



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Estudo da variabilidade espacial da aptidão das
terras para o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)
numa zona do Alentejo, como ferramenta de apoio
à decisão**

Carlos Miguel Ferreira Pereira

Orientadora:

Professora Doutora Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio

Co-orientador:

Professor Doutor José Manuel Godinho Calado

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

Évora, 2016

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Estudo da variabilidade espacial da aptidão das terras
para o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) numa zona do
Alentejo, como ferramenta de apoio à decisão**

Carlos Miguel Ferreira Pereira

Orientadora:

Professora Doutora Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio

Co-orientador:

Professor Doutor José Manuel Godinho Calado

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

Évora, 2016

*“As pessoas podem ser divididas em três grupos:
As que fazem as coisas acontecerem,
As que olham para as coisas a acontecerem
E as que ficam a perguntar o que foi que aconteceu.”*

H. Jackson Brown

AGRADECIMENTOS

Quero reservar uma palavra de reconhecimento à orientadora deste trabalho, Prof.^a Doutora Elsa Sampaio por todo o apoio que me proporcionou neste trabalho, aconselhando-me e transmitindo-me o conhecimento necessário ao longo da elaboração da dissertação de mestrado, bem como a motivação, especialmente nesta reta final de mais uma etapa da minha vida.

Ao Prof. Doutor José Calado, que no papel de co-orientador sempre me orientou com toda a sabedoria, dando o seu contributo no que diz respeito à cultura do grão-de-bico.

Ao Prof. Doutor Anacleto Pinheiro pelo convite para ingressar neste projeto e que fez com que tivesse o meu primeiro contacto com a cultura. O meu obrigado.

À Prof. Doutora Ana Cristina Gonçalves pela competência, disponibilidade, compreensão e incentivo que permitiu o desenvolvimento e conclusão desta dissertação de mestrado.

Ao Prof. Doutor Luís Leopoldo Silva, diretor do mestrado em Engenharia Agronómica por todo o apoio e disponibilidade demonstrada ao longo de todo o curso e especialmente durante a realização desta dissertação.

Agradeço igualmente à Doutora Isabel Duarte investigadora auxiliar do INIAV, IP, por toda a informação e estudos relacionados com a cultura do grão-de-bico que me forneceu.

Ao João Rodrigues por todo o apoio e disponibilidade demonstrados durante o decorrer deste trabalho.

O agradecimento mais relevante destina-se aos meus avós, pai, mãe, irmã e à Sara, cuja compreensão e apoio permitiram a conclusão deste trabalho.

O meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

RESUMO

Estudo da variabilidade espacial da aptidão das terras para o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) numa zona do Alentejo, como ferramenta de apoio à decisão

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das culturas proteaginosas mais importantes do mundo, desempenhando um papel importante na alimentação humana, como suplemento das necessidades em proteína vegetal.

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a definição de zonas de aptidão, em função das características físicas e químicas do solo, das disponibilidades hídricas para as diferentes fases do ciclo fenológico e das formas de relevo para a cultura de Outono/Inverno em regime de sequeiro. A metodologia foi implementada em ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitindo a produção de cartografia. Esta é uma ferramenta de gestão permitindo a seleção de zonas mais adaptadas à cultura.

Da aplicação da metodologia verificou-se que as maiores limitações edafo-climáticas estão relacionadas com profundidade e capacidade de retenção de água do solo.

Palavras Chave: Grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), Aptidão das terras, Alentejo, SIG.

ABSTRACT

Study of the spatial variability of land suitability for chickpea (*Cicer arietinum* L.) in an region in Alentejo, as a decision support tool

The chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important protein crop in the world. It plays an important role in human nutrition, as a supplement to the needs of vegetable protein. The objective of this study was the development of a methodology for the definition of land suitability areas, as function of the physical and chemical characteristics of the soil, hydric availability for the different cultural phenological phases and land forms.

The methodology was implemented in a Geographical Information System (GIS) with map production. This is a management tool allowing the selection of the most suited areas for the culture.

Main edaphoclimatic limitations were related with depth and water retention of the soil.

Key words: Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Land Suitability, Alentejo, GIS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Estrutura da dissertação.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. A cultura do grão-de-bico	3
2.1.1. Origem e distribuição	3
2.1.2. Caracterização Botânica	3
2.1.2.1. Taxonomia.....	3
2.1.2.2. Morfologia.....	4
2.1.2.3. Tipos de cultivares	5
2.1.3. Valor Nutricional.....	6
2.1.4. Fitossanidade	7
2.1.5. Plantas infestantes	9
2.1.6. Produção de grão-de-bico.....	9
2.1.7. Sistema de Produção	9
2.1.8. Condições edafo-climáticas para o desenvolvimento da cultura.....	11
2.2. Definição de aptidão das terras	12
2.2.1. Sistema de avaliação da aptidão das terras.....	12
2.2.1.1. Sistemas de Informação Geográfica.....	13
3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE APTIDÃO PARA O GRÃO-DE-BICO	15
3.1. Parâmetros que determinam as características do solo.....	16
3.1.1. Profundidade efetiva	16
3.1.2. Compacidade.....	17
3.1.3. Reação do solo	18
3.2. Parâmetros que caracterizam as qualidades do solo.....	19
3.2.1. Fertilidade.....	19
3.2.2. Disponibilidades hídricas do solo.....	21
3.2.2.1. Avaliação das formas de relevo.....	21
3.2.2.2. Balanço Hídrico.....	24
3.2.3. Métodos para avaliação dos parâmetros de conservação do solo.....	30
3.2.3.1. Riscos de Erosão	30
3.2.3.2. Possibilidades de mecanização.....	31
3.3. Métodos para o desenvolvimento da aptidão do grão-de-bico.....	32

4. CASO DE ESTUDO	36
4.1. Área de Estudo	36
4.2. Caracterização da área de estudo	37
4.2.1. Uso e ocupação do solo	37
4.2.2. Humanização da paisagem	38
4.2.3. Clima	38
4.2.4. Relevo	40
4.2.5. Solos	40
4.3. Resultados da aplicação da metodologia à área de estudo	41
4.3.1. Características físicas do solo	42
4.3.2. Características químicas do solo	43
4.3.3. Características físico-químicas do solo	44
4.3.4. Disponibilidades hídricas para os diferentes estados fenológicos	44
4.3.5. Disponibilidades hídricas para a cultura	45
4.3.6. Aptidão para a cultura do grão-de-bico	46
5. CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	i
ANEXO 1. Diagrama para classificação da textura	ii
ANEXO 2. Propriedades de retenção de água classificadas por classes texturais de solo	iii
ANEXO 3. Modelo Digital do Terreno (MDT) para o caso de estudo apresentado.	iv
ANEXO 4. Formas de Relevo para o caso de estudo apresentado	ii
ANEXO 5. Declives da área de estudo.	vi
ANEXO 6. Ilustração dos solos existentes na área em estudo.	vii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Germinação e desenvolvimento inicial (Adaptado de Saskpulse, 2011).....	4
Figura 3 – Flores e sementes da cultivar do tipo <i>kabuli</i> (fotografia do autor e MS Corporation, 2013).	5
Figura 2 - Flores e sementes da cultivar do tipo <i>desi</i> (Pratijit, 2009 e USDA, 2012).	5
Figura 4 – Ciclo do fungo <i>Ascochyta rabiei</i> (Pass) Lbr. responsável por causar a doença raiva (Adaptado de Saskpulse (2010))......	8
Figura 5 - Ciclo vegetativo do grão-de-bico em que S - sementeira; E - emergência; F - floração; M - Maturação (adaptado de Pinto <i>et al.</i> , 1990).....	10
Figura 6 – Exemplo da folha de cálculo utilizada na determinação do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite.....	25
Figura 7 - Fluxograma;.....	35
Figura 8 - Localização e delimitação da área em estudo;.....	36
Figura 9 - Gráfico termopluiométrico baseado em valores de precipitação média mensal e temperatura média mensal da normal climatológica 1981-2010 (provisórias) (IPMA, 2014)....	39
Figura 10 - Famílias de solos que representam a zona em estudo.....	41
Figura 11 - Profundidade efetiva do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.....	47
Figura 12 - Compacidade do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	48
Figura 13 – Interação das características físicas do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	49
Figura 14 – Reação do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	50
Figura 15 - Fertilidade do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	51
Figura 16 – Interação das características químicas do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	52
Figura 17 – Interação entre as características físicas e químicas do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	53
Figura 18 – Cruzamento das formas de relevo com a germinação para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.	54
Figura 19 – Cruzamento das formas de relevo com o desenvolvimento vegetativo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.....	55
Figura 20 – Cruzamento das formas de relevo com a floração para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.....	56
Figura 21 – Interação das formas de relevo com as necessidades hídricas da cultura nas diferentes fases do ciclo fenológico para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.....	57
Figura 22 – Carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico sem considerar as possibilidades de mecanização.	58
Figura 23 – Carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico considerando as possibilidades de mecanização.	59
Figura 24 – Riscos de erosão para a zona em estudo.	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Informação nutricional e energética do grão-de-bico por 100 g de parte edível (adaptado da Tabela de composição dos Alimentos - TCA).....	6
Tabela 2 - Graus de fertilidade (f), valor da classe entre parênteses.....	21
Tabela 3 – Classes de aptidão para a capacidade de germinação do grão-de-bico, valor da classe entre parênteses.....	27
Tabela 4 – Classes de aptidão para o desenvolvimento vegetativo;.....	28
Tabela 5 – Classes de aptidão para o período de reprodução e maturação do grão-de-bico;.....	29
Tabela 6 –Classes de aptidão para as características físicas do solo;.....	33
Tabela 7 - Classes de aptidão para as características químicas do solo;.....	33
Tabela 8 - Classes de aptidão para a interação entre as características físicas e químicas do solo.	34
Tabela 9 – Classes de aptidão para a interação entre a germinação (Germ.) e o desenvolvimento vegetativo (DVeg.).....	34
Tabela 10 – Classes de aptidão para a interação entre germinação x desenvolvimento vegetativo e a floração;.....	34
Tabela 11 - Classes de aptidão para a interação entre as características físico-químicas do solo com as disponibilidades hídricas para a cultura;.....	34
Tabela 12 - Uso e ocupação do solo na NUT II Alentejo para o ano 2010 (Vale <i>et al.</i> , 2013);..	38

ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Perda de solo (t/ha)

C – Compacidade

CC – Capacidade de campo (%)

CE – Capacidade de emurchecimento (%)

cf. - confrontar

Dap – Densidade aparente (adimensional)

Dr – Massa volúmica das partículas do solo (adimensional)

DVeg. – Desenvolvimento vegetativo

E – Riscos de Erosão

F – Fertilidade

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

Flor. - Floração

FR – Formas de relevo

FRGDF – Disponibilidades hídricas para a cultura

Germ. - Germinação

H – Disponibilidades hídricas do solo

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

k – fator de erodibilidade do solo (t/h/MJ/mm)

L – Comprimento da encosta (adimensional)

M – Possibilidades de mecanização

MDT – Modelo digital do terreno

m.e. - miliequivalente

Mt – Milhões de tonelada

n.d. – sem data

P – Reação do solo

R – Profundidade efetiva (mm)

RCPF – Características físico-químicas do solo

S – Soma das bases de troca (m.e./100g)

SIG - Sistema de Informação Geográfico

T – Capacidade de troca catiónica (m.e./100g)

TIN – *Triangulated Irregular Network*

TPI – *Topographic Position Index*

U – Capacidade de água utilizável do solo

V – Grau de saturação em bases (%)

WRBSR – *World Reference Base for Soil Resources*

Z – Profundidade do horizonte (mm)

Φ – Porosidade total do solo

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de produção de proteína vegetal no mundo e, em particular, na Europa, continente com um baixo grau de autoaprovisionamento em que o balanço de produção e consumo é extremamente negativo, permite confirmar a existência de um mercado em que a procura é maior que a oferta. Deste modo, e tal como sucede também em Portugal, torna-se urgente o aumento da área de produção, verificando quais as culturas que conseguem expressar o seu potencial produtivo nas condições ecológicas mediterrânicas, o que implica manter a competitividade em relação a outras culturas de forma a assegurar o interesse dos agricultores (Duarte & Calado, 2014).

