens de retenção de sedimentos nas barreiras, é possível ter uma melhor visão sobre o comportamento das barreiras ao longo do declive. Verifica-se que é no início da encosta que os valores de perda de solo são superiores, sendo deste modo importante considerar a necessidade prática de assegurar uma boa eficácia das barreiras nessa posição topográfica. Vale a pena ressaltar que, a partir de uma certa posição na encosta a perda de solo tende a ser constante ao longo da encosta. Para distância entre barreiras de 10 metros, com menores taxas de perda de solo, observa-se tal tendência no início da encosta, entre as 4 primeiras barreiras, o mesmo pode-se observar em barreiras com distância de 25 metros. É possível afirmar que, quando a percentagem de retenção é igual ou superior à 50%, após os 100 primeiros metros de encosta, os valores referentes a perda de solo possuem pouca variação, como mencionado anteriormente (Figura 25, Figura 26 e Figura 27).

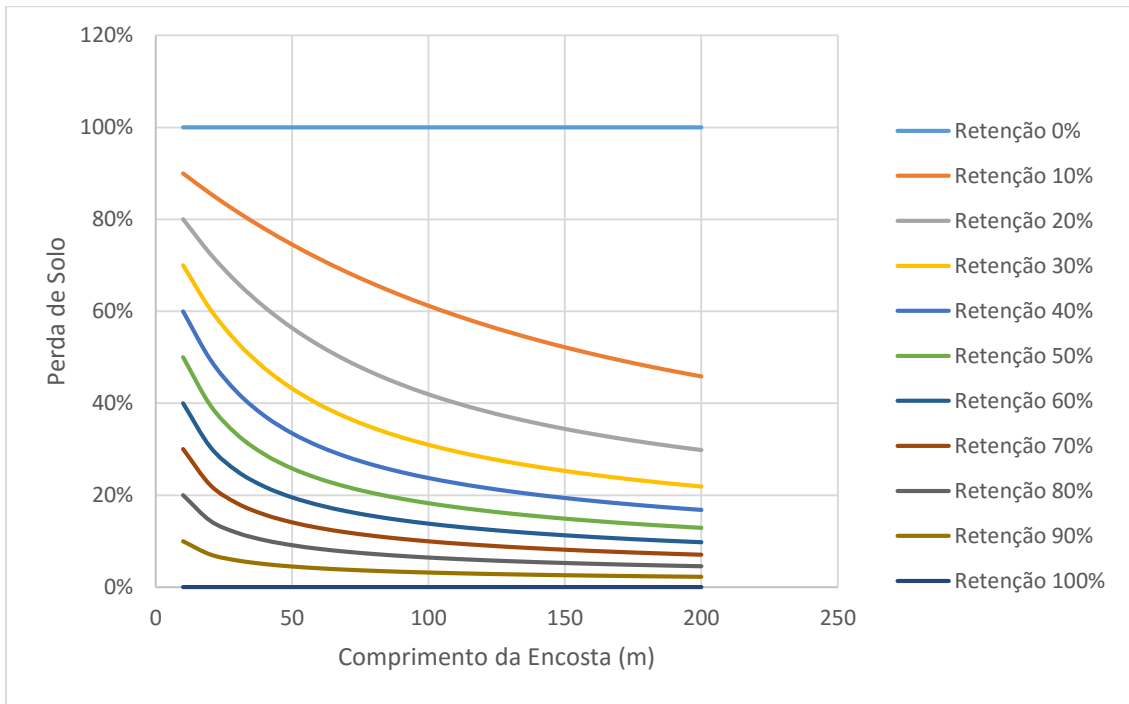


Figura 25 - Perda de solo relativa ao longo de encosta com barreiras de diferente grau de retenção: distância entre barreiras de 10 metros.

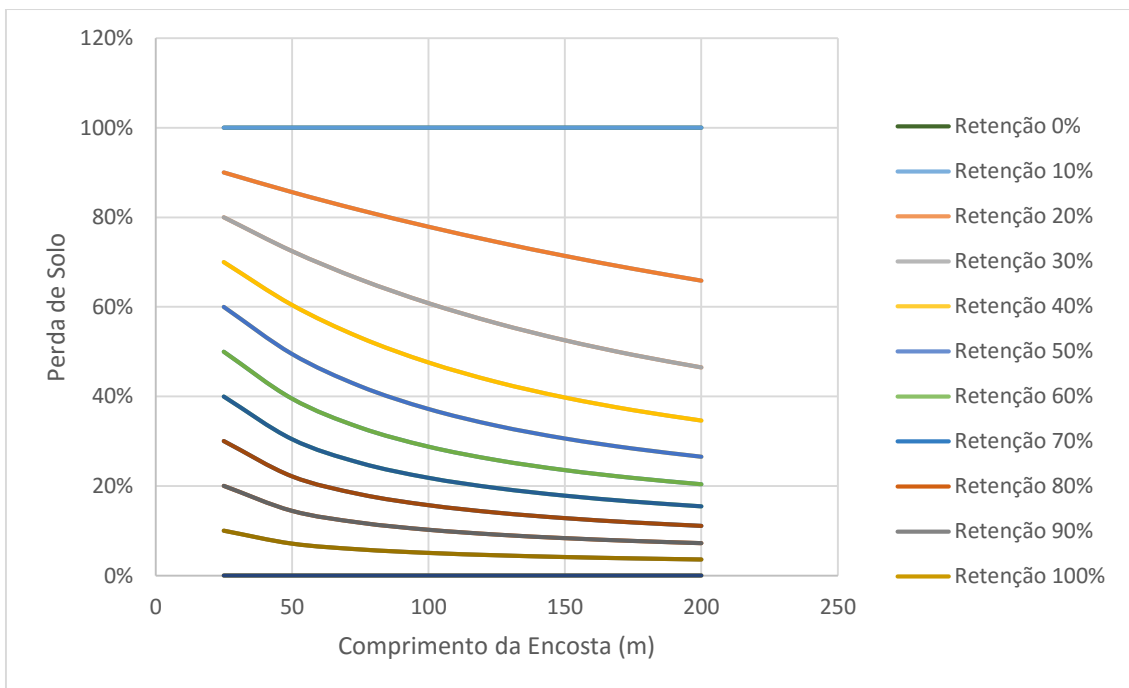


Figura 26 - Perda de solo relativa ao longo de encosta com barreiras de diferente grau de retenção: distância entre barreiras de 25 metros.

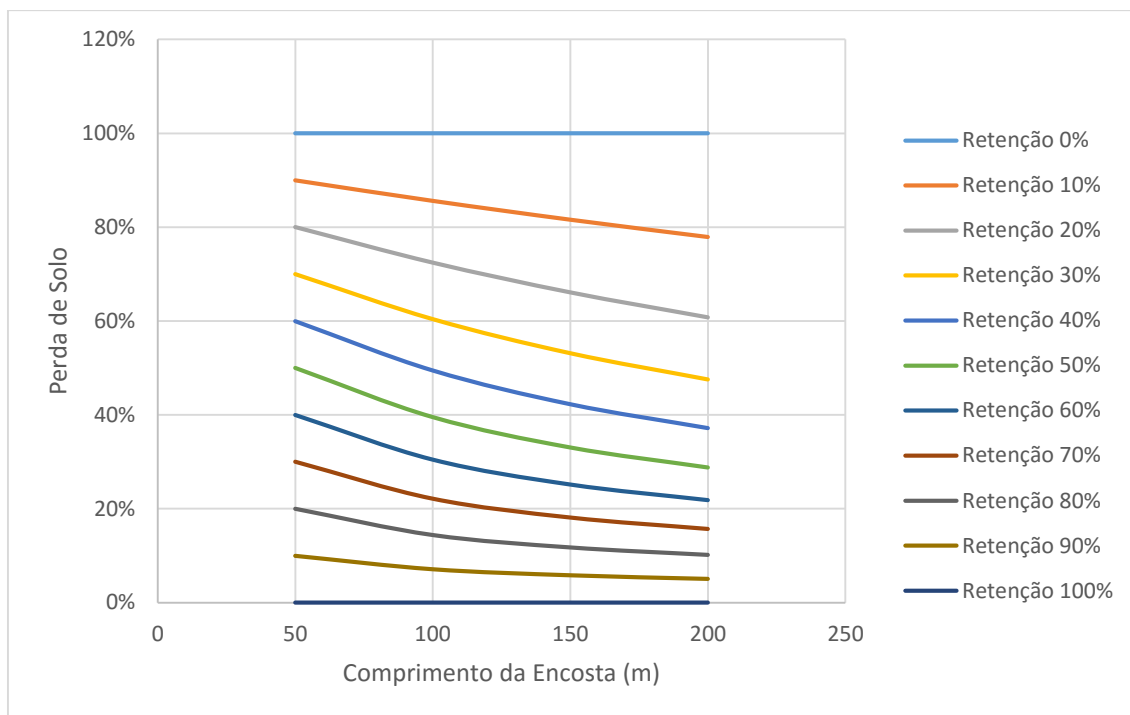


Figura 27 - Perda de solo relativa ao longo de encosta com barreiras de diferente grau de retenção: distância entre barreiras de 50 metros.