Nas culturas produtoras que proporcionam uma importante fonte de proteína vegetal e com boa capacidade de adaptação às condições mediterrânicas encontra-se o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) (Toureiro *et al.*, 2011; Duarte & Calado, 2014). Esta é uma proteagínosa que desempenha um papel importante na alimentação humana como suplemento das necessidades em proteína, constituindo uma excelente fonte deste nutriente.

As necessidades específicas da agricultura têm vindo a exigir gradualmente, a utilização de meios que envolvem os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estes desempenham um papel vital na implementação dos processos de apoio à decisão, permitindo armazenar, integrar e processar grandes quantidades de dados georreferenciados e apresentar a informação graficamente com um formato de fácil compreensão para os decisores (Perdigão, 2003).

1.1. Objetivos

O objetivo deste estudo é desenvolver uma metodologia para a definição da aptidão à produção de grão-de-bico em regime extensivo.

A seleção de áreas para a cultura do grão-de-bico tem sido efetuada a partir do conhecimento empírico e do histórico de produção. Os produtores agrícolas têm por hábito recorrer à carta de capacidade de uso do solo criada para cereais de sequeiro. No entanto, a sua utilização não é aplicável a outro tipo de culturas. Deste modo, com a metodologia a desenvolver pretende-se conhecer, com detalhe, várias informações sobre a localização das áreas com potencial produtivo para a cultura do grão-de-bico, em

função das características do solo (físicas e químicas), relevo e clima, que a tornam independente dos históricos de produção.

Como resultado da implementação da metodologia em SIG, para um caso de estudo, foi possível obter um mapa. Este pode ser considerado uma ferramenta de gestão de fácil utilização.

1.2. Estrutura da dissertação

A presente dissertação de mestrado encontra-se organizada em 5 capítulos:

- i) **Capítulo 1: Introdução** – Problemática do estudo onde são expostos os principais objetivos do presente trabalho.
- ii) **Capítulo 2: Revisão Bibliográfica** – Revisão da bibliografia existente sobre a cultura do grão-de-bico, bem como das exigências edafo-climáticas para o seu desenvolvimento. Apresenta-se a definição da aptidão das terras e de que forma é possível a sua avaliação.
- iii) **Capítulo 3: Metodologia** – Apresenta-se o modo de desenvolvimento da metodologia de aptidão para o grão-de-bico, tendo em consideração as características físicas e químicas do solo, disponibilidades hídricas para as diferentes fases do ciclo fenológico e as formas de relevo.
- iv) **Capítulo 4: Caso de Estudo** – é referida a área de estudo, apresentando-se as suas características edafo-climáticas. Apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia à área em estudo.
- v) **Capítulo 6: Conclusões** – Este capítulo apresenta as reflexões finais da presente dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura do grão-de-bico

Fabaceae é uma das maiores famílias botânicas, também conhecida como *Leguminosae* (leguminosa), outrora referida como a carne do homem pobre (Kosgey, 1994). Importantes pelo conteúdo proteico dos seus grãos secos (Barroso *et al.*, 2007) estão-se a tornar cada vez mais importantes nos sistemas de produção agrícola, sendo usadas na alimentação humana desde há milhares de anos (Ribeiro, 2008).

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) como proteaginoso, ou seja, leguminoso com aptidão para a produção de semente, apresenta uma importância fulcral para os agricultores. A cultura tem grande relevância nos sistemas agrícolas e na conservação dos solos. Possibilita a diversificação das rotações de culturas, interrompendo o ciclo de doenças, contribuindo para o controlo de infestantes e favorecendo a fixação de azoto atmosférico, consequência da associação simbiótica das suas raízes com a bactéria *Rhizobium* (Coletta, 2010; Chudleigh, 2012).

2.1.1. Origem e distribuição

O grão-de-bico foi das primeiras leguminosas com aptidão para a produção de grão (proteaginosas) a serem domesticadas (Singh, 1997).

Crê-se que esta cultura tenha o centro de diversificação entre o atual sudeste da Turquia e zonas adjacentes à Síria uma vez que foram encontradas nesta zona três espécies selvagens do mesmo género: *Cicer bijugum* K. H. Rech, *Cicer echinospermum* P. H. Davis e *Cicer reticulatum* Lad (Singh, 1997). Esta última pode classificar-se como uma subespécie selvagem de *Cicer arietinum*, uma vez que são morfologicamente idênticas e podem cruzar-se entre si (Ladizinsky, 1975). Mais tarde, a cultura começou a ser produzida no sul da Ásia, Europa, e posteriormente África, América e Austrália.

2.1.2. Caracterização Botânica

2.1.2.1. Taxonomia

O grão-de-bico pertencente ao género *Cicer* L., tribo *Cicereae* Alef., família *Fabaceae* ou *Leguminosae*, e subfamília *Faboideae* ou *Papilionoideae*. *Cicer* tem na origem o latim, e deriva do grego 'kikus' que significa força ou resistência (Duschak, 1871). A palavra *arietinum* também tem origem no latim, traduzido do grego "krios",

que significa carneiro por ser uma alusão à forma da semente do grão-de-bico que se parece com a cabeça de um carneiro (*Aries*) (Van der Maesen, 1987).

2.1.2.2. Morfologia

O grão-de-bico é uma cultura com plantas herbáceas anuais, diploides ($2n=2x=16$) que possuem uma grande variação morfológica na maioria das suas características (Ladizinsky & Adler, 1975; Ahmad *et al.*, 2005). Dependendo do ângulo que os ramos fazem com um eixo vertical, pode-se classificar o porte das plantas em erecto, semi-erecto, decumbente, semi-prostrado e prostrado (normalmente espécies selvagens do género *Cicers*) (Sandhu *et al.*, 2010).

A germinação no grão-de-bico (Figura 1) é hipógea, ou seja, os cotilédones ficam abaixo da superfície do solo (Kosgey, 1994). O crescimento da plúmula produz um lançamento ereto. As folhas são compostas por folíolos imparipinulados, com margens serradas e estipuladas na base. O sistema radical do grão-de-bico é caracterizado por uma raiz bem desenvolvida que se pode estender até 1 metro de profundidade com quatro fileiras de raízes laterais (Kosgey, 1994).

As flores, pedunculadas e axilares, são tipicamente papilionáceas. É uma espécie autogâmica (Nene & Kanwar, 1988).

As vagens são pubescentes, acuminadas e intumescidas. Geralmente existe a formação de uma a duas sementes por vagem (Redden & Berger, 2007). Em média os ramos primários contribuem para 54% da produção, os ramos secundários para 27% e o ramo principal para 19% (Singh, 1997).

Todas as superfícies externas da planta, com a exceção da corola, estão cobertas por tricomas glandulares e não glandulares. Usualmente, as plantas atingem

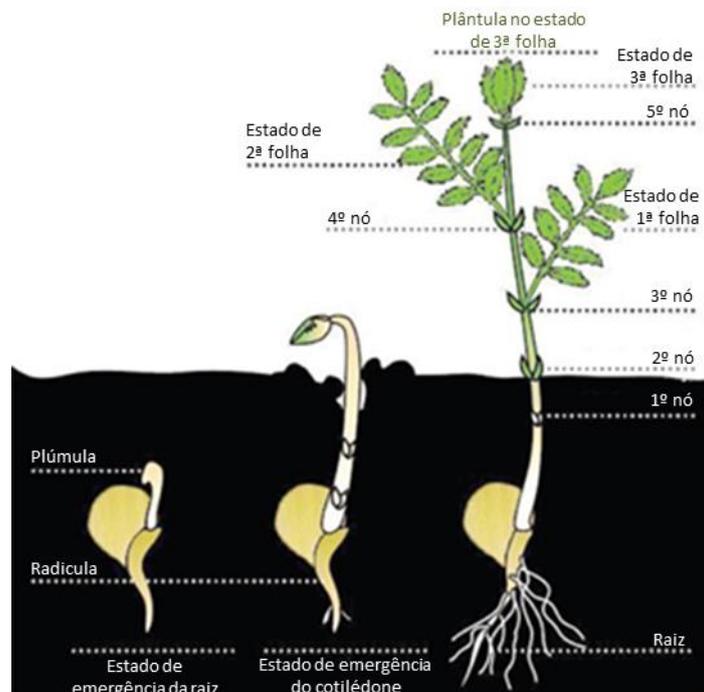


Figura 1 - Germinação e desenvolvimento inicial (Adaptado de Saskpulse, 2011).

uma altura compreendida entre os 20 e 100 centímetros (Singh, 1997).

O grão-de-bico tem um hábito de crescimento indeterminado, ou seja o crescimento vegetativo continua mesmo após o início da floração. Por isso, muitas vezes há uma sequência de folha, botões florais, flores e desenvolvimento de vagens ao longo de cada ramo. As plantas continuam a florir até que encontrem de alguma forma *stress*, quer seja por seca, calor, geada, deficiência em azoto, danos mecânicos e fitotoxicidade (Gaur *et al.*, 2010; Saskpulse, 2011).

2.1.2.3. Tipos de cultivares

Dois tipos de cultivares de grão-de-bico são reconhecidos mundialmente (Cubero, 1975), sendo possível agrupar, com base nas características e pela distribuição geográfica, em: *desi*, sementes de menor calibre (microsperma), aparência angular, superfície rugosa, revestimento espesso o que proporciona um maior conteúdo em fibras e de coloração creme, negra, castanha, amarela ou verde (Figura 2). As plantas são de baixa estatura com pequenos folíolos, flores violetas (Figura 2) e a



Figura 3 - Flores e sementes da cultivar do tipo *desi* (Pratijit, 2009 e USDA, 2012).

maioria tem vários graus de pigmentação causados pelas antocianinas. São semeados durante o Inverno. As sementes de maior calibre (macrosperma), ou seja do tipo *kabuli* possuem uma aparência mais arredondada, uma superfície lisa, um revestimento fino com menor conteúdo em fibras que *desi* e são de cor creme ou branca (Figura 3). A planta é de média a alta estatura, com folíolos maiores quando comparados com o tipo *desi* e flores brancas, uma vez que não contêm antocianina. Podem ser semeadas durante o Inverno e a Primavera.



Figura 2 – Flores e sementes da cultivar do tipo *kabuli* (fotografia do autor e MS Corporation, 2013).

O tipo *desi* representa entre 80 a 85% de todo o grão-de-bico produzido (Jukanti *et al.*, 2012), tendo maior expressão no subcontinente indiano, Etiópia, Irão e México (Pande *et al.*, 2005; Sarvjeet *et al.*, 2014); o tipo *Kabuli* apresenta maior expressão na

região do Mediterrâneo, que inclui o sul da Europa, Ásia ocidental e norte de África (Sarvjeet *et al.*, 2014), bem como a América do Norte e Austrália (Pande *et al.*, 2005).

2.1.3. Valor Nutricional

As leguminosas para alimentação humana, como é o caso do grão-de-bico, constituem uma boa fonte de proteína e energia nas dietas de muitos países, fundamentalmente dos que se encontram em desenvolvimento, mas também dos desenvolvidos, uma vez que são de extrema importância para uma alimentação saudável.

Na tabela 1 encontram-se referidos, de um modo geral, os principais constituintes químicos do grão-de-bico. Apesar disto existem diferenças a nível químico entre variedades, sendo estas apontadas por Akbaba *et al.* (2012). Segundo estes autores as sementes de grão-de-bico contêm 20 a 30% de proteína, aproximadamente 40% de hidratos de carbono (sendo o principal componente o amido) e apenas 3 a 6% de óleo. O conteúdo em proteína é fortemente influenciado pelas condições ambientais e pelas práticas agronómicas, que podem também alterar a sua qualidade nutricional.

Relativamente a minerais, esta cultura é uma boa fonte de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, ferro, zinco e manganês. Contém ainda carotenoides benéficos, bem como β -caroteno e fibras. A fração lipídica é elevada em ácidos gordos insaturados (Gaur *et al.*, 2010).

Tabela 1 - Informação nutricional e energética do grão-de-bico por 100 g de parte edível (adaptado de PorFIR, 2015).