O produto RKLS para os vários cenários e alternativas de instalação de barreiras apresentadas, permite avaliar a eficácia desta medida na redução da erosão nessas condições, através da estimativa da perda de solo. Os valores superiores são de 278 e 217 ton/ha.ano para as unidades de solo Idox com classe de declive 25-30 e 45-50% em clima Subhúmido Seco e classe de declive 12-15 e 25-30% no Subhúmido Chuvoso e Húmido, respectivamente, para barreiras com retenção de 10% em intervalos de 50 metros. Considerando as mesmas características quanto ao índice de aridez, unidade de solo e classe de declive, os valores para as barreiras com intervalo de 50 metros e retenção de 50% diminuem para 103 e 80 ton/ha.ano respectivamente, enquanto que nas barreiras com 90% de retenção, e o mesmo intervalo, os valores tornam-se 18 e 14 ton/ha.ano nesta ordem. Os valores inferiores correspondem às unidades de solo Idog e Iug com classe de declive 12-15 e 25-30% em clima Subhúmido Seco: 27 e 32 ton/ha.ano, para barreiras com retenção de 10% e intervalo de 10 metros. Os valores para barreiras com retenção de 90%, e o mesmo intervalo caem para 1 e 2 ton/ha.ano, respectivamente (Tabela 12). A Tabela mostra também que barreiras com baixo grau de retenção são pouco eficazes na redução da perda de solo para valores toleráveis após o incêndio e que com distância entre barreiras mais elevadas só barreiras de elevado grau de retenção podem assegurar essa redução.

Tabela 12 - Perda de solo (Produto RKLs) nos diferentes cenários de simulação de acordo com as diferentes condições de instalação das barreiras.

Índice de Aridez	Unidade de Solo Dominante	Classe Declive	RKLSCP (C=1 E P=1) para diferentes intervalos entre barreiras e grau de retenção na barreira (ton/ha.ano)								
			10m 10%ret	10m 50%ret	10m 90%ret	25m 10%ret	25m 50%ret	25m 90%ret	50m 10%ret	50m 50%ret	50m 90%ret
Semiárido	Ieox	25-30 e 45-50%	68	19	3	97	30	5	115	42	7
		> 45-50%	98	28	5	142	44	8	167	62	11
Subhúmido Seco	Idox	12-15 e 25-30%	87	25	4	125	39	7	148	55	10
		25-30 e 45-50%	164	46	8	235	73	13	278	103	18
	Idbx	12-15 e 25-30%	52	15	3	75	23	4	88	33	6
		25-30 e 45-50%	98	28	5	140	44	8	166	61	11
	Idog	12-15 e 25-30%	27	8	1	39	12	2	47	17	3
		25-30 e 45-50%	51	14	3	74	23	4	87	32	6
	Iug	12-15 e 25-30%	32	9	2	46	14	2	54	20	3
		25-30 e 45-50%	60	17	3	86	27	5	102	38	7
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Idox	12-15 e 25-30%	127	36	6	183	57	10	217	80	14
	Iux		76	21	4	109	34	6	129	48	8
	Idbx		74	21	4	107	33	6	126	47	8
	Iub		49	14	2	70	22	4	83	31	5

Nota: Assinalam-se a verde os valores abaixo de 2 ton/ha.ano, a amarelo os valores entre 2 e 10, e a vermelho os superiores a 10 ton/ha.ano, que constituem limiares de tolerância de perda de solo e são neste caso indicadores de eficácia destas medidas.

4.2.3. Sementeiras E Barreiras

Ao utilizar-se a técnica de sementeira aliada à barreiras ao longo do declive, observa-se uma redução na perda de solo nas áreas simuladas, aumentando o número de cenários com valores de perda de solo menores ou iguais a duas toneladas por hectare por ano. Como exemplo pode-se salientar o caso dos solos Idog e Iug, que excediam esse valor, e após a simulação com as duas técnicas aplicadas em simultâneo, baixam para 2 toneladas em clima Subhúmido Seco e declive entre 25-30 e 45-50% (Tabela 13 e Tabela 14).

Levando em consideração a perda de solo em anos normais (Tabela 13) e anos excepcionais (Tabela 14), visualiza-se que as barreiras com percentagens de retenções altas (retenções acima de 90%) não excedem a perda de 10 toneladas por hectare, com exclusão do solo Idox para anos normais e excepcionais, com declive 25-30 e 45-50% no Subhúmido Seco, apresentando 13 e 14 toneladas por hectare respectivamente.

No caso das barreiras com retenções inferiores à 50%, não se obtiveram resultados inferiores à duas toneladas por hectare, demonstrando a necessidade de barreiras com um maior grau de eficiência, com o intuito de evitar a erosão drástica da área analisada. Os maiores valores correspondem aos solos derivados de xistos e rochas afins, como anteriormente mencionado, obtendo o solo Idox, com declive 25-30 e 45-50% no Subhúmido Seco, com maior perda de solo, resultando em 198 toneladas por hectare em ano médio (Tabela 13).

Tabela 13 - Perda de solo (Produto RKLSCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com as diferentes condições de instalação das barreiras para ano médio.

Índice de Aridez	Unidade de Solo Dominante	Classe Declive	RKLSCP (ano médio) para diferentes intervalos entre barreiras e grau de retenção na barreira (ton/ha.ano)								
			10m 10%ret	10m 50%ret	10m 90%ret	25m 10%ret	25m 50%ret	25m 90%ret	50m 10%ret	50m 50%ret	50m 90%ret
Semiárido	Ieox	25-30 e 45-50%	56	16	3	80	25	4	95	35	6
		> 45-50%	82	23	4	117	36	6	139	51	9
Subhúmido Seco	Idox	12-15 e 25-30%	62	18	3	89	28	5	106	39	7
		25-30 e 45-50%	117	33	6	168	52	9	198	73	13
	Idbx	12-15 e 25-30%	37	10	2	53	17	3	63	23	4
		25-30 e 45-50%	70	20	3	100	31	5	118	44	8
	Idog	12-15 e 25-30%	20	5	1	28	9	2	33	12	2
		25-30 e 45-50%	37	10	2	53	16	3	62	23	4
	Iug	12-15 e 25-30%	23	6	1	33	10	2	39	14	2
		25-30 e 45-50%	43	12	2	61	19	3	73	27	5
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Idox	12-15 e 25-30%	89	25	4	128	40	7	152	56	10
	Iux		53	15	3	77	24	4	91	34	6
	Idbx		52	15	3	75	23	4	89	33	6
	Iub		34	10	2	49	15	3	58	22	4

Nota: Assinalam-se a verde os valores abaixo de 2 ton/ha.ano, a amarelo os valores entre 2 e 10, e a vermelho os superiores a 10 ton/ha.ano, que constituem limiares de tolerância de perda de solo e são neste caso indicadores de eficácia destas medidas.

Tabela 14 - Perda de solo (Produto RKLSCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com as diferentes condições de instalação das barreiras para ano excepcional.

Índice de Aridez	Unidade de Solo Dominante	Classe Declive	RKLSCP (ano excepcional) para diferentes intervalos entre barreiras e grau de retenção na barreira (ton/ha.ano)								
			10m 10%ret	10m 50%ret	10m 90%ret	25m 10%ret	25m 50%ret	25m 90%ret	50m 10%ret	50m 50%ret	50m 90%ret
Semiárido	Ieox	25-30 e 45-50%	59	17	3	85	26	5	100	37	6
		> 45-50%	86	24	4	123	38	7	146	54	9
Subhúmido Seco	Idox	12-15 e 25-30%	68	19	3	98	30	5	116	43	7
		25-30 e 45-50%	128	36	6	184	57	10	218	80	14
	Idbx	12-15 e 25-30%	41	11	2	58	18	3	69	26	4
		25-30 e 45-50%	76	22	4	110	34	6	130	48	8
	Idog	12-15 e 25-30%	21	6	1	31	10	2	36	13	2
		25-30 e 45-50%	40	11	2	58	18	3	68	25	4
	Iug	12-15 e 25-30%	25	7	1	36	11	2	42	16	3
		25-30 e 45-50%	47	13	2	67	21	4	80	29	5
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Idox	12-15 e 25-30%	100	28	5	143	44	8	169	63	11
	Iux		60	17	3	86	27	5	101	37	7
	Idbx		58	16	3	84	26	5	99	37	6
	Iub		38	11	2	55	17	3	65	24	4

Nota: Assinalam-se a verde os valores abaixo de 2 ton/ha.ano, a amarelo os valores entre 2 e 10, e a vermelho os superiores a 10 ton/ha.ano, que constituem limiares de tolerância de perda de solo e são neste caso indicadores de eficácia destas medidas.

A análise das diferentes percentagens de retenção, em encostas com barreiras igualmente distanciadas entre si, permite demonstrar tal importância para que ocorra o decréscimo na perda de solo local. Em barreiras com distância entre si de 10 metros, todos os cenários de base apresentaram uma grande probabilidade de que ocorra a degradação severa da área quando sua taxa de retenção é de 10% (Figura 28), pois apresentam valores de perda de solo superiores à 10 toneladas por hectare. Com o aumento da retenção para 50% em cada barreira, é possível identificar três situações que não excedem a taxa de perda de solo limite, sendo o Idog e Iug, com declive de 12-15 e 25-30% com índice de aridez Subhúmido Seco, e o Iub com mesmo declive; porém no Subhúmido Chuvoso e Húmido, apresentam, respectivamente, 5, 6 e 10 toneladas por hectare (Figura 29).