Componentes	Por 100 g (de parte edível – 100%)
Energia	354.0 Kcal
Água	8.0 g
Proteína	19.0 g
Lípidos	5.0 g
Hidratos de Carbono	51.4 g
Fibra alimentar	13.5 g
Minerais	
Cinza	3.0 g
Potássio	980.0 mg
Cálcio	136.0 mg
Fósforo	241.0 mg
Magnésio	100.0 mg
Ferro	6.3 mg
Zinco	2.5 mg

2.1.4. Fitossanidade

A presença e gravidade de qualquer doença nas plantas é determinada pela interação dinâmica de uma cultura suscetível (o hospedeiro), um agente causal (o agente patogénico), e condições ambientais favoráveis (Gan *et al.*, 2006). Existem doenças que afetam a cultura em todos os estados de desenvolvimento. Os agentes patogénicos que afetam o grão-de-bico podem ser fungos, bactérias, viroses, nemátodos ou micoplasma. No entanto, os fungos são a principal causa para ocorrerem perdas quantitativas e qualitativas na produção (Nene *et al.*, 2012).

A raiva é uma doença que tem como agente causal o fungo *Ascochyta rabiei* (Pass.) Labr (Bretag & Crouch, 2005a), caracterizado pelo ciclo apresentado na figura 4. É a maior restrição biótica na produção de grão-de-bico afetando a quantidade produzida, já tendo sido relatadas várias epidemias que afetaram o rendimento da cultura com perdas de produção que podem mesmo chegar a 100% (Pande *et al.*, 2005). As perdas de produção no grão-de-bico variam linearmente em função da severidade da doença, quando são utilizadas variedades moderadamente resistentes (Gan *et al.*, 2006). A doença pode ser devastadora em áreas onde a amplitude térmica se situa entre os 15 e os 25°C e precipitação superior a 150 mm durante o ciclo cultural. O tipo de inóculo, a concentração de inóculo e o crescimento fisiológico da planta também afetam o grau de infeção (Pande *et al.*, 2005, 2010).

A infeção e o desenvolvimento da doença ocorrem entre os 5 e os 30°C com um valor ótimo de 20°C e um mínimo de 17 horas com a presença de água na planta provocam uma infeção grave (Bretag & Crouch, 2005b).

As cultivares recentes apresentam uma resistência parcial ao agente causal, no entanto esse nível de resistência pode ser facilmente quebrado. Tal acontece devido ao elevado potencial de recombinação sexual, uma vez que os ascósporos são produzidos por recombinação genética, o que permite à população de agentes patogénicos tornar-se geneticamente mais diversos. Esta situação faz com que o melhoramento para variedades resistentes de grão-de-bico seja um desafio, uma vez que aumenta a possibilidade de desenvolvimento de estirpes resistentes a fungicidas (Gan *et al.*, 2006).

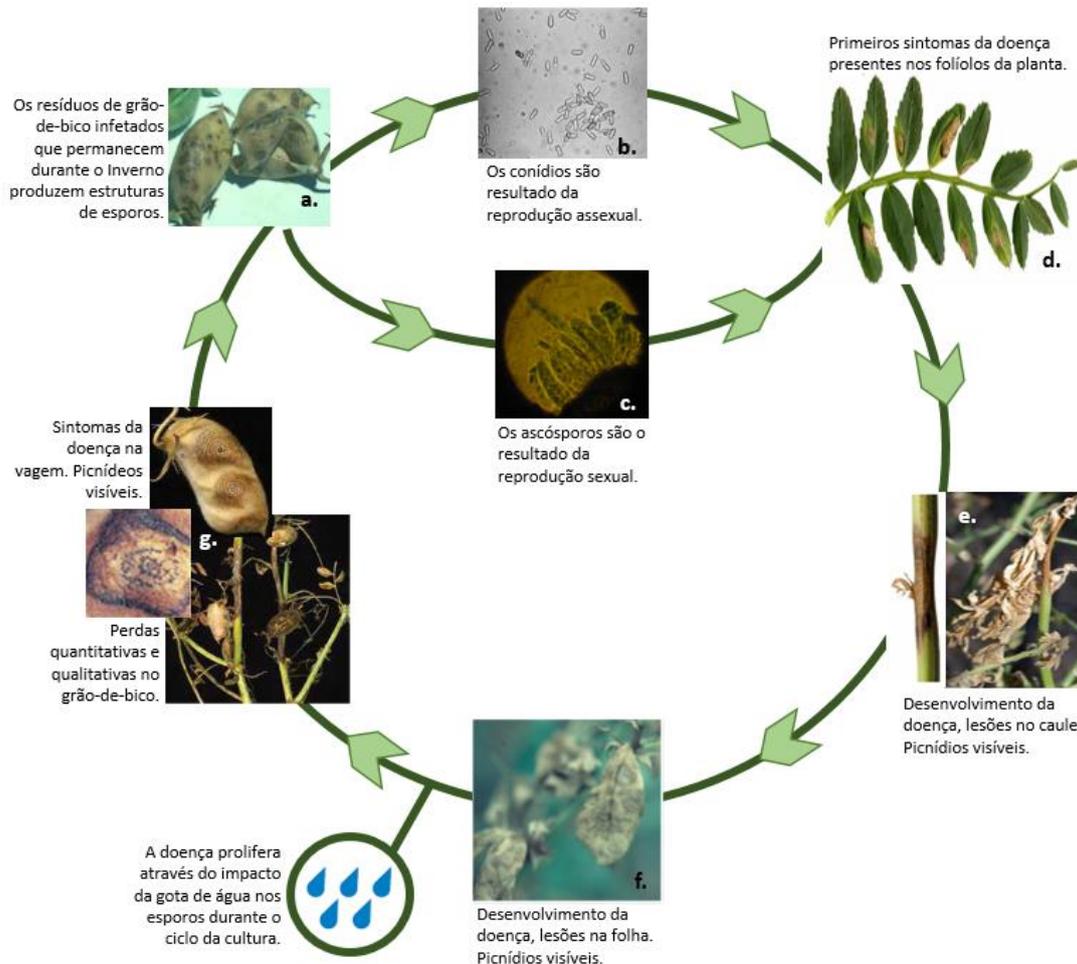


Figura 4 – Ciclo do fungo *Ascochyta rabiei* (Pass) Lbr. responsável por causar a doença raiva (Adaptado de Saskpulse (2010).

Existem várias medidas que podem ser tomadas de forma a minimizar a severidade de ataque da doença, como por exemplo o uso de sementes sem estarem contaminadas por *Ascochyta rabiei* (Pass.). Paralelamente, o tratamento das sementes com fungicidas eficazes reduz a probabilidade de transmissão de doenças para as plântulas. Outra alternativa pode ser a queima ou incorporação de restolho de grão-de-bico, que minimiza o inóculo.

É necessária uma rotação de culturas de três a quatro anos com culturas não-hospedeiras de forma a reduzir os níveis de inóculo. A data de sementeira, a profundidade, a densidade, o equilíbrio nutricional e o potencial genético também são fatores condicionantes. A pulverização com fungicidas é caracterizada por uma boa eficácia e a aplicação de forma preventiva deve ocorrer sempre que existam condições meteorológicas propícias para o desenvolvimento do fungo, de forma a diminuir a pressão da doença (Gan *et al.*, 2006; Gaur *et al.*, 2010; Pande *et al.*, 2010).

2.1.5. Plantas infestantes

As plantas infestantes são um dos fatores responsáveis pela redução da produção de grão-de-bico. A cultura apresenta um crescimento inicial lento, pelo que as infestantes oferecem uma elevada competição com a cultura (Sousa *et al.*, 2000). A severidade na redução da produção depende do tipo, grau e duração da infestação, variando entre 23 e os 87%. As plantas infestantes competem com a cultura pelos nutrientes disponíveis, humidade do solo, radiação solar, e pelo espaço, afetando a fotossíntese (Tepe *et al.*, 2011).

Algumas plantas infestantes podem interferir na colheita mecânica da cultura e, assim reduzir, o retorno económico (Abbas *et al.*, 1996; Mohammadi *et al.*, 2005). Devido à competição que exercem e ao consequente efeito prejudicial, o controlo das plantas infestantes de forma efetiva e apropriada na altura correta é de extrema importância.

2.1.6. Produção de grão-de-bico

O grão-de-bico, leguminosa com grande importância para a alimentação humana, é a segunda leguminosa para grão mais importante a nível mundial, superada apenas pelo feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (FAOSTAT, 2013), sendo produzida em praticamente todo o mundo (Sarvjeet *et al.*, 2014). O continente com maior produção de grão-de-bico é a Ásia com uma produção de 84.5%, enquanto a Oceânia, América, África e Europa têm respetivamente, 6.2, 4.6, 4.1 e 0.7% da produção. Esta cultura é produzida em 32 países, sendo os países que apresentaram uma maior produção em 2013 a Índia (8.83 Mt), a Austrália (0.81 Mt) e o Paquistão (0.75 Mt) (FAOSTAT, 2013).

Em Portugal, a produção total de grão-de-bico no ano de 2013 foi de aproximadamente 439 toneladas, numa superfície de 786 ha (INE, 2013). Segundo dados da FAOSTAT (2013) desde 1967 houve uma tendência para a diminuição da produção de grão-de-bico em Portugal na ordem das 30000 toneladas.

2.1.7. Sistema de Produção

Na região mediterrânica, o grão-de-bico era semeado durante a Primavera, apresentando por isso limitações tal como todas as culturas de sequeiro nesta época. Os rendimentos unitários (300-800 kg/ha) (Sousa *et al.*, 2000) eram irregulares e baixos

uma vez que a produtividade estava dependente da quantidade e distribuição da precipitação que ocorria durante o ciclo vegetativo. Com o aumento da temperatura ambiental e da radiação, acompanhada pela diminuição de frequência e intensidade de precipitação, ocorria *stress* hídrico no final do ciclo produtivo (Junho/Julho), e consequentemente uma grande redução no rendimento. Devido às condições hídricas e térmicas já referidas, a planta possuía um baixo porte (25-30 cm), impossibilitando a colheita mecânica sendo a mesma efetuada manualmente (Pereira *et al.*, 1992). Situação que não sendo sustentável economicamente, levou à diminuição drástica das áreas cultivadas (Singh & Diwakar, 1995; Gaur *et al.*, 2010; Toureiro *et al.*, 2011).

Nas últimas décadas a produção da cultura de grão-de-bico na região mediterrânica tem sofrido alterações significativas, ocorrendo uma inversão no panorama. A sementeira no Outono faz com que o ciclo cultural tenha maior duração (Figura 5), uma vez que a planta tem um hábito de crescimento indeterminado, tal como referido na secção 2.1.2.2. Segundo Pereira *et al.* (1992) os ensaios realizados em sementeira outonal confirmam o potencial produtivo do grão-de-bico, permitindo com esta época de sementeira obter rendimentos mais elevados (1500-2500 kg/ha) relativamente aos observados na Primavera (300-800 kg/ha) desde que se utilizem variedades tolerantes ao fungo *Ascochyta rabiei* (Pass.) Lbr. e haja um controlo eficaz das infestantes. Como possui um porte mais alto possibilita a colheita mecânica.

O ciclo do grão-de-bico inicia-se com a sementeira em meados de Novembro, sempre que as condições meteorológicas o permitam. A emergência ocorre em meados do mês de Dezembro, durando o desenvolvimento vegetativo até ao fim de Março. Até à época de colheita, que corresponde ao período de Junho a Julho, ocorre a fase reprodutiva, de frutificação, terminando o ciclo com a maturação da semente (Figura 5) (Pinto *et al.*, 1990; Barros *et al.*, 2002).

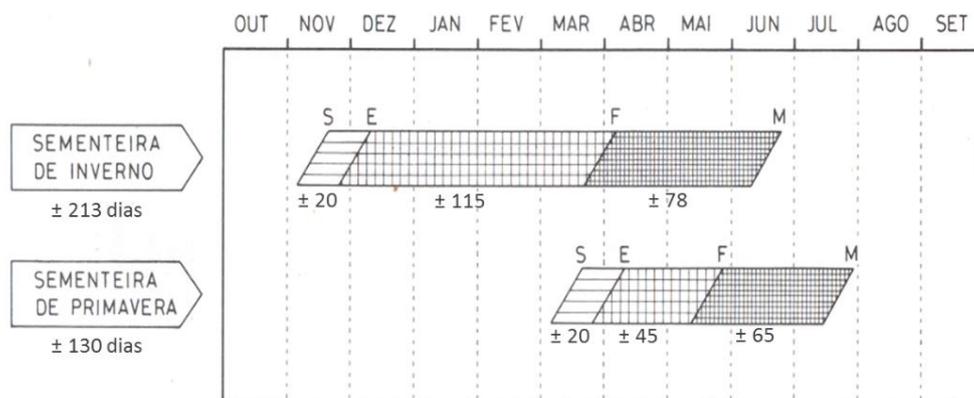


Figura 5 - Ciclo vegetativo do grão-de-bico em que S - sementeira; E - emergência; F - Floração; M - Maturação (adaptado de Pinto *et al.*, 1990).