Com taxa de retenção superior, identifica-se que, todos valores são inferiores ao limite de 10 toneladas por hectare, apresentando resultados iguais ou inferiores à perda de solo tolerável de 2 toneladas por hectare, entre eles encontram-se o Idog e Iug, com índice de aridez Subhúmido Seco e declives de 12-15 e 25-30% e . 25-30 e 45-50% (Figura 30).

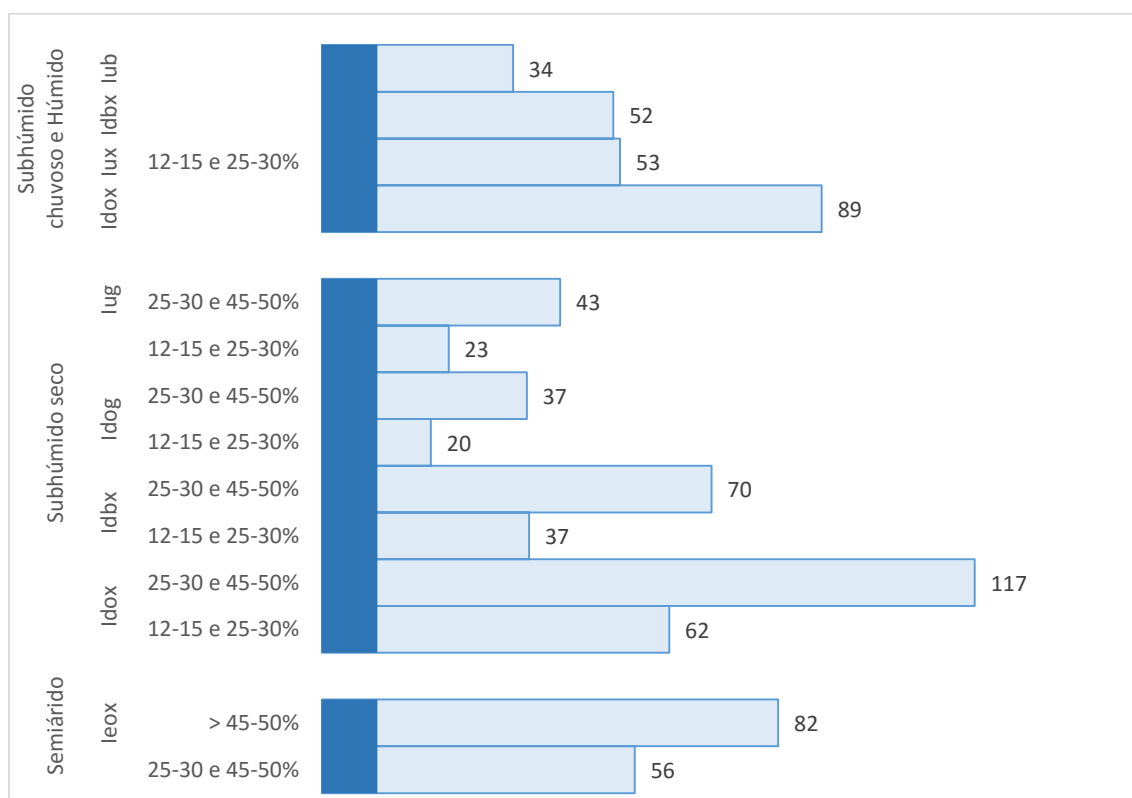


Figura 28 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 10 m e 10% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.

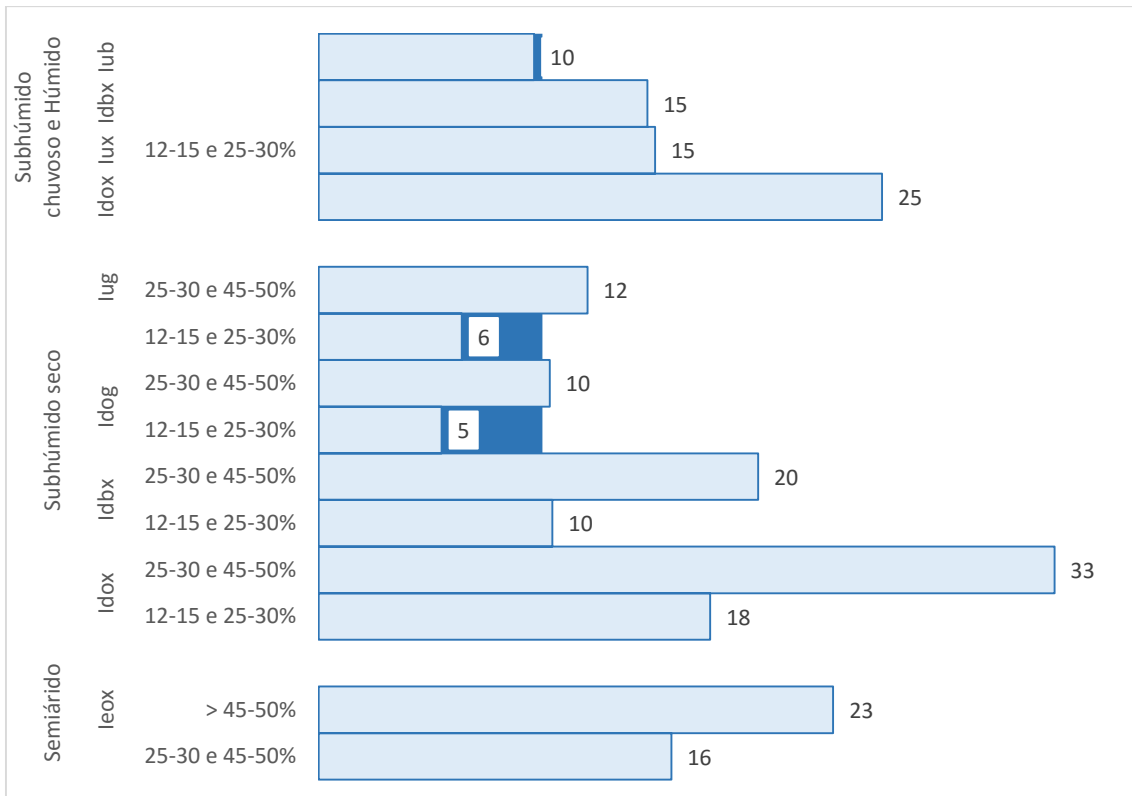


Figura 29 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 10 m e 50% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.

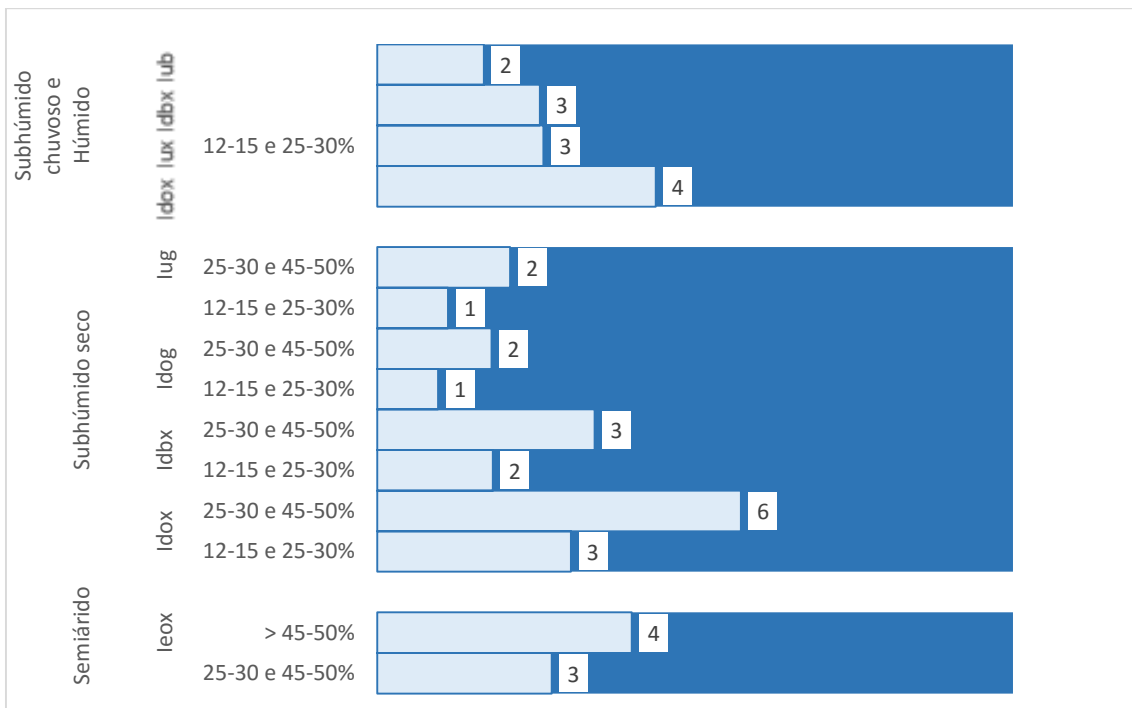


Figura 30 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 10 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.

Pode-se dizer que, com o aumento da distância entre barreiras, com o mesmo grau de eficiência nas barreiras, ocorre a amplificação da quantidade de solo perdido, sendo que distância de 50 metros, com o Idox, em declive de 25-30 e 45-50% se excede o limite tolerável, com um valor de 13 toneladas por hectare (Figura 31). Encontra-se dois solos com perda de 2 toneladas por hectare, são eles Idog e Iug com declive 12-15 e 25-30% no índice de aridez Subhúmido Seco.

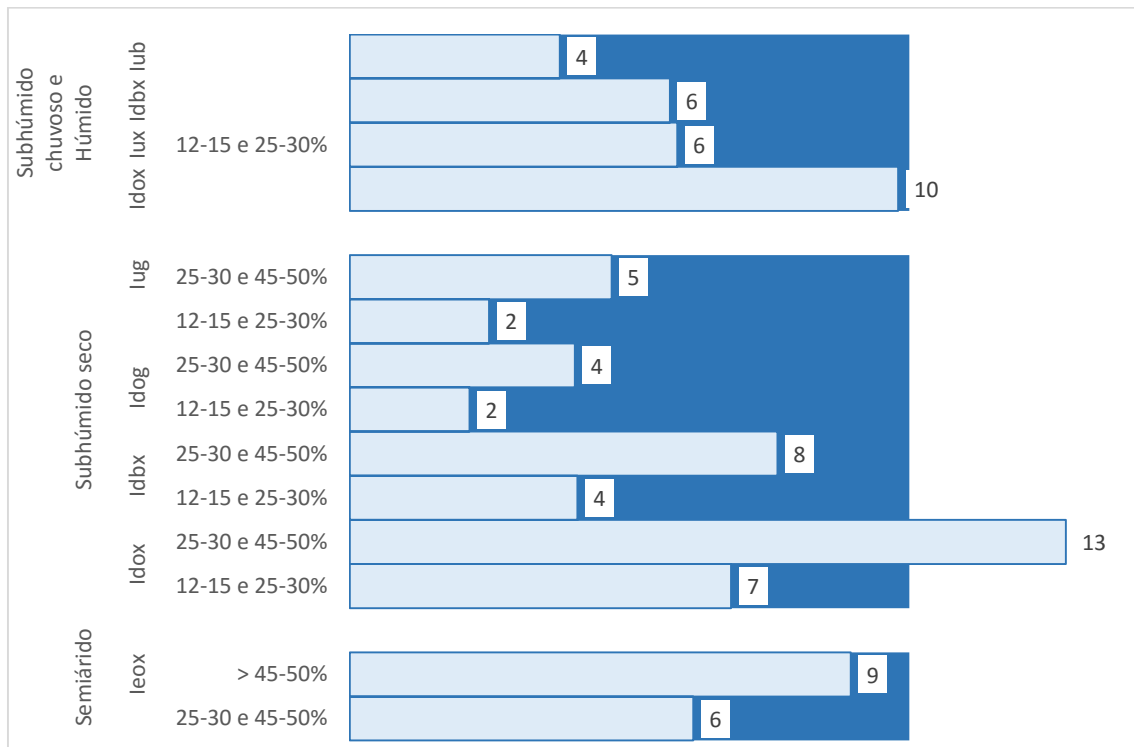


Figura 31 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 50 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira, em ano médio. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.

O mesmo cenário, para condições de anos excepcionais, mostra uma pequena variação, ocorrendo o aumento dos valores de perda de solo relativamente ao ano médio. Passa-se a obter dois valores acima do limite de 10 toneladas por hectare, para o solo Idox com declive 12-15 e 25-30% para a região Subhúmida Chuvosa e Húmida e com declive 25-30 e 45-50% para o índice de aridez Subhúmido Seco, com 11 e 14 toneladas por hectare respectivamente (Figura 32).

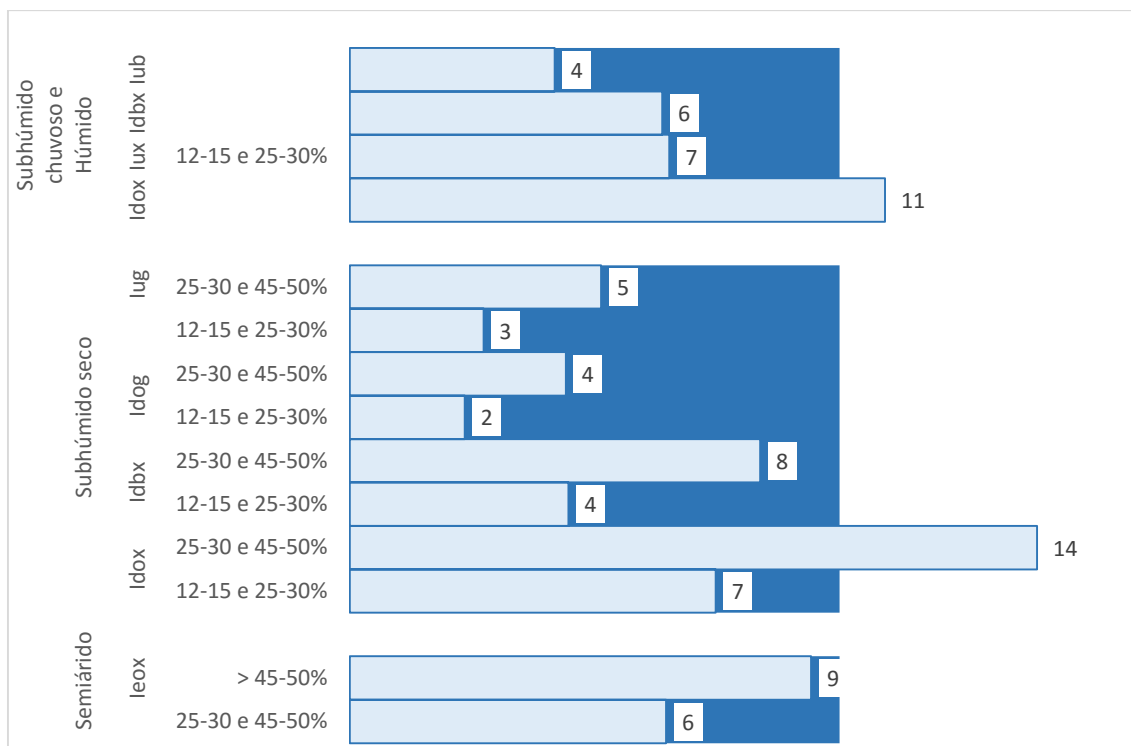


Figura 32 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação simultânea de sementeira e barreiras: barreiras com intervalo de 50 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira, em ano excepcional. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.

É importante salientar que, comparando a aplicação simultânea de barreiras e sementeira em áreas áridas, com a aplicação singular apenas desta última medida (não considerado portanto o fator C), o número de cenários com perda de solo excedendo 10 toneladas por hectare sobe para 3, com o acréscimo do solo Idbz em declive 25-30 e 45-50% no Subhúmido Seco, onde se estima em 11 toneladas por hectare. Ainda no quadro da comparação entre aplicação de barreiras em simultâneo com sementeira e sem sementeira, os valores para os solos Idox com declive 12-15 e 25-30% para o Subhúmido Chuvoso e Húmido e com declive 25-30 e 45-50% para o Subhúmido Seco, subiram para 14 e 18 toneladas por hectare nesta mesma ordem. Nenhum dos valores registados se encontrara abaixo do valor tolerável de 2 toneladas por hectare (Figura 33).

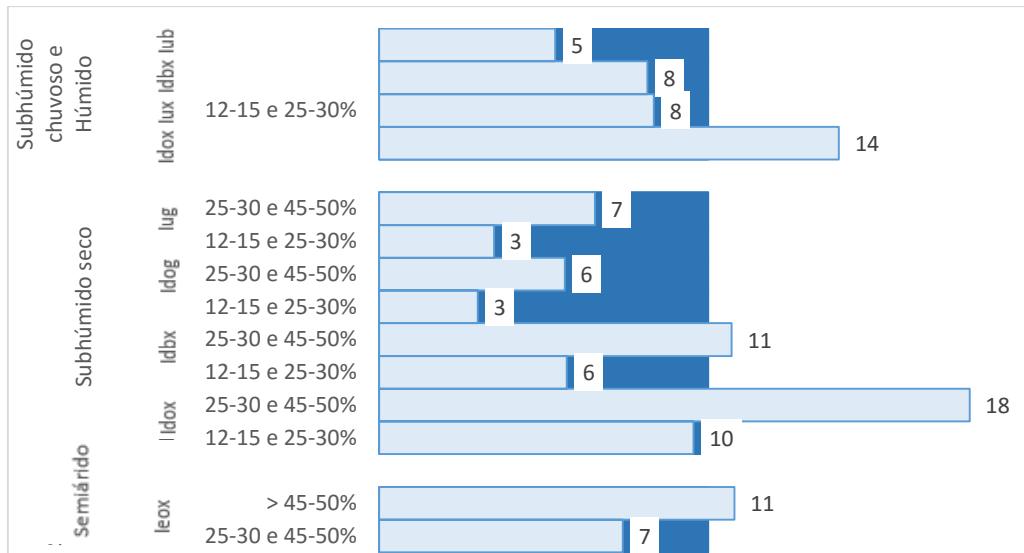


Figura 33 - Perda de solo estimada para encosta de 200 m nos cenários simulados com aplicação de barreiras com intervalo de 50 m e 90% de retenção de sedimentos na barreira. Nota: Em cor escura nas colunas assinala-se o limiar de tolerância de perda de solo de 10 ton/ha.ano.