Das variedades com interesse para produção no nosso país, encontra-se a Elvar. Esta foi desenvolvida pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária em Elvas. A variedade possui uma duração média de ciclo entre os 180 e os 220 dias, dando-se a plena maturação no início do mês de Julho. Em termos sanitários a variedade é moderadamente tolerante à *Ascochyta rabiei* (Pass.) Lbr, e tolerante ao *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* (Padw), conhecido por fusariose. A variedade Elvar possui flores brancas, vagens grandes, com uma semente, distribuídas nos 2/3 superiores da planta, sementes bege escuras. O peso médio de 100 sementes varia entre 38 – 42 gramas. A planta atinge entre os 55 e 65 centímetros de altura, com um porte semi-ereto e ereto, tolerante à acama (Duarte *et al.*, 2015).

2.1.8. Condições edafo-climáticas para o desenvolvimento da cultura

A produção de grão-de-bico é um processo complexo que integra características genéticas e fatores ambientais que ocorrem em todas as fases de desenvolvimento da cultura, desde a germinação até à fase de senescência da planta, tendo assim um carácter poligénico, por definição (Mcneil *et al.*, 2007).

O grão-de-bico é uma planta com um sistema radicular profundo com cerca de 1 metro de profundidade (Kosgey, 1994), o que lhe permite uma fácil adaptação a uma vasta gama de solos desde solos ligeiros a solos pesados (Sousa *et al.*, 2000), sendo por isso também relativamente resistente à secura extraíndo água de camadas mais profundas no perfil do solo (Corp *et al.*, 2004).

A cultura pode ser produzida em diferentes tipos de solo, mas para que expresse todo o seu potencial genético é necessário que seja assegurada uma boa drenagem interna e pH próximo da neutralidade (Mula *et al.*, 2011). Uma boa drenagem interna dos solos permite que mesmo em curtos períodos de encharcamento haja menor suscetibilidade ao apodrecimento do caule e raízes (Oplinger *et al.*, 1990). De forma a atingir um crescimento ótimo, os solos negros e bem drenados são identificados como o tipo de solo mais adequado (Kassie *et al.*, 2009).

Entende-se por clima o conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera, num determinado ponto da superfície da Terra, medidos num longo período de observação (Amaral, 2013).

A temperatura é uma das variáveis climáticas que determina o início da fase de floração. No caso do grão-de-bico, planta que não apresenta resposta à vernalização (Sousa *et al.*, 2000; Abbo *et al.*, 2002), a indução floral acontece por tempo térmico

com unidades de graus-dia ($^{\circ}\text{C}$ dia), ou seja é necessário acumular ao longo do tempo cronológico temperatura para que se conclua uma específica fase de desenvolvimento (Iannucci *et al.*, 2008).

Segundo Johansen *et al.* (1994), o grão-de-bico é uma cultura que apresenta boa resistência a temperaturas baixas (-7°C). Para uma boa germinação são necessárias temperaturas entre os 15 e os 30°C , mas é possível obter melhores resultados com temperaturas de 20°C . Relativamente ao desenvolvimento vegetativo as temperaturas variam entre os 10 e 20°C , apresentando um melhor desenvolvimento para temperaturas diurnas entre 20 a 27°C e a temperaturas noturnas entre 18 a 21°C .

Relativamente à precipitação a cultura apresenta poucas exigências, desenvolvendo-se num intervalo de precipitação entre 150 a 1000 mm, sendo o ótimo de 650 mm (Corral *et al.*, 2013).

Os dois parâmetros climáticos mais importantes são a disponibilidade de água (precipitação), que é considerada como o maior estrangulamento condicionante da distribuição geográfica e produtividade das culturas, bem como a temperatura (Pinto *et al.*, 1990).

2.2. Definição de aptidão das terras

2.2.1. Sistema de avaliação da aptidão das terras

Segundo Sampaio (1999) a avaliação da aptidão das terras é um processo de determinação da aptidão destas para usos específicos, ou seja, da sua capacidade para responder a objetivos bem definidos e diz respeito a um conjunto de princípios, conceitos e métodos básicos que podem ser aplicados em qualquer parte do mundo, em qualquer local ou região.

O conceito de terra não deve ser confundido com o de solo, uma vez que o de terra é muito mais amplo, representando uma área específica da superfície do globo terrestre, compreendendo todos os elementos do meio físico na medida em que eles afetam o seu potencial de utilização. Em relação ao solo, este é um corpo tridimensional que ocupa a parte mais superficial da crosta terrestre tendo propriedades que diferem do material rochoso que lhe está subjacente (Sampaio, 1999).

A avaliação da aptidão das terras tomou distintas formas no correr dos tempos, sendo realizada e designada por diversos métodos. Contudo o surgimento de diferentes propostas e métodos para a avaliação da terra resultou muitas vezes em dificuldades na

troca de informações, surgindo a necessidade de uma padronização da metodologia e terminologia. Deste modo, em 1976 a *Food and Agriculture Organization* (FAO) desenvolveu um Sistema para Avaliação da Aptidão das Terras (FAO, 1976), que estabeleceu um conjunto de princípios e conceitos básicos para avaliação do potencial das terras. Este não constitui um sistema de avaliação propriamente dito, mas uma metodologia que serve de base para o desenvolvimento de sistemas de avaliação, cuja finalidade é dar informação sobre a aptidão das terras (Alves *et al.*, 2003). Este sistema da FAO é, nos dias de hoje, a principal referência da avaliação da terra a nível mundial, tendo servido de base à elaboração das diretivas (*guidelines*) para diferentes tipos de uso das terras, implementadas em muitos países, sem que fosse necessário fazer alterações profundas à metodologia geral (César, 2014).

O método da FAO tem como princípios (Sampaio, 1999; César, 2014):

- i. a aptidão da terra é avaliada e classificada no respeitante a tipos de uso específicos;
- ii. a avaliação pressupõe a comparação entre os benefícios obtidos e os fatores necessários para os diferentes tipos de terras;
- iii. o processo de avaliação pressupõe uma abordagem multidisciplinar;
- iv. a avaliação deve ser feita nos termos do contexto biofísico, económico, social e político da área em consideração;
- v. a avaliação é respeitante ao uso numa base sustentável;
- vi. a avaliação envolve a comparação de mais do que um tipo de uso.

As características da terra são atributos que podem ser medidos e estimados diretamente, enquanto as qualidades são atributos discretos qualitativos que atuam de forma distinta, entre si, no respeitante à influência sobre a aptidão para um tipo específico de uso, resultando de uma ou mais características (Agroconsultores e Coba, 1991).

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos e publicados distintos trabalhos sobre zonas de aptidão, sendo de referir Agroconsultores e Coba (1991), Sampaio (1999), Gomes & Santos (2005) e Das & Sudhakar (2014).

2.2.1.1. Sistemas de Informação Geográfica

Com a divulgação dos sistemas de avaliação da aptidão das terras da FAO, em 1976, surgiu a necessidade de arranjar tecnologia que facilite a implementação dos seus

princípios. O uso em grande escala dos sistemas de informação geográfica influenciou fortemente os procedimentos metodológicos da avaliação da aptidão das terras.

Os SIG são uma ferramenta que permite desenvolver cartografia associada à aptidão das terras.

Os SIG, implementados em programas informáticos, tratam a informação georreferenciada, estabelecendo, de forma ordenada, os dados relativos a um determinado fator, e permitem converter a informação espacial e temporal georreferenciada em dados alfanuméricos (Santos, 2012), para que possa ser tratada.

A utilização deste sistema permite manipular a informação com base em atributos espaciais, obtidos através das suas coordenadas, determinando-se a variabilidade espacial da sua distribuição (Santos, 2012).

A utilização dos SIG através de ferramentas de armazenamento, edição, integração, extração, visualização e análise de dados georreferenciados, facilita determinadas operações de planeamento, gestão e controlo, constituindo-se como uma importante ferramenta de apoio à decisão, permitindo alcançar benefícios de eficiência e eficácia (Barriguinha, 2008).

Neste sentido, o recurso aos SIG facilitou o armazenamento e a análise espacial de dados, possibilitando a rápida consulta da informação da avaliação da aptidão das terras em formatos úteis para apoiar as tomadas de decisão em vários níveis administrativos ou técnicos.

É ainda de referir que para além de facultarem um fácil acesso à informação, possibilitam a elaboração de diferentes cenários alternativos e a simulação dos seus efeitos espaciais, permitindo uma definição mais correta das medidas de planeamento a serem aplicadas (Luz *et al.*, 2001).

3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE APTIDÃO PARA O GRÃO-DE-BICO

Para o desenvolvimento da metodologia de aptidão das terras para a cultura do grão-de-bico em sequeiro, adotou-se o sistema de avaliação da aptidão das terras (*Land suitability evaluation*) recomendado pela FAO (FAO, 1976).

Dos seis princípios formulados por este sistema, considerou-se para o presente estudo os seguintes:

- i. a aptidão ser avaliada para as terras e não para os solos;
- ii. a aptidão das terras ser avaliada e classificada apenas para usos específicos – a metodologia desenvolvida é válida para o grão-de-bico em sistemas de produção de Outono/Inverno em sequeiro, com o sistema de produção em sementeira direta;
- iii. a avaliação ser feita para o contexto físico, económico e social da área – necessário conhecimento das melhores e piores características físicas dos solos, de modo a adaptar as tabelas de severidade à realidade em estudo; o contexto sócio-económico surge do crescente interesse por esta cultura na região e por ser uma espécie de interesse ecológico no novo quadro comunitário;
- iv. a aptidão implicar o uso sem degradação – metodologia aplicada garantido sustentabilidade, através da análise de zonas com risco erosão e do uso da técnica de sementeira direta que prevê a produção agrícola, tendo em conta a conservação do solo; deste modo existe sustentabilidade no sistema agrícola, garantindo-se a continuidade de uma forma rentável;
- v. ser necessária uma abordagem multidisciplinar;

De forma a caracterizar as condições da terra, com vista à avaliação da sua aptidão para o grão-de-bico, recorreu-se às suas características e qualidades.

No caso deste estudo, considerou-se para o desenvolvimento da metodologia de aptidão as seguintes características e qualidades:

- Características do solo:

- i. Profundidade efetiva (R);
- ii. Compacidade (C);
- iii. Reação do solo (P);

- Qualidades do solo:

- iv. Fertilidade (F);
- v. Disponibilidades hídricas do solo (H);
- vi. Riscos de erosão (E);
- vii. Possibilidades de mecanização (M);

- Topografia:

- viii. Formas de relevo (FR);

- Clima:

- ix. Temperatura;
- x. Precipitação.

Considerando o sistema da FAO e tendo em conta que a aptidão pode ser dividida em diferentes classes, optou-se, no presente estudo, pela utilização de 3 níveis (tabelas de severidade), o elevado, moderado e baixo grau de aptidão das terras para a cultura do grão-de-bico. A classe elevado significa que a terra tem condições para permitir elevadas produtividades com o mínimo de introdução de fatores externos com as garantias de sustentabilidade do sistema e de não degradação. A classe moderado significa que a terra tem condições para permitir produtividades moderadas, podendo mesmo ser elevadas, se forem corrigidas as características e/ou qualidades que condicionam a sua classificação. Relativamente à classe baixo significa que a terra tem reduzidas condições para o desenvolvimento da cultura, afetando as produtividades.

3.1. Parâmetros que determinam as características do solo

Optou-se pela lei do mínimo para os parâmetros avaliados para os complexos de solo, de modo a que cada complexo adquira as características do tipo de solo mais desfavorável para a produção do grão-de-bico, uma vez que dá a garantia de que poderá ser melhor mas não poderá ser pior. Esta escolha deve-se ao facto da maioria dos polígonos não possuir percentagem de ocupação da área, uma vez que são constituídos por famílias de solos diferentes sem distinção dos limites de cada um.