4.2.4. Ressementeira E Barreiras

Uma possível opção para a maximização do processo de recuperação da área, é a realização de uma nova sementeira após um ano, onde, na teoria, a vegetação anteriormente semeada atinge seu valor máximo de crescimento fornecendo uma determinada cobertura para o solo exposto após o incêndio, influenciando diretamente na redução da perda de solo no local. Nestas condições, admite-se que os resíduos deixados sobre a superfície no final do primeiro ciclo vegetativo, complementam a proteção do solo proporcionada pelo crescimento da vegetação no segundo ano, após ressementeira.

Ao analisar a perda de solo no segundo ano de sementeira, quando esta medida é aplicada em simultâneo com as barreiras, verifica-se que em anos normais (Tabela 15) e anos excepcionais (Tabela 16), as barreiras com grau de retenção elevado (superiores a 90%) apresentam valores aceitáveis para a Região, não excedendo o valor de duas toneladas por hectare, exceto no cenário correspondente ao Semiárido com solo Ieox e declive superior à 45-50%, onde apresenta valores aproximados à 3 toneladas por hectare. Nestas condições também, observa-se que no Semiárido, com solo Ieox, se estimam os maiores valores de perda de solo, excedendo as 10 toneladas por hectare, quando se aplicam barreiras com grau de retenção inferior a 50%, ainda ocasionando a degradação severa do solo na área em questão. Os solos com menores valores de perda de seus

constituintes, são Idog e Iug, pertencentes a zona Subhúmido Seco, e Iub, em Subhúmido Chuvoso e Húmido, apresentando valores menores ou iguais a duas toneladas por hectare em barreiras acima de 50% de retenção.

4.3. Apreciação Global de Resultados

O conjunto dos resultados obtidos e explorados neste capítulo apresenta-se em tabela de modo detalhado no Anexo 3.

A Figura 34 mostra que a técnica de sementeira aplicada isoladamente não logra produzir resultados satisfatórios (em nenhum cenário a perda de solo estimada está abaixo de 10 ton/ha.ano), embora a situação seja melhorada com a ressementeira (3 cenários), comparativamente as barreiras mostram uma eficácia superior mesmo quando aplicadas isoladamente sendo decisivo o grau de retenção de sedimentos que estas podem proporcionar. De fato com 90% de retenção o número de cenários nas condições referidas, é sempre elevado (10 em 14 para espaçamentos de 50 metros e à totalidade de cenários com 10 metros de espaçamentos. Pelo contrário, com barreiras de 50% de retenção apenas 2 cenários cumprem as condições de referência mesmo nos espaçamentos mais curtos (10 metros). A aplicação combinada de sementeira e barreiras melhora substancialmente a eficácia das intervenções pós-fogo. Nos cenários menos favoráveis (10 metros de espaçamento com barreiras de 50% de retenção) A ressementeira é essencial para assegurar o sucesso destas intervenções.

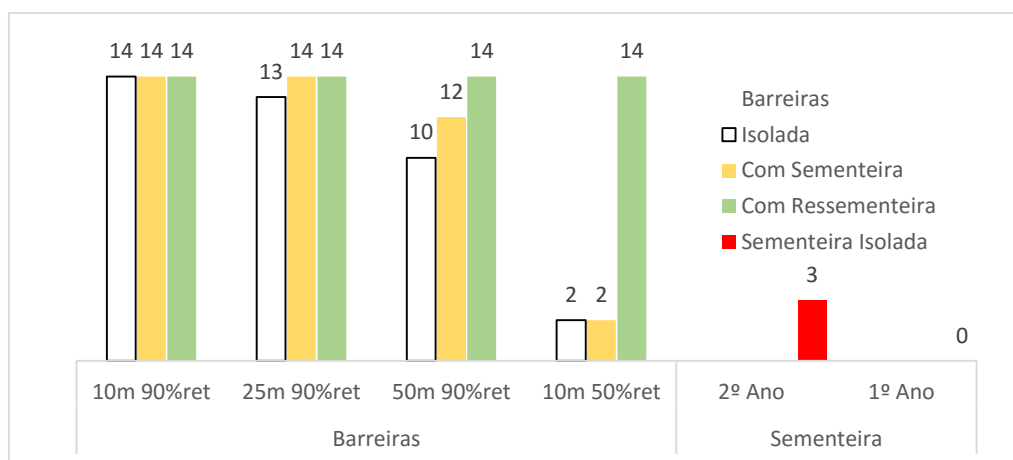


Figura 34 – Número de cenários com estimativa de perda de solo menor que 10 ton/ha.ano após aplicação de intervenções pós-fogo, em ano excepcional e para uma encosta de 200 metros de comprimento: Efeito comparado de barreiras e sementeiras (número máximo de cenários igual à 14).

Tabela 15 - Perda de solo (Produto RKLSCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com a ressementeira e as diferentes condições de instalação das barreiras para ano médio.

Índice de Aridez	Unidade de Solo Dominante	Classe Declive	RKLSCP (ano médio) para diferentes intervalos entre barreiras e grau de retenção na barreira (ton/ha.ano)								
			10m 10%ret	10m 50%ret	10m 90%ret	25m 10%ret	25m 50%ret	25m 90%ret	50m 10%ret	50m 50%ret	50m 90%ret
Semiárido	Ieox	25-30 e 45-50%	18	5	1	26	8	1	31	12	2
		> 45-50%	27	8	1	39	12	2	46	17	3
Subhúmido Seco	Idox	12-15 e 25-30%	10	3	0	14	4	1	17	6	1
		25-30 e 45-50%	19	5	1	27	8	1	32	12	2
	Idbx	12-15 e 25-30%	6	2	0	9	3	0	10	4	1
		25-30 e 45-50%	11	3	1	16	5	1	19	7	1
	Idog	12-15 e 25-30%	3	1	0	5	1	0	5	2	0
		25-30 e 45-50%	6	2	0	9	3	0	10	4	1
	Iug	12-15 e 25-30%	4	1	0	5	2	0	6	2	0
		25-30 e 45-50%	7	2	0	10	3	1	12	4	1
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Idox	12-15 e 25-30%	10	3	0	14	4	1	17	6	1
	Iux		6	2	0	9	3	0	10	4	1
	Idbx		6	2	0	8	3	0	10	4	1
	Iub		4	1	0	5	2	0	7	2	0

Nota: Assinalam-se a verde os valores abaixo de 2 ton/ha.ano, a amarelo os valores entre 2 e 10, e a vermelho os superiores a 10 ton/ha.ano, que constituem limiares de tolerância de perda de solo e são neste caso indicadores de eficácia destas medidas.

Tabela 16 - Perda de solo (Produto RKLSCP) nos diferentes cenários de simulação de acordo com a ressementeira e as diferentes condições de instalação das barreiras para ano excepcional.

Índice de Aridez	Unidade de Solo Dominante	Classe Declive	RKLSCP (ano excepcional) para diferentes intervalos entre barreiras e grau de retenção na barreira (ton/ha.ano)								
			10m 10%ret	10m 50%ret	10m 90%ret	25m 10%ret	25m 50%ret	25m 90%ret	50m 10%ret	50m 50%ret	50m 90%ret
Semiárido	Ieox	25-30 e 45-50%	19	5	1	28	9	1	33	12	2
		> 45-50%	28	8	1	41	13	2	48	18	3
Subhúmido Seco	Idox	12-15 e 25-30%	11	3	1	16	5	1	19	7	1
		25-30 e 45-50%	21	6	1	30	9	2	35	13	2
	Idbx	12-15 e 25-30%	7	2	0	9	3	1	11	4	1
		25-30 e 45-50%	12	3	1	18	5	1	21	8	1
	Idog	12-15 e 25-30%	3	1	0	5	2	0	6	2	0
		25-30 e 45-50%	6	2	0	9	3	1	11	4	1
	Iug	12-15 e 25-30%	4	1	0	6	2	0	7	3	0
		25-30 e 45-50%	8	2	0	11	3	1	13	5	1
Subhúmido Chuvoso e Húmido	Idox	12-15 e 25-30%	11	3	1	16	5	1	19	7	1
	Iux		7	2	0	10	3	1	11	4	1
	Idbx		7	2	0	9	3	1	11	4	1
	Iub		4	1	0	6	2	0	7	3	0

Nota: Assinalam-se a verde os valores abaixo de 2 ton/ha.ano, a amarelo os valores entre 2 e 10, e a vermelho os superiores a 10 ton/ha.ano, que constituem limiares de tolerância de perda de solo e são neste caso indicadores de eficácia destas medidas.



Capítulo V *Conclusão*

Do trabalho desenvolvido foi possível extrair um conjunto de conclusões que procuram dar resposta aos objetivos inicialmente definidos e que abaixo se apresentam.

A utilização da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), atendeu aos propósitos do trabalho, permitindo, através da exploração do modelo, estimar as taxas de erosão potencial em áreas ardidas sob diferentes cenários regionais representativos quanto a clima, solo e topografia, e a redução nestas taxas decorrente de intervenções pós-fogo simuladas para essas áreas (sementeira e instalação de barreiras). Da exploração dos fatores da USLE através das simulações efetuadas sobre os cenários de base resultou a possibilidade de elencar técnicas de controle da erosão pós-fogo e produzir recomendações de acordo com as características das áreas ardidas.

Através das análises realizadas fazendo variar a distribuição de barreiras ao longo da encosta e o seu grau de retenção, foi possível avaliar a eficácia desta técnica para a redução da erosão nas condições definidas como cenários de base. Observou-se que o grau de retenção tem maior influência na redução de perda do solo do que a distância entre barreiras. De fato, em todos os cenários e distâncias entre barreiras, nas com baixo grau de retenção (10%) excedeu-se o limite tolerável de perda de solo de 10 ton/ha por ano. Em contrapartida, para barreiras com grau de retenção elevado (90%), em distâncias menores entre barreiras (10 metros) todos os cenários mostraram perdas de solo inferiores ao tolerável e, em distâncias maiores (50 metros), constatou-se que na maioria dos cenários de base não se ultrapassou aquele limite. Isto evidencia a necessidade de uma implementação adequada desta medida, com a instalação de barreiras eficazes de elevado grau de retenção.

Aplicada apenas no primeiro ano pós-fogo, e de forma isolada, a técnica da sementeira não se mostrou suficientemente eficaz, devido essencialmente ao fraco grau de cobertura do solo proporcionado pela vegetação herbácea, esperado nas condições edafoclimáticas desfavoráveis que normalmente se verificam nas áreas ardidas. Os valores de perda de solo permanecerão elevados, oferecendo graves riscos ao ambiente.

Porém, se após um ano se realizar uma nova sementeira na área afetada, mostrou-se que pode ocorrer uma diminuição dos valores de perda de solo relativamente grande, de modo que alguns cenários de base apresentaram valores abaixo do limite tolerável de perda de solo de 10 ton/ha por ano. Sendo assim, será aconselhável a realização de uma ressementeira no ano seguinte à primeira aquando de intervenções pós-fogo com esta técnica.

Uma possível combinação entre os métodos anteriores iria proporcionar uma situação ótima, como observado nos resultados das simulações efetuadas, onde a maioria dos cenários apresentou valores estimados perda de solo menores ou iguais a 2 ton/ha.ano. Este limiar separa condições de risco de erosão baixo e moderado e corresponde à tolerância de perda de solo para solos delgados e de substrato não renovável.

Por fim, espera-se que esse estudo sirva de base para novos trabalhos e/ou induza futuros trabalhos, refinando a exploração dos fatores do modelo de forma a melhorar as estimativas de perda de solo e, deste modo, proporcionando melhores tomadas de decisão quanto à aplicação de medidas de controlo da erosão em áreas aridas.



Referências Bibliográficas

- Agroconsultores e Coba. 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. PDRITM, UTAD, Vila Real.
- Alauzis, M.V., Mazzarino, M.J., Raffaele, E., Roselli, L. 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecology and Management* v. 192, p. 131-142.
- Andreu, V., Imeson, A.C., Rubio, J.L. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena* v. 44. p. 69-84.
- Bandeira, A. P. N. 2003. Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE. 209 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil.
- Baptista, E., Simões, N., Martins, F. M. G., Fernandez, H., Jordàn, A., Zavalla., L. M. 2013. Evolução do coberto vegetal em cenário pós incêndio caso de estudo – Tavira – São Brás de Alportel 2012 (Portugal). In: Gonçalves, A. B., Vieira, A. Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos. NIGP – Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento da Universidade do Minho. p. 219-226.
- Batista, A.C., Reissmann, C.B., Soares, R.V. 2004. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés. PR. *Floresta*, v. 27. n. 12.
- Ben-Hur, M. 2006. Using synthetic polymers as soil conditioners to control runoff and soil loss in arid and semiarid regions – a review. *Australian Journal Soil Research*. v. 44. p. 191-204.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Leite, F. F. 2013. Erosão dos solos após incêndios florestais: Avaliação de medidas de mitigação aplicadas em vertentes e em canais, no NW de Portugal. In: Gonçalves, A. B., Vieira, A. Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos. NIGP – Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento da Universidade do Minho. p. 187-206.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F. 1990. Conservação do solo. Ícone, São Paulo. 355 p.
- Brais, S., David P., Ouimet, R. 2000. Impacts of wild fire severity and salvage harvesting on the nutrient balance of jack pine and black spruce boreal stands. *Forest Ecology and Management* v. 137, p. 231-243.

- Câmara Municipal Da Maia. 2016. Sobre a importância das florestas. Departamento De Ambiente E Qualidade De Vida. Disponível em: <http://ambiente.maiadigital.pt/ambiente/floresta-1/mais-informacao-1/sobre-a-importancia-das-florestas>. Acesso em: 01 mar. 2016.
- Cerda, A, Lasanta, T. 2005. Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees – 1. Water and sediment yield. *Catena*, nº 60. p. 59-80
- Coelho, C., Valente, S. 2015. Envolvimento dos agentes na identificação e na implementação de soluções para o combate à desertificação e degradação do solo. In: Figueiredo, T., Fonseca, F., Nunes, L. *Proteção do Solo e Combate a Desertificação*. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança – Portugal. p. 37-46
- Correia, C. S. 2012. Restauro da floresta após o incêndio pela adição de poliacrilamida ao solo. *Agrotec: revista técnico-científica agrícola*. Nº 2.
- Cortizo, M. M. 2013. Avaliação do efeito conjunto da gestão florestal e dos incêndios na escorrência e erosão do solo. Tese para obtenção do grau de Doutor. Universidade de Aveiro. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro, Portugal.
- Costa, J.B. 1991. *Caracterização e Constituição do Solo*. Lisboa. Fundação Caloute Gulbenkian.
- Evelpidou, N., Vassilopoulos, A. 2009. Types of water erosion. In: Evelpidou, N., Figueiredo, T. *Soil protection in sloping mediterranean agri-environments: Lectures and exercises*. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança – Portugal. p. 53-66.
- Fernandes, J. P., Freitas, A. R.M. 2011. *Introdução à Engenharia Natural – Volume II*. EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. Rolo e Filhos II, SA.
- Fernandes, P., Botelho, H., Loureiro, C. 2002. *Manual de formação para a técnica do fogo controlado*. Departamento Florestal – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.
- Fernandes, R. C., Cordovil, C. M., De Varennes, A. 2009. Use of Organic Residues to recover Nutrients and Organic Matter Pools in burned soils. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.
- Ferreira, A. D., Silva, J. S., Maia, M. J., Catry, F., Moreira, F. 2005. *Gestão pós-fogo: Extracção da madeira queimada e protecção da floresta contra a erosão do solo*. DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais. 1ª edição. Lisboa – Portugal.

- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Ritsema, C.J., Boulet, A.K., Keizer, J.J., 2008. Soil and water degradation processes in burned areas: lessons learned from a nested approach. *Catena* v. 74, p. 273–285.
- Figueiredo, T. 2013. Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. *Série Estudos*, Nº 84. IPB, Bragança. 47 p.
- Figueiredo, T. 2015. Protecção do Solo em Viticultura de Montanha: Manual Técnico para a Região do Douro. ADVID Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense, Peso da Régua. (autor e editor). Disponível em: <http://www.advid.pt/noticias?codNoticia=317>. Acesso em: 20 jan. de 2016.
- Figueiredo, T. A. F. R. 2001. Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: contributo para a interpretação de registos em vinhas ao alto na Região do Douro. Tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real. 283 p. + anexos.
- Figueiredo, T., Fonseca, F. 2009. Soil conservation measures: Classification and description. In: Evelpidou, N., Figueiredo, T. Soil protection in sloping mediterranean agri-environments: Lectures and exercises. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança – Portugal. p. 77-86.
- Figueiredo, T., Fonseca, F., Pinheiro, H. 2014. Fire hazard and susceptibility to desertification: a territorial approach in NE Portugal. In: Proceedings of the III International Congress of Risks Multi Dimension and Territories Of Risk. Departamento de Geografia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, Novembro de 2014. 117-122..
- Figueiredo, T., Gonçalves, D. 1990. A Erosividade da Precipitação no Interior de Trás-os-Montes: distribuição espacial do factor R da Equação Universal de Perda de Solo estimado por modelo de Arnoldus. *Pedon* 9: 136-161.
- Flanagan, D. C., Nearing, M. A. 1995. USDA Water Erosion Prediction Project hillslope and watershed model documentation. NSERL Report No. 10. West Lafayette, Ind.: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Fox, D., Berolo, W., Carrega, P., Darboux, F. 2006. Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France. *Earth Surface Process. Landforms*. V. 31, p. 606–621.
- Freire, S., Carrão, H., Caetano, M. R. 2002. Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares. Lisboa: IGP.