3.1.1. Profundidade efetiva

A profundidade efetiva (R) diz respeito á quantidade de solo disponível para o desenvolvimento das raízes das plantas de forma a cumprir as suas funções tanto de absorção de água e nutrientes como de suporte físico (Muñoz-Romero *et al.*, 2012).

Tal como descrito anteriormente a raiz do grão-de-bico é composta por uma raiz bem desenvolvida que pode ir até 1 metro de profundidade (Kosgey, 1994). A profundidade do solo ou espessura útil determina as condições de enraizamento das plantas (Sampaio, 1999).

Na determinação da profundidade efetiva consideraram-se os horizontes descritos no livro *Solos de Portugal* (Carvalho Cardoso, 1965) incluindo o horizonte C sempre que na descrição deste se verificava uma das seguintes premissas: friável, não compacto, não consolidado e de textura grosseira ou mediana (Sampaio, 1999). Para solos com referência a dois perfis, considerou-se o valor médio da profundidade efetiva dos mesmos.

Para as condições de enraizamento consideraram-se as seguintes classes:

- 1: Elevado** – espessura útil ≥ 500 mm;
- 2: Moderado** – espessura útil ≥ 250 mm e < 500 mm;
- 3: Baixo** – espessura útil < 250 mm.

O sistema radicular apresenta quatro filas de raízes laterais, as quais não são muito numerosas, mas têm uma estrutura firme, estando a maioria presente até os primeiros 500 mm de solo (Pariona, n.d.). Segundo Corral *et al.* (2013), a cultura requer solos de mediana profundidade com um mínimo de 250 mm.

3.1.2. Compacidade

A densidade de um solo está intimamente relacionada com a estrutura e com a textura. As alterações na densidade afetam acentuadamente a estrutura do solo (Meurer, 2007). A densidade aparente apresenta o nível de compacidade ou o grau de proximidade entre partículas (Botelho da Costa, 1979; Arrobas & Pereira, 2009).

A compacidade (C) é avaliada a partir dos valores da densidade aparente (Dap) dado que esta é uma característica que depende da porosidade total do solo, tendo com esta última uma relação inversa. Assim, para a determinação da compacidade consideraram-se os valores de densidade aparente de cada tipo de solo. Estes valores foram retirados das análises tipo representativas de um ou mais perfis de solo indicado no livro *Solos de Portugal* (Carvalho Cardoso, 1965). Sempre que eram apresentados dois perfis tipo de solo, considerava-se o valor de Dap mais limitante. No caso de certos horizontes os valores de densidade aparente não se encontravam disponíveis, pelo que foi necessário determinar a classe textural de cada horizonte, utilizando para tal o

diagrama para classificação da textura (Anexo 1) (Botelho da Costa, 1979). Com as classes texturais determinadas, consultou-se a tabela existente no livro *Handbook of Hydrology* (Anexo 2) (Rawls *et al.*, 1993), a fim de poder relacionar a classe com a porosidade total. Considerando a equação 3.1 e a porosidade total, determinou-se a densidade aparente de cada horizonte.

$$D_{ap} = D_r (1 - \Phi) \quad (3.1)$$

onde D_r corresponde à massa volúmica das partículas que constituem o solo, tomando o valor de 2.65 (valor constante na maior parte dos casos, uma vez que a massa volúmica real do solo corresponde à massa volúmica das partículas que o constituem) (Botelho da Costa, 1979; Santos *et al.*, 2013); e Φ corresponde à porosidade total do solo.

Para a compactidade foram consideradas as seguintes classes:

- 1: Elevado** – Densidade aparente ≥ 1.0 e ≤ 1.5 ;
- 2: Moderado** – Densidade aparente > 1.5 e ≤ 1.8 ;
- 3: Baixo** – Densidade aparente > 1.8 ou < 1.0 .

Valores de D_{ap} inferiores a 1 acontecem com porosidade total inferior a 30% ou em casos de textura muito fina onde há bastante porosidade mas de diâmetros muito reduzido e portanto boa para retenção de água mas má para o arejamento (Botelho da Costa, 1979). Segundo USDA (2008), valores de D_{ap} inferiores a 1.5 são os ideais para o correto desenvolvimento da cultura do grão-de-bico, já que existem boas condições para retenção de água e para o arejamento. Com valores superiores a 1.8 a cultura encontrará restrições severas ao seu desenvolvimento, uma vez que o aumento da densidade do solo irá reduzir o arejamento, afetando o crescimento das raízes (Meurer, 2007; USDA, 2008).

3.1.3. Reação do solo

A reação do solo é um parâmetro controlado pelas propriedades eletroquímicas dos coloides do solo (Tan, 1994). Está direta e indiretamente ligada ao crescimento da planta. O efeito direto é manifestado pelo efeito tóxico dos iões H^+ e OH^- , e está indiretamente ligado pela própria disponibilidade de nutrientes para a planta. O parâmetro reação do solo ou pH, representado pela letra P, é uma medida operacional, ou seja, define-se em função de duas medições de força eletromotriz empregando sucessivamente uma solução padrão e a solução a analisar, a temperatura constante. O pH afeta a solubilidade de vários elementos. A carga elétrica das partículas coloidais

varia com o pH, que por isso influi consideravelmente nos fenômenos de adsorção e troca iônicas e nos de dispersão e floculação (Bloom, 2000).

Os valores de pH dos solos foram retirados de Carvalho Cardoso (1965), pelo que sempre que eram apresentados dois perfis tipo de solo, considerou-se o valor de pH limitante.

Consideraram-se as seguintes classes de reação do solo:

- 1: Elevado** – valor de pH ≥ 6.5 e ≤ 8.0 ;
- 2: Moderado** – valor de pH entre >5.5 e <6.5 ou >8.0 e ≤ 8.5 ;
- 3: Baixo** – valor de pH ≤ 5.5 ou > 8.5 .

Os valores de pH entre 6.5 (Corp *et al.*, 2004) e 8.0 (Gaur *et al.*, 2010) são o intervalo ótimo no qual as plantas de grão-de-bico não apresentam qualquer tipo de restrição na sua produção. Segundo Pereira *et al.* (1992) e Saskpulse (2011), valores de pH em água inferiores a 5.5 diminuem o processo de infecção e a capacidade de sobrevivência do *Rhizobium sp.*, bem como redução na fixação de azoto e diminuição do crescimento da planta. Pelas razões mencionadas, considerou-se o pH 5.5, como sendo o valor mínimo definido para o nível moderado. Para valores de pH igual ou inferiores a 5.5 considerou-se o nível baixo. O valor de pH de 8.5 é o valor acima do qual as plantas de grão-de-bico apresentam graves problemas de desenvolvimento relacionados com a alcalinidade do solo (Cubero, 1987), de modo semelhante pH > 8.5 pertence à classe de baixa aptidão.

3.2. Parâmetros que caracterizam as qualidades do solo

3.2.1. Fertilidade

A fertilidade (F) representa não só as capacidades nutritivas dos solos, como também, a sua capacidade de resposta face às fertilizações. As características que melhor traduzem a fertilidade dos solos são, a capacidade de troca catiónica (T) do solo e o seu grau de saturação com bases (V) (Sampaio, 1999). A capacidade de troca catiónica indica a capacidade do solo de reter iões com carga positiva (catiões) ou a capacidade de trocar catiões com a solução do solo (Simões, 2012). Esta característica é de extrema importância, uma vez que confere ao solo a possibilidade de armazenar e impedir que sejam facilmente arrastados pelas águas os elementos nutritivos que nele se vão libertando ou que nele são incorporados sob a forma de fertilizantes (Santos, 1983). Deste modo, as plantas têm a garantia de poderem encontrar na solução do solo, os

nutrientes que necessitam para o seu pleno desenvolvimento (Santos, 2002). O grau de saturação em bases é definido como a relação percentual entre a soma das concentrações das bases de troca (S), sendo estas cálcio, magnésio, potássio e sódio, e a capacidade de troca catiónica (T). Apresenta reflexos diretos na fertilidade do solo, uma vez que influencia a nutrição mineral das plantas e afeta a estrutura do solo (Sertoli, 2009). Esta característica é determinada pela equação 3.2 (Botelho da Costa, 1979; Sertoli, 2009):

$$V = S \cdot 100/T \quad (3.2)$$

onde V corresponde ao grau de saturação (%), S à soma das bases de troca (m.e./100g) e T corresponde à capacidade de troca catiónica (m.e./100g).

Os valores de T e V para os diferentes solos em estudo, foram determinados através da informação disponibilizada no livro *Solos de Portugal* (Carvalho Cardoso, 1965), considerando-se os valores para o horizonte B, já que será deste horizonte que as plantas farão a maior extração de nutrientes, exceto nos solos que têm um perfil tipo A/C onde se consideraram os valores do horizonte A. Sempre que um solo possuía duas análises tipo representativas do perfil optou-se pela escolha dos valores de T e V para o horizonte B, com graus de fertilidade mais desfavoráveis. Optou-se pelos valores mais desfavoráveis para garantir que não existe uma sobrevalorização do grau de fertilidade dos solos. No caso de não existirem dados de T e V para o horizonte referido, considerava-se os dados do horizonte A.

Segundo a classificação “Legenda de solos do Mundo” WRBSR de 2006 (FAO, 2006) os solos que têm horizonte de diagnóstico árgico (solos que correspondem à maioria dos solos em território português) subdividem-se em quatro unidades, dependendo da conjugação entre os valores da capacidade de troca catiónica (superior ou inferior a 24 m.e./100g) e grau de saturação com bases (maior ou menor que 50%). Dado o contexto físico da região em estudo utilizaram-se T e V para distinguir a fertilidade.

Considerando as relações entre as duas características apresentadas considerou-se as seguintes classes de fertilidade do solo (Tabela 2):

- 1: Elevado** – Fertilidade elevada;
- 2: Moderado** – Fertilidade mediana;
- 3: Baixo** – Fertilidade baixa.

Tabela 2 - Graus de fertilidade (F).

T (m.e./100g) \ V(%)	> 50	50 a 20	< 20
> 15	1	2	3
6 – 15	2	2	3
< 6	3	3	3

Os graus de fertilidade considerados tiveram por base a lei do mínimo (Tabela 2), tendo-se optado sempre pela situação mais desfavorável.

Considerando o contexto físico da zona de estudo considerou-se para grau de fertilidade elevado solos com valores de T >15 e não 24 (FAO, 1983, 2006). Em relação aos outros graus de fertilidade apresentados considerou-se a informação contida no *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture* (FAO, 1983).

Relativamente aos valores apresentados na tabela 2 para o grau de saturação em bases (V) considerou-se os referidos por Sampaio (1999).

3.2.2. Disponibilidades hídricas do solo

O conhecimento das disponibilidades hídricas de uma região é de extrema importância para a produção agrícola. Deste modo, a sua determinação pode ser realizada através do balanço hídrico do solo. Este exprime as variações do teor de água no solo num dado intervalo de tempo, o que depende das diferenças entre a precipitação ocorrida, a água evaporada à superfície e evapotranspirada pelas plantas, assim como das propriedades do solo que conduzem o movimento de água no seu interior (Andrade, 2011).

As formas de relevo influenciam o fluxo de água à superfície (Blaszczynski, 1997). A disponibilidade hídrica do solo será analisada em função da forma de relevo e do balanço hídrico.

3.2.2.1. Avaliação das formas de relevo

Segundo Blaszczynski (1997) as formas de relevo são definidas como características geomorfológicas específicas da superfície da Terra, que vão das características de grande escala, tais como as planícies e serras, às escalas menores, como colinas e vales.

A geomorfometria fornece uma descrição quantitativa das formas de relevo, e deriva da combinação de matemática, engenharia e, mais recentemente, da ciência da computação (Tagil & Jenness, 2008).

A determinação das formas de relevo foi efetuada em duas etapas: construção do modelo digital do terreno (MDT) e índice de posição topográfico (TPI).