- Freitas, A. 2008. Manta orgânica. Disponível em: <http://engenhariaverde.blogspot.pt/search/label/Sementeira>. Acesso em: 03 de nov. de 2015.
- Guimarães, P. P., Souza, S. M., Fiedler, N. C., Silva, A. G. 2014. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. Agrarian Academy. Centro Científico Conhecer, Goiânia, Goiás – Brasil, v.1, n.01, p. 38-60.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. 2006. Plano nacional de defesa da floresta contra incêndios. Disponível em: https://poseur.portugal2020.pt/media/4140/plano_nacional_defesa_floresta_contra_incendios.pdf. Acesso em: 03 de nov. de 2015.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. 2013. Recuperação da área ardida do incêndio de picões (Julho de 2013) – Relatório Técnico. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/raa/resource/ficheiros/rel-tec/picoes-rel-tecn>. Acesso em: 03 nov. 2015.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. 2015. 7.º Relatório provisório de incêndios florestais. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/rel/2015/7-rel-prov-1jan-15set-2015.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2015.
- Kruse, R., Bend, E., Bierzychudek P., 2004. Native plant regeneration and introduction of non-natives following post-fire rehabilitation with straw mulch and barley seeding. *Forest Ecology and Management* 196, 299–310
- Leite, M., M. 2011. Impacto dos incêndios nas propriedades dos solos em áreas de montanha sob coberto de matos. 69 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, Portugal.
- Lepsch, I. F. 1977. Solos Formação e Conservação. São Paulo: Edições Melhoramentos.
- Lopes, A., S. 1978. Manual do Solo. São Paulo. Potafos.
- Macedo, F.W., Sardinha, A.M. Fogos Florestais. 1993. Vol. nº 1. Lisboa. Publicações Ciência e Vida Lda.
- MADRP - Grupo De Trabalho Técnico Para As Boas Práticas Agrícolas. 2000. Manual Básico de Práticas Agrícolas: Conservação do Solo e da Água. INGA. 2ª Edição.

- Martins, B., Pedrosa, A. 2013. Os incêndios florestais na alteração do uso e ocupação do solo e a sua relação com a análise da susceptibilidade de ravinamentos: exemplos no norte de Portugal. In: Gonçalves, A. B., Vieira, A. Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos. NIGP – Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento da Universidade do Minho. p. 207-218.
- McCool, D.K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., Meyer, L.D. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Trans. ASAE 30:1387-1396.
- Miranda, A., I., C., N., S. 1998. Efeito dos incêndios florestais na qualidade do ar. 217 f. Dissertação. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal.
- Moreira, N. 2002. Agronomia das forragens e pastagens. Vila Real: UTAD.
- Pereira, A. R. 2006. Como seleccionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 1. ed. Belo Horizonte: Fapi Ltda. 150 p.
- Pereira, J., Carreira, J., Silva, J., Vasconcelos, M., 2006. Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. In: Pereira J.S., Pereira J.M.C. et al. (eds.), Incêndios florestais em Portugal – caracterização, impactos e prevenção, p. 133-16, ISAPress, Lisbon.
- Portugal. 2004. Assembleia da República. Comissão Eventual Para os Incêndios Florestais. Relatório final aprovado em 2004-03-31. Disponível em: http://dracaena.icnf.pt/EstudosDFCI/Documentacao/8/AR_Relatorio_Final_2003.pdf. Acesso em: 29 jan 2016.
- Prabhakara, K., Hively, W. D., McCarty, G. W. 2015. Evaluating the relationship between biomass, percent groundcover and remote sensing indices across six winter cover crop fields in Maryland, United States. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.39, p.88-102.
- Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G. 2000. Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments. USDA Forest Service. General Technical Report. RMRS-GTR.

- Rosário, L. P., Barrio, G., Sanjuán, M. E., Ruiz, A., Valderrama, J. M.; Puigdefabregas, J. 2015. Prioridades de Aplicação do Programa de ação Nacional de Combate à Desertificação com base em condições do Solo. In: Figueiredo, T. de, Fonseca, F. & Nunes, L. Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças. Instituto Politécnico de Bragança. 100 p.
- Savado, P., Sawadogo, L., Tiveau, D. 2007. Effects of grazing intensity and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture Ecosystems and Environment*. v. 118, p. 80-92.
- Shakesby, R.A., Doerr, S.H. 2006. Wildfire as hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews* v. 74, p. 269-307.
- Smets, T., Poesen, J., Knapen, A., 2008. Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. *Earth-Science Reviews* 89, 1–12.
- Vega, J. A., Fontúrbel, T., Fernández, C., Arellano, A., Dfaz-Raviña, M., Carballa, M. T., Martin, A., González-Prieto, S., Merino, A., Benito, E. 2013. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guia para su planificación en galicia. Impreso en Tórculo Artes Gráficas, Santiago de Compostela - Espanha.
- Vieira, D. C. S. 2015. Estudo e modelação dos processos hidrológicos e erosivos em bacias hidrográficas ardidas. Tese para obtenção do grau de Doutor. Universidade de Aveiro. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro, Portugal.
- Wischmeier, W.H., Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, *Agriculture Handbook* 537.
- WOCAT - World Overview of Conservation Approaches and Technologies. 2015. Post-fire Forest Residue Mulch. Disponível em: https://qt.wocat.net/qt_summary.php?lang=english&qt_id=908. Acesso em: 04 nov. de 2015.
- Xanthakis, M., Pavlopoulos, A. 2009. Soil erosion. In: Evelpidou, N.; Figueiredo, T. Soil protection in sloping mediterranean agri-environments: Lectures and exercises. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança – Portugal. p. 45-52.
- Zachar, D. 1982. Soil Erosion. *Developments in soil science* 10. Veda, Publishing of house of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava. p. 548.



Anexos

ANEXO 1 – CENÁRIOS BASE PARA AS SIMULAÇÕES
ANEXO 2 – DADOS DOS PERFIS DE SOLOS UTILIZADOS
ANEXO 3 – RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

ANEXO 1 – CENÁRIOS BASE PARA AS SIMULAÇÕES

Classes de Índice de Aridez (IA)	Unidade de Solo Dominante	Classe Declive adotada (intervalo de Declive, %)
Semiárido (IA < 0,50)	Ieox (Leptossolo êutrico órticos de xistos e rochas afins)	3 (25-30 e 45-50%)
		4 (> 45-50%)
Subhúmido Seco (IA 0,50 à 0,65)	Idox (Leptossolo dístrico órticos de xistos e rochas afins)	2 (12-15 e 25-30%)
		3 (25-30 e 45-50%)
	Idbx (Leptossolo dístrico câmbicos de xistos e rochas afins)	2 (12-15 e 25-30%)
		3 (25-30 e 45-50%)
	Idog (Leptossolo dístrico órticos de granitos e rochas afins)	2 (12-15 e 25-30%)
		3 (25-30 e 45-50%)
	Iug (Leptossolo úmbrico de granitos e rochas afins)	2 (12-15 e 25-30%)
		3 (25-30 e 45-50%)
Subhúmido Chuvoso e Húmido (IA > 0,65)	Idox (Leptossolo dístrico órticos de xistos e rochas afins)	2 (12-15 e 25-30%)
	Iux (Leptossolo úmbrico de xistos e rochas afins)	
	Idbx (Leptossolo dístrico câmbicos de xistos e rochas afins)	
	Iub (Leptossolo úmbrico de rochas básicas)	

ANEXO 2 – DADOS DOS PERFIS DE SOLOS UTILIZADOS

Perfil	438 F	248 C	143 Q	344 Q	134 F	224 C	260 F
Unidade pedológica	Ieox	Idox	Idbx	Idog	Iug	Iux	Iub
Horizonte	Ap	Ap	Ah	Ap	Ah	Ah	Ah
Areia grossa	14,7	15,1	27,6	42,1	43	24,7	8,7
Areia Fina	46,1	45,8	50	31,2	40,4	27,1	53,6
Limo	28,2	31,9	9,2	15,3	6,9	27,9	21
Argila	11	7,2	13,2	11,4	9,7	20,3	16,7
Permeabilidade	0,25	0,32	5,15	1,03	2,07	4,15	0,32
Permeabilidade Cd	5	5	3	4	3	3	5
Matéria orgânica (%)	1,06	1,01	1,51	2,24	12,56	14,56	5,16
Estrutura	Anisoforme subanguloso médio e fino, fraco	Anisoforme subanguloso fino, fraco	Anisoforme subanguloso médio e fino, fraco	Sem estrutura a anisoforme anguloso médio e fino, fraco	Grumoso fino, moderado	Anisoforme subanguloso fino, moderado	Grumoso fino, moderado
Estrutura Cd	4	4	4	4	2	4	2

ANEXO 3 – RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Índice de Aridez	Semiárido		Subúmido seco								Húmido							
Zona Climática	Q5		T4 F4								F2							
P(mm)	550		700								1100							
R (MJ/ha.mm/h)	671		812								1188							
Solo Dominante	Ieox		Idox		Idbx		Idog		Iug		Idox		Iux		Idbx		Iub	
Perfil Tipo	438 F		248 C		143 Q		344 Q		134 F		248 C		143 Q		224 C		260 F	
K (ton/ha.R)	0,05		0,06		0,04		0,03		0,02		0,06		0,04		0,03		0,04	
Pedregosidade	(4) Elevada (30-50%)		(3) Moderada (15-30%)		(3) Moderada (15-30%)		(4) Elevada (30-50%)		(3) Moderada (15-30%)		(3) Moderada (15-30%)		(3) Moderada (15-30%)		(3) Moderada (15-30%)		(4) Elevada (30-50%)	
% EG	40		22,5		22,5		40		22,5		22,5		22,5		22,5		40	
Feg	0,25		0,45		0,45		0,25		0,45		0,45		0,45		0,45		0,25	
Keg	0,01		0,03		0,02		0,01		0,01		0,03		0,02		0,02		0,01	
Classe Declive	3		4		2		3		2		3		2		3		2	
Declive (%)	0,38		0,58		0,21		0,38		0,21		0,38		0,21		0,38		0,21	
θ (°)	20,56		29,9		11,59		20,56		11,59		20,56		11,59		20,56		11,59	
S	5,4		7,87		2,87		5,4		2,87		5,4		2,87		5,4		2,87	
L (m)	200																	
λ	4,52		4,52								4,52							
C (sementeira - ano normal)	0,83		0,71								0,7							
C (sementeira - ano excec.)	0,87		0,78								0,78							

continua...

...continuação

Índice de Aridez	Semiárido		Subhúmido seco						Húmido									
Zona Climática	Q5		T4 F4						F2									
P(mm)	550		700						1100									
R (MJ/ha.mm/h)	671		812						1188									
Solo Dominante	Ieox		Idox		Idbx		Idog		Iug		Idox		Iux		Idbx		Iub	
C (ressementeira - ano normal)	0,27		0,12						0,08									
C (ressementeira - ano excec.)	0,29		0,13						0,09									
L (10 m 10% ret)	0,46																	
L (10 m 50% ret)	0,13																	
L (10 m 90% ret)	0,02																	
L (25 m 10% ret)	0,66																	
L (25 m 50% ret)	0,20																	
L (25 m 90% ret)	0,04																	
L (50 m 10% ret)	0,78																	
L (50 m 50% ret)	0,29																	
L (50 m 90% ret)	0,05																	
RK	9,06		21,95		13,11		6,90		8,02		32,12		19,18		18,74		12,29	
RKS	49	71	63	119	38	71	20	37	23	43	92	55	54	35				
RKLS (L 10 m 10% ret)	68	98	87	164	52	98	27	51	32	60	127	76	74	49				
RKLS (L 10 m 50% ret)	19	28	25	46	15	28	8	14	9	17	36	21	21	14				
RKLS (L 10 m 90% ret)	3	5	4	8	3	5	1	3	2	3	6	4	4	2				
RKLS (L 25 m 10% ret)	97	142	125	235	75	140	39	74	46	86	183	109	107	70				
RKLS (L 25 m 50% ret)	30	44	39	73	23	44	12	23	14	27	57	34	33	22				
RKLS (L 25 m 90% ret)	5	8	7	13	4	8	2	4	2	5	10	6	6	4				

continua...

...continuação

Índice de Aridez	Semiárido		Subhúmido seco								Húmido			
Zona Climática	Q5		T4 F4								F2			
P(mm)	550		700								1100			
R (MJ/ha.mm/h)	671		812								1188			
Solo Dominante	Ieox		Idox		Idbx		Idog		Iug		Idox	Iux	Idbx	Iub
RKLS (L 50 m 10% ret)	115	167	148	278	88	166	47	87	54	102	217	129	126	83
RKLS (L 50 m 50% ret)	42	62	55	103	33	61	17	32	20	38	80	48	47	31
RKLS (L 50 m 90% ret)	7	11	10	18	6	11	3	6	3	7	14	8	8	5
RKSCL (L 10 m 10% ret) sement. ano norm.	56	82	62	117	37	70	20	37	23	43	89	53	52	34
RKSCL (L 10 m 50% ret) sement. ano norm.	16	23	18	33	10	20	5	10	6	12	25	15	15	10
RKSCL (L 10 m 90% ret) sement. ano norm.	3	4	3	6	2	3	1	2	1	2	4	3	3	2
RKSCL (L 25 m 10% ret) sement. ano norm.	80	117	89	168	53	100	28	53	33	61	128	77	75	49
RKSCL (L 25 m 50% ret) sement. ano norm.	25	36	28	52	17	31	9	16	10	19	40	24	23	15
RKSCL (L 25 m 90% ret) sement. ano norm.	4	6	5	9	3	5	2	3	2	3	7	4	4	3
RKSCL (L 50 m 10% ret) sement. ano norm.	95	139	106	198	63	118	33	62	39	73	152	91	89	58
RKSCL (L 50 m 50% ret) sement. ano norm.	35	51	39	73	23	44	12	23	14	27	56	34	33	22
RKSCL (L 50 m 90% ret) sement. ano norm.	6	9	7	13	4	8	2	4	2	5	10	6	6	4

continua...

...continuação

Índice de Aridez	Semiárido		Subhúmido seco								Húmido			
Zona Climática	Q5		T4 F4								F2			
P(mm)	550		700								1100			
R (MJ/ha.mm/h)	671		812								1188			
Solo Dominante	Ieox		Idox		Idbx		Idog		Iug		Idox	Iux	Idbx	Iub
RKSCL (L 10 m 10% ret) sement. ano excec.	59	86	68	128	41	76	21	40	25	47	100	60	58	38
RKSCL (L 10 m 50% ret) sement. ano excec.	17	24	19	36	11	22	6	11	7	13	28	17	16	11
RKSCL (L 10 m 90% ret) sement. ano excec.	3	4	3	6	2	4	1	2	1	2	5	3	3	2
RKSCL (L 25 m 10% ret) sement. ano excec.	85	123	98	184	58	110	31	58	36	67	143	86	84	55
RKSCL (L 25 m 50% ret) sement. ano excec.	26	38	30	57	18	34	10	18	11	21	44	27	26	17
RKSCL (L 25 m 90% ret) sement. ano excec.	5	7	5	10	3	6	2	3	2	4	8	5	5	3
RKSCL (L 50 m 10% ret) sement. ano excec.	100	146	116	218	69	130	36	68	42	80	169	101	99	65
RKSCL (L 50 m 10% ret) sement. ano excec.	37	54	43	80	26	48	13	25	16	29	63	37	37	24
RKSCL (L 50 m 10% ret) sement. ano excec.	6	9	7	14	4	8	2	4	3	5	11	7	6	4
RKSCL (L 10 m 10% ret) ressem. ano norm.	18	27	10	19	6	11	3	6	4	7	10	6	6	4

continua...

...continuação

Índice de Aridez	Semiárido		Subhúmido seco								Húmido							
Zona Climática	Q5		T4 F4								F2							
P(mm)	550		700								1100							
R (MJ/ha.mm/h)	671		812								1188							
Solo Dominante	Ieox		Idox		Idbx		Idog		Iug		Iox		Iux		Idbx		Iub	
RKSCL (L 10 m 50% ret) ressem. ano norm.	5	8	3	5	2	3	1	2	1	2	3	2	2	2	1			
RKSCL (L 10 m 90% ret) ressem. ano norm.	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
RKSCL (L 25 m 10% ret) ressem. ano norm.	26	39	14	27	9	16	5	9	5	10	14	9	8	5				
RKSCL (L 25 m 50% ret) ressem. ano norm.	8	12	4	8	3	5	1	3	2	3	4	3	3	2				
RKSCL (L 25 m 90% ret) ressem. ano norm.	1	2	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0				
RKSCL (L 50 m 10% ret) ressem. ano norm.	31	46	17	32	10	19	5	10	6	12	17	10	10	7				
RKSCL (L 50 m 50% ret) ressem. ano norm.	12	17	6	12	4	7	2	4	2	4	6	4	4	2				
RKSCL (L 50 m 90% ret) ressem. ano norm.	2	3	1	2	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0				
RKSCL (L 10 m 10% ret) ressem. ano exec.	19	28	11	21	7	12	3	6	4	8	11	7	7	4				
RKSCL (L 10 m 50% ret) ressem. ano exec.	5	8	3	6	2	3	1	2	1	2	3	2	2	1				

continua...

...continuação

Índice de Aridez	Semiárido		Subhúmido seco								Húmido							
Zona Climática	Q5		T4 F4								F2							
P(mm)	550		700								1100							
R (MJ/ha.mm/h)	671		812								1188							
Solo Dominante	Ieox		Idox		Idbx		Idog		Iug		Idox		Iux		Idbx		Iub	
RKSCL (L 10 m 90% ret) ressem. ano exec.	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
RKSCL (L 25 m 10% ret) ressem. ano exec.	28	41	16	30	9	18	5	9	6	11	16	10	9	6	6	6	6	
RKSCL (L 25 m 50% ret) ressem. ano exec.	9	13	5	9	3	5	2	3	2	3	5	3	3	2	2	2	2	
RKSCL (L 25 m 90% ret) ressem. ano exec.	1	2	1	2	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
RKSCL (L 50 m 10% ret) ressem. ano exec.	33	48	19	35	11	21	6	11	7	13	19	11	11	7	7	7	7	
RKSCL (L 50 m 50% ret) ressem. ano exec.	12	18	7	13	4	8	2	4	3	5	7	4	4	3	3	3	3	
RKSCL (L 50 m 90% ret) ressem. ano exec.	2	3	1	2	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	