- Construção do MDT

O modelo digital de terreno (MDT) é o conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permite associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude (Matos, 2007). O processo de construção dos modelos digitais de terreno mais comum é baseado na triangulação de um conjunto de pontos com distribuição irregular, sendo a superfície assim modelada por um conjunto de faces triangulares. Deste modo, a superfície gerada é designada por rede irregular triangulada (RIT, ou TIN – *Triangulated Irregular Network*) (Falcão, 2012). Este é um modelo vetorial, pelo que os fenómenos geográficos são descritos tendo por base pontos, linhas ou polígonos (Matos, 2007; Falcão, 2012). O TIN foi criado no presente trabalho considerando a utilização da ferramenta *Create TIN* disponível no *ArcToolbox*. Para cada tema utilizado na construção da TIN definiu-se no campo *Height field* a coluna da tabela de atributos que corresponde à altitude; no campo *Surface feature type (SF_type)* definiram-se os pontos cotados como *mass points*, as curvas de nível como *soft line* e o limite como *softclip*. Os pontos cotados e as curvas de nível referentes às cartas altimétricas foram unidos em duas cartas, respetivamente com a utilização da ferramenta *merge* que facilitou o manuseamento.

O TIN é um MDT mas também um suporte habitual para a construção de modelos com outro tipo de estruturas, como é o caso dos modelos matriciais. Deste modo, em simultâneo com a construção do TIN em formato vetorial realizou-se a conversão para o formato matricial ou *raster* (ou *grid*), considerando a ferramenta *TIN to raster*. Este é formado por um conjunto de linhas e colunas regularmente espaçadas cuja menor unidade espacial constitui uma célula ou *pixel* a qual é a única primitiva gráfica presente (Falcão, 2012). No presente trabalho considerou-se o tamanho da célula de 15 x 15 metros.

- Índice de posição topográfico

O índice de posição topográfico (TPI – *Topographic Position Index*) mede a posição topográfica relativa do ponto central como a diferença entre a elevação neste ponto e a média de elevação dentro de uma vizinhança predeterminada (Jenness, 2006). Os valores deste índice fornecem um meio simples e poderoso que classifica a paisagem

em diferentes classes morfológicas, em que valores positivos indicam que a célula está numa posição mais elevada que a vizinhança e valores negativos em posição inferior à vizinhança (Jenness, 2006; Tagil & Jenness, 2008). A utilização do TPI permite classificar o relevo em classes de posição de inclinação.

A escolha do valor do raio da vizinhança é um processo iterativo, já que é necessário escolher um valor que consiga abranger depressões de menor e maior tamanho, uma vez que tamanhos de vizinhança mais pequenos são utilizados para classificar depressões mais pequenas e os tamanhos de vizinhança maiores depressões (Tagil & Jenness, 2008).

Segundo Jenness (2006) a vizinhança pode ter várias formas geométricas, pelo que na maioria dos casos se utiliza a forma circular, apesar de alguns investigadores utilizarem a forma retangular. No presente trabalho considerou-se a utilização das formas de vizinhança circulares.

Segundo Tagil & Jenness (2008), a consideração de uma vizinhança com um tamanho de 100 metros é o ideal para se conseguir extrair as pequenas e as grandes depressões, pelo que se optou por esta dimensão.

Para a criação do TPI utilizou-se a ferramenta *Topography Position Index* contida na extensão ao ArcGIS criada por Jeff Jenness e designada por *Topography Toolbox 9.3*. (Jenness, 2006; Tagil & Jenness, 2008). O TPI foi criado considerando a utilização do modelo matricial.

Para a elaboração da carta das formas de relevo utilizou-se a ferramenta *Slope Position Classification* contida na extensão *Topography Toolbox 9.3*. A classificação da paisagem em classes de relevo foi realizada com base nos valores de TPI. Os valores mais elevados de TPI são encontrados próximos do topo das montanhas e os valores mais baixos são encontrados próximos dos vales. À carta de formas de relevo foi associada uma legenda, também existente na extensão. A legenda divide-se em *Valley*, *Lower slope*, *Flat Slope*, *Middle slope*, *Upper slope*, *Ridge* que foi reclassificado em zonas côncavas (*valley + lower slope*), zonas planas e de meia encosta (*flat slope + middle slope*) e zonas convexas (*upper slope + ridge*). As zonas côncavas são zonas onde a água tende a convergir, acabando por se acumular de forma permanente podendo prejudicar o desenvolvimento radicular das plantas, ou seja por excesso de água; as zonas planas e de meia encosta não apresentam qualquer tipo de inconveniente ao desenvolvimento da cultura; e as zonas convexas são zonas de onde a água tende a

divergir, podendo prejudicar o desenvolvimento da cultura, já que a água escoar rapidamente destas zonas, ou seja por *deficit* de água.

3.2.2.2. Balanço Hídrico

A determinação do balanço hídrico pode ser realizada de diferentes formas. Para o presente estudo a determinação do balanço hídrico foi realizada através do método de Thornthwaite-Mather com evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite. Este método apresenta poucas exigências em termos de parâmetros intervenientes e de informação hidrológica necessária, tornando-se um método de simples aplicação (Portela & Santos, 2006), conseguindo-se retirar as informações necessárias para o presente estudo. A utilização de outros métodos é fortemente condicionada pela complexidade do cálculo da evapotranspiração potencial e pela vasta informação climatológica que exige (Portela & Santos, 2006).

A utilização deste método permite determinar o balanço hídrico de um local considerando as coordenadas de longitude e latitude. Este método requer como variáveis independentes a capacidade utilizável de cada solo (mm), a temperatura do ar (°C) e a precipitação (mm) média mensal (Pereira, 2005). Através da estimativa da ETP, com os dados de temperatura e a latitude do local e dos valores de precipitação (R) durante um determinado período, é possível estimar o armazenamento de água no solo (A), a evapotranspiração real (ETR), o excesso de água no solo ou *superavit* (S) e déficit de água (D). Com os valores mensais de evapotranspiração e precipitação é possível identificar os meses em que se verifica excesso ou deficiência de água no solo, pelo que se pode estimar as quantidades de água cedida pelo solo (ΔA), assim como o déficit e o excesso anual (Andrade, 2011).

A folha de cálculo utilizada tem por base o artigo “Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather” de P. de Varennes e Mendonça (1958) e foi criada pelo professor José Paulo de Melo e Abreu (Abreu, 2014) (Figura 6).

Este programa só necessita de entrar com latitude, capacidade de água utilizável (U), temperatura média (T) mensal e precipitação mensal (R) (sombra verde). Depois de preencher prima o botão "Calcular Cf!"

BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE-MATHER com evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite

Estação: Beja Solo: Cp

Gaus Minutos Segundos Gaus Minutos Segundos

Latitude: 38 1 0 N Long.: 7 52 0 O Alt.: 246 m

Período dos dados: 1951 a 1980

U: 58.06

Calcular Cf!

	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	Ano
1 T	9.7	10.8	13.4	14.6	17.7	22.0	24.6	24.8	22.4	18.2	13.6	10.7	16.9
2 i	2.73	3.21	4.45	5.07	6.78	9.42	11.16	11.30	9.68	7.07	4.55	3.16	78.6
3 E1	0.8	0.9	1.4	1.6	2.2	3.2	3.9	4.0	3.3	2.3	1.4	0.9	
4 Cf	25.03	24.74	30.43	32.52	36.29	36.47	37.11	34.86	30.83	28.69	25.03	24.34	
5 E	19.3	23.0	41.3	51.3	80.3	118.1	146.2	139.2	103.0	66.7	34.9	22.3	845.7
6 R	65.7	55.0	40.5	58.8	43.3	13.1	2.4	4.0	29.5	71.5	76.5	97.7	558.0
7 R-E	46.4	32.0	-0.8	7.5	-37.0	-105.0	-143.8	-135.2	-73.5	4.8	41.6	75.4	-287.7
8 L			0.85		36.98	142.00	285.77	421.00	494.55				
9 λ			0.01		0.64	2.45	4.92	7.25	8.52				
10 a			0.99		0.53	0.09	0.01	0.00	0.00				
11 A	58.1	58.1	57.2	58.1	30.7	5.0	0.4	0.0	0.0	4.9	46.5	58.1	
12 Δ	0.0	0.0	-0.8	0.8	-27.4	-25.7	-4.6	-0.4	0.0	4.8	41.6	11.6	0.0
13 ER	19.3	23.0	41.3	51.3	70.7	38.8	7.0	4.4	29.5	66.7	34.9	22.3	409.2
14 D	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	79.3	139.2	134.9	73.5	0.0	0.0	0.0	436.5
15 S	46.4	32.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.8	148.8

Figura 6 – Exemplo da folha de cálculo utilizada na determinação do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite (Abreu, 2014).

- Capacidade de água utilizável do solo

Para o cálculo do armazenamento através do balanço hídrico é necessário conhecer o valor da capacidade de água utilizável de cada solo (U). Esta representa a quantidade de água que esse solo consegue armazenar depois de sofrer a ação dos processos de drenagem e evaporação, ou seja, é a diferença entre a capacidade de campo (limite superior de água utilizável pelas plantas não prejudicando o seu arejamento) e o coeficiente de emurchecimento (limite inferior de água utilizável no solo, a partir do qual as perdas por evaporação se agravam, levando à murchidão das plantas). O cálculo deste parâmetro para a totalidade do solo explorado pelas plantas é realizado através da equação 3.3 (Shahidian, 2013).

$$U = CC - CE \times Dap \times Z \quad (3.3)$$

em que U representa a capacidade de água utilizável (expressa em volume de água, em mm), CC corresponde à capacidade de campo (em %), CE ao coeficiente de emurchecimento (em %), Dap à densidade aparente (adimensional) e Z à profundidade do horizonte (em mm).

No caso de existirem dados de dois perfis tipo para uma determinada unidade de solo efetuou-se a média ponderada da profundidade efetiva dos mesmos para obter o valor da capacidade utilizável desse solo. No caso de não haver referência à CC e CE na descrição do perfil considerou-se a utilização da tabela de classes texturais (Anexo 1). Relativamente ao cálculo dos valores do armazenamento considerou-se o valor da capacidade de água utilizável do solo. Considerou-se 2/3 da capacidade utilizável total

do solo sempre que este se encontra em fase hidromórfica, o que significa que estes tipos de solos ao atingirem 2/3 da sua capacidade utilizável tipo já atingiram o máximo da sua capacidade de armazenamento (Ferreira *et al.*, 2008). Os solos em fase inundável foram considerados como solo sem estar em nenhuma fase, uma vez que quando se realizou a determinação do armazenamento de água no solo, foram identificadas as zonas côncavas com acumulação de água (cf. 4.3.3.). Relativamente aos solos em fase delgada considerou-se 1/3 da profundidade efetiva do solo (Sampaio, 2007).

Consideraram-se 2 classes de acumulação de água no solo:

- 1: Capacidade utilizável do solo > 135 mm;
- 2: Capacidade utilizável do solo < 135 mm.

- Excesso de água no solo

O excesso de água no solo (S), também designado por *superavit*, acontece quando a precipitação mensal é suficiente para, em simultâneo, satisfazer as necessidades em evapotranspiração e suprir eventuais défices de água no solo. Não existe excesso de água ($S = 0$) sempre que o armazenamento de água no solo for inferior ao limite superior da capacidade utilizável, ou seja, pelo menos durante a estação seca (Andrade, 2011).

Consideraram-se duas classes de água no solo:

- 1: **Não existe excesso de água** – $S = 0$;
- 2: **Existe excesso de água** – $S > 0$.

O excesso de água no solo reduz a germinação, a emergência das plântulas, o desenvolvimento vegetativo e radicular, afetando a densidade de plantas no campo até 80%. Leva ainda a uma maior suscetibilidade das plantas à ocorrência de doenças, podendo as perdas de produção chegar a 100% (Toker *et al.*, 2007).

Sabendo que a cultura do grão-de-bico nas diferentes fases do ciclo fenológico tem diferentes necessidades hídricas, e que por isso tolera mais ou menos o *stress* hídrico ou o excesso de água no solo, foi necessário relacionar as formas de relevo com as necessidades hídricas nas diferentes fases do ciclo fenológico, distinguindo-se a germinação (novembro e Dezembro), desenvolvimento vegetativo (Janeiro e Fevereiro) e a floração (Abril).

i. Germinação:

Segundo Rumpho & Kennedy (1981) quando o solo está em excesso hídrico durante o período de germinação das sementes, a anóxia ocorre depois da imbibição e antes da ruptura do tegumento da semente, pelo que a continuação do estado de anaerobiose resulta na morte. Quando o solo se encontra à capacidade de campo a germinação é máxima, e à medida que o solo perde humidade à uma diminuição da capacidade de germinação da cultura (Toker *et al.*, 2007).

A germinação ocorre normalmente entre os meses de Novembro e Dezembro. Sabendo, que nem sempre é possível realizar as sementeiras em Novembro, considerou-se a utilização dos dados hidrológicos relativos ao mês de Dezembro, pois este é um mês com temperaturas e precipitações mais limitativas para o período de germinação e início do desenvolvimento da planta.

Considerando, as relações entre as formas de relevo e o excesso de água no solo considerou-se as seguintes classes de capacidade de germinação (Tabela 3):

1: Elevado – Elevada capacidade de germinação;

2: Moderado – Moderada capacidade de germinação;

3: Baixo – Baixa capacidade de germinação.

Tabela 3 – Classes de aptidão para a capacidade de germinação do grão-de-bico.

Água no solo Formas de relevo	Não existe excesso de água (S = 0)	Excesso de água (S > 0)
Convexas	1	1
Planas e de meia encosta	1	2
Côncavas	1	3

Na elaboração da tabela 3 considerou-se que, independentemente da forma de relevo, quando não existe excesso de água no solo a planta germina sem ocorrerem limitações ao seu crescimento. No caso de haver excesso de água no solo em zonas convexas (1) a germinação não é afetada, uma vez que não ocorre acumulação de água. Em zonas plana e de meia encosta (2) a germinação é afetada moderadamente, ou seja existem semente que não têm a capacidade de germinar. Em relação às zonas côncavas (3) ocorre uma baixa capacidade de germinação, devido à acumulação de água no solo. Para o bom desenvolvimento da cultura há a necessidade de solos com boa drenagem interna, ou seja com períodos curtos de encharcamento, uma vez que longos períodos de encharcamento levam à morte das plantas (Oplinger *et al.*, 1990).

ii. Desenvolvimento Vegetativo:

O desenvolvimento vegetativo da cultura ocorre normalmente entre Janeiro e Fevereiro. Considerou-se que a situação mais limitativa acontece no mês de Janeiro, uma vez que neste mês há uma maior acumulação de água no solo, já que os valores de precipitação são superiores neste mês, relativamente ao mês de Fevereiro, e existe maior probabilidade de excesso de água no solo com consequências para a sobrevivência e desenvolvimento das plantas.

Considerando, as relações entre as formas de relevo e o excesso de água no solo considerou-se as seguintes classes de desenvolvimento vegetativo (Tabela 4):

- 1: Elevado** – Elevada capacidade para desenvolvimento vegetativo;
- 2: Moderado** – Moderada capacidade para desenvolvimento vegetativo;
- 3: Baixo** – Baixa capacidade para o desenvolvimento vegetativo.

Tabela 4 – Classes de aptidão para o desenvolvimento vegetativo.

Formas de relevo \ Água no solo	Capacidade Utilizável do solo (>135 mm)	Capacidade Utilizável do solo (<135 mm)
Convexas	1	1
Planas e de meia encosta	1	2
Côncavas	1	3

Para a elaboração da tabela 4 considerou-se que independentemente da forma de relevo, quando a capacidade utilizável do solo é superior a 135 mm, não ocorre qualquer tipo de limitação ao desenvolvimento vegetativo da cultura. No caso da capacidade utilizável ser inferior a 135 mm em zonas convexas existe uma elevada capacidade para o desenvolvimento vegetativo da cultura dado que não é provável que ocorra *deficit* hídrico nem água à superfície do solo; em zonas planas e de meia encosta o desenvolvimento vegetativo apenas ocorre de forma moderada, pois com valores de capacidade utilizável inferiores a 135 mm existe a possibilidade de acumulação de água; relativamente a zonas côncavas existe baixa capacidade para o desenvolvimento vegetativo, já que estas são zonas de grande acumulação de água e o solo tem pouca capacidade para a sua acumulação, uma vez que toda a água converge para aquela zona e o solo possui baixa capacidade utilizável (< 135mm).

Não havendo valores na bibliografia que permitam a determinação da capacidade utilizável do solo, optou-se pela escolha do valor de 135 mm. Este valor corresponde à mediana da capacidade utilizável de todos os solos em estudo.

iii. Floração:

Segundo Farah (1988), Cooperation Project (2004) e Mbarek *et al.* (2008) a floração é uma das fases mais críticas em necessidades de água por parte da cultura, uma vez que é uma fase de extrema importância e decisiva para a produção final. A floração ocorre normalmente em Abril, mas como é uma planta de crescimento indeterminado, esta fase pode ocorrer até ao final do Maio, dependendo das condições climáticas. Deste modo, considerou-se o mês de Abril, pois apesar do descrito é neste mês que existe um maior número de flores. De acordo com Mbarek *et al.* (2008) o défice hídrico durante a fase de floração prejudica a atividade e crescimento das raízes, limita a utilização de vários nutrientes e desfavorece as relações entre a evapotranspiração e a utilização de água.

Considerando, as relações entre as formas de relevo e o défice de água no solo considerou-se as seguintes classes de capacidade para a floração (Tabela 5):

1: Elevado – Elevada capacidade para a floração;

2: Moderado – Moderada capacidade para a floração;

3: Baixo – Baixa capacidade para a floração.

Tabela 5 – Classes de aptidão para o período de reprodução e maturação do grão-de-bico;

Formas de relevo	Água no Solo	Floração		
	>55 mm	35 - 55 mm	<35 mm	
Côncavas	1	1	2	
Planas e de meia encosta	1	2	2	
Convexas	1	2	3	

Para a elaboração da tabela 5 considerou-se que independentemente da forma de relevo quando o solo possui conteúdo em água superior a 55 mm a planta tem elevada capacidade para a ocorrência da floração, tal como acontece para zonas côncavas em que o conteúdo de água no solo varie entre 35 e 55 mm. Para zonas convexas que apresentem conteúdo de água no solo inferior a 35 mm, considera-se baixa capacidade para a ocorrência da floração. Quando o conteúdo de água no solo varia entre 35 e 55 mm para formas de relevo planas e de meia encosta ou convexas considera-se moderada capacidade para a floração, tal como para conteúdo de água no solo inferior a 35 mm quando se tem uma forma de relevo côncava.

Segundo Cooperation Project (2004) na fase de floração e ao contrário do descrito para o desenvolvimento vegetativo, o conteúdo de água no solo mais adequado é

superior a 55 mm. Deste modo, independentemente da forma de relevo existe uma elevada capacidade para a floração.

Não tendo encontrado valores em bibliografia que sustentem o apresentado, considerou-se o valor de 35 mm, valor mínimo de conteúdo de água dos solos analisados.

3.2.3. Métodos para avaliação dos parâmetros de conservação do solo

3.2.3.1. Riscos de Erosão

A perda de solo, causada principalmente pela erosão hídrica, é talvez o processo de erosão mais disseminado, ocorrendo devido ao impacto das gotas da chuva na superfície do solo o que acaba por soltar as suas partículas, sendo posteriormente transportadas por escoamento superficial (Ferreira *et al.*, 2008; SOCO, 2009). Apesar de o fenómeno de erosão hídrica ocorrer naturalmente por ação das chuvas, é de indicar que um dos fatores que o pode promover é as mobilizações efetuadas para a instalação de culturas, que levam posteriormente à ação negativa do impacto das gotas da chuva e escoamento superficial com transporte de partículas.

De forma a avaliar os riscos de erosão recorreu-se à equação universal de perda de solo USLE (equação 3.4) (Wischmeier & Smith, 1978). Esta foi desenvolvida a partir de um conjunto vasto de dados de campo através de regressão múltipla, sendo todas as variáveis referidas a uma parcela referência de 22,1 m de comprimento e 9% de declive que esteja livre de vegetação por mobilização do solo ao longo da linha de maior declive (Wischmeier & Smith, 1978).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (3.4)$$

onde A é a perda de solo ($t \text{ ha}^{-1}$); R é o fator de erosividade da precipitação ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$); K é o fator de erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); L é o fator do comprimento da encosta (adimensional); S é o fator de declive (adimensional); C é o fator de gestão do coberto (adimensional); P é o fator de gestão do solo (adimensional).

Considerou-se um valor médio do fator de erosividade da precipitação (R) de $1000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Ferreira *et al.*, 2008).

Para a determinação do fator K considerou-se os valores apresentados por Pimenta (1998) para cada família de solos. No caso de existir valor de K para diferentes perfis da mesma família de solos considerou-se o valor médio dos mesmos. Para complexos de solos considerou-se o solo que possui-se valor de K mais desfavorável.

Para solos em fase pedregosa e delgada aplicou-se o fator de correção de 0.02; para fases pedregosas subtraiu-se esse mesmo valor, pois a mesma confere proteção ao solo; para fases delgadas somou-se o valor de 0.02, uma vez que esta fase está mais suscetível a processos de erosão. Em relação à fase hidromórfica e fase inundável foi considerado um fator de correção de 0.01, tendo-se subtraído esse valor para fase hidromórfica, pois pode eventualmente conferir proteção ao solo; em relação à fase inundável, e visto que é mais suscetível a processos de erosão, soma-se 0.01.

Os fatores comprimento da encosta (L) e declive (S) representam o fator topográfico (LS), tendo sido gerado a partir do modelo digital de elevação de acordo com procedimentos *standard* em ArcView Spatial Analyst (REFERÊNCIA) a partir da equação 3.5.

$$LS = \left(\left(\frac{\text{flowacGrid}}{22.13} \right)^{0.4} \right) \times 1.4 \left(\left(\frac{\text{SlopeGrid} \cdot \sin}{0.0886} \right)^{1.3} \right) \quad (3.5)$$

Para o fator de gestão do coberto (C) considerou-se o valor de 0,65 definido por Ferreira *et al.* (2008) para ocupação do solo com área agrícola. Para o fator de gestão do solo (P) também se considerou sempre constante, uma vez que se recorre à não mobilização do solo, sementeira direta.

3.2.3.2. Possibilidades de mecanização

A avaliação das possibilidades de mecanização tem em conta dois fatores, a pedregosidade e o declive.

A pedregosidade não possui qualquer tipo de inconveniente ao desenvolvimento das culturas instaladas, dificultando apenas a mecanização do solo, provocando grande desgaste nos órgãos ativos das alfaias agrícolas. Segundo Pimenta (1998), considera-se um solo em fase pedregosa sempre que tenha um valor médio de pedregosidade de 30%.

O declive é um fator preponderante na questão da mecanização de áreas agrícolas, com a consequente influência na determinação do uso de máquinas agrícolas a mecanização é viável para declives iguais ou inferiores a 12% (Agrobyte, 2009).

Considerando, as relações entre a pedregosidade e o declive, considerou-se as seguintes classes de possibilidade de mecanização (Tabela 6):

- 1: Elevado** – Elevadas possibilidades de mecanização;
- 2: Moderado** – Moderadas possibilidades de mecanização;
- 3: Baixo** – Baixas possibilidades de mecanização.

Tabela 6 – Classes de aptidão para as possibilidades de mecanização;

Declive	Pedregosidade	Sem pedregosidade	Com pedregosidade
0 – 3%		1	3
3 – 6%		2	3
6 – 12%		3	3
≥ 12%		3	3

3.3. Métodos para o desenvolvimento da aptidão do grão-de-bico

A metodologia apresentada tem como objetivo a definição da aptidão, para a cultura do grão-de-bico, em função das suas características ecológico-culturais e das características edafo-climáticas.

A metodologia foi desenvolvida para sistemas de produção em sementeira direta, embora possa ser utilizada para outros sistemas de produção Outono/Invernais em sequeiro, devendo, no entanto, ser adaptada. O sistema de sementeira direta consiste na instalação de uma cultura sobre os resíduos da cultura anterior sem que haja mobilização primária ou preparação da cama da semente. Neste caso, o controlo em pré-sementeira de plantas infestantes é feito à base de herbicidas e é utilizado um semeador de sementeira direta, sendo o próprio que mobiliza uma estreita faixa de solo, colocando as sementes à profundidade adequada ao bom desenvolvimento da plântula.

No que diz respeito ao itinerário cultural, nos meses de Novembro/Dezembro deve ser aplicado um herbicida de pré-sementeira com utilização de um pulverizador de pressão de jacto projetado, seguido de adubação à sementeira e sementeira. Em seguida é aplicado o herbicida de pré-emergência com o pulverizador referido anteriormente. De fins de Fevereiro a Março deve fazer-se a aplicação do fungicida com pulverizador de pressão de jacto projetado para controlo da raiva e deve repetir-se sempre que existir a continuação da evolução dos sintomas da doença ou condições meteorológicas que sejam propícias para o seu desenvolvimento. No início de Abril é necessário proceder à aplicação de um inseticida. Finalmente, em Junho/Julho faz-se a colheita através de uma ceifeira-debulhadora automotriz.

A aptidão para o grão-de-bico foi desenvolvida a partir da avaliação dos seguintes parâmetros (Figura 7):

1. Características físicas do solo, profundidade (R) e compacidade (C);
2. Características químicas do solo, pH (P), capacidade de troca (T) e grau de saturação em bases (V);

3. Características físico-químicas do solo (Final_RCPF);
4. Formas de relevo (FR);
5. Disponibilidade hídrica para os diferentes estados fenológicos (Germinação, desenvolvimento vegetativo e floração);
6. Disponibilidade hídrica para a cultura (Final_FRGDF);
7. Aptidão potencial (Sem possibilidades de mecanização – Ap_grão-de-bico e com possibilidades de mecanização – Ap_grão-de-bico_MEC).

Foram definidas três classes de aptidão para a produção de grão-de-bico: aptidão elevada (1), aptidão moderada (2) e inapto (3).

Para a determinação da **interação das características físicas do solo (RC)** (tabela 6) consideraram-se os parâmetros profundidade efetiva (R) e compactidade (C). Os valores de RC foram obtidos por uma média ponderada, sendo atribuído a R um peso de 2/3 e a C de 1/3. Considerou-se que a profundidade efetiva contribui de forma mais significativa para a maximização da produção do que a compactidade, uma vez que em sistema de sementeira direta o aumento do teor de matéria orgânica minimiza a compactidade do solo (Mamman *et al.*, 2007).

Tabela 7 – Classes de aptidão para as características físicas do solo;

R \ C	1	2	3
1	1	1	2
2	2	2	2
3	3	3	3

Para a determinação da **interação das características químicas do solo (PF)** (tabela 7) consideraram-se os parâmetros pH (P) e fertilidade (F). O critério usado para a PF foi a lei do mínimo, de forma a se considerar sempre os valores mais desfavoráveis para o desenvolvimento da cultura.

Tabela 8 - Classes de aptidão para as características químicas do solo;

P \ F	1	2	3
1	1	2	3
2	2	2	3
3	3	3	3

A **interação entre as características físicas e químicas do solo (RCPF)** (tabela 8) resultou do cruzamento de RC e PF, usando a lei do mínimo como critério.

Tabela 9 - Classes de aptidão para a interação entre as características físicas e químicas do solo.

Químicas Físicas	1	2	3
1	1	2	3
2	2	2	3
3	3	3	3

Relativamente ao armazenamento de água nos diferentes estados fenológicos da cultura (Tabela 9), considerou-se a lei do mínimo como critério.

Tabela 10 – Classes de aptidão para a interação entre a germinação (Germ.) e o desenvolvimento vegetativo (DVeg.).

DVeg. Germ.	1	2	3
1	1	2	3
2	2	2	3
3	3	3	3

Para a determinação das disponibilidades hídricas da cultura (Final_FRGDF) consideraram-se os parâmetros germinação x desenvolvimento vegetativo e floração (FR_Flor.). Para os dados apresentados na tabela 10 considerou-se que a floração é mais importante que os outros dois fatores, uma vez que esta é uma fase crítica no desenvolvimento da cultura que determina a percentagem de frutificação e consequentemente a produção final (Verghis *et al.*, 1999).

Tabela 11 – Classes de aptidão para a interação entre germinação x desenvolvimento vegetativo e a floração.

Floração Germ. x DVeg.	1	2	3
1	1	2	3
2	1	2	3
3	3	3	3

Para o cruzamento final, interação entre as características físico-químicas do solo (RCPF) com as disponibilidades hídricas para a cultura (Final_FRGDF) (tabela 11) tomou-se como critério lei do mínimo.

Tabela 12 - Classes de aptidão para a interação entre as características físico-químicas do solo com as disponibilidades hídricas para a cultura;

Final FRGDF Final RCPF	1	2	3
1	1	2	3
2	2	2	3
3	3	3	3

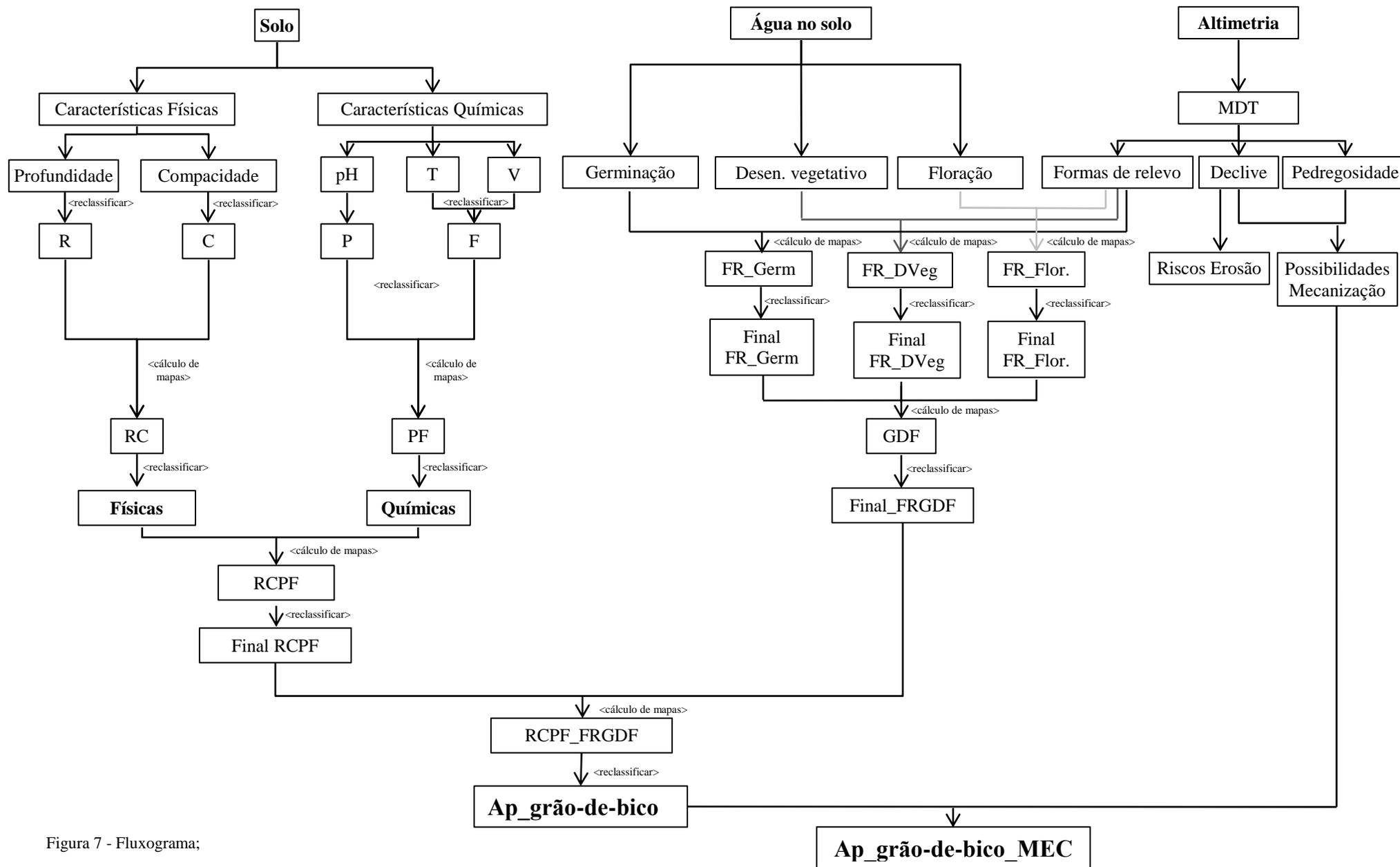


Figura 7 - Fluxograma;

4. CASO DE ESTUDO

4.1. Área de Estudo

A produção da cultura do grão-de-bico apresenta grande tradição no Baixo Alentejo, uma vez que já foi uma das principais culturas da zona. Nesta região a sementeira ocorre entre o final do mês de Novembro e meados do mês de Dezembro.

Deste modo, considerou-se para área de estudo a região do Baixo Alentejo, que compreende os concelhos de Aljustrel, Alvito, Beja, Cuba, Ferreira do Alentejo, Moura Portel, Serpa e Vidigueira, representados pela figura 8.

A área de estudo abrange 256351 ha de área total, correspondendo a 16 cartas militares; nomeadamente 498_2, Grega (Ferreira do Alentejo); 499_3, Cuba; 500_4, Selmes (Vidigueira); 501_4, Moura; 509_2, Ferreira do Alentejo; 510_3, São Matias (Beja); 511_3, Pedrogão (Vidigueira); 512_4, Machado (Moura); 520_2, Ervidel (Aljustrel); 521_3, Beja; 522_3, Brinches (Beja); 523_4, Pias (Serpa); 530_2, Corte Vicente Eanes (Aljustrel); 531_3, Saluda (Beja); 532_3, Serpa; 533_4, Vila Nova de São Bento (Serpa).

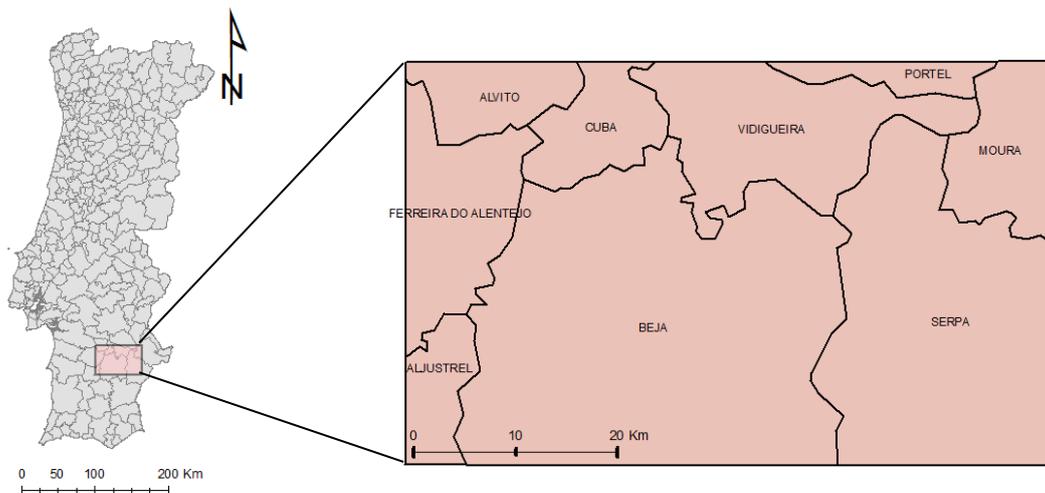


Figura 8 - Localização e delimitação da área em estudo;

As cartas de solos para a área de estudo foram obtidas por conversão analógica digital da carta complementar de solos 1:25000, propriedade da DGADR, correspondente às séries editadas pelo SROA/CNROA/IEADR. Optou-se pelo sistema de coordenadas Lisboa Hayford Gauss IGeoE.

A análise dos solos contidos na área em estudo, foi realizada considerando as informações contidas no livro Solos de Portugal – a sua classificação, caracterização e

gênese: a sul do rio Tejo (Carvalho Cardoso, 1965) e Carta dos solos de Portugal – Classificação e caracterização dos solos de Portugal (Ministério da Economia, 1973).

A extensa informação relativa aos solos teve que ser compilada e organizada numa base de dados, em Microsoft Office Excel 2010, constituindo uma matriz com 35 colunas de parâmetros avaliados e 279 linhas de complexos de solos. Esta base de dados foi depois usada na definição da aptidão potencial para a cultura do grão-de-bico.

A informação organizada permitiu a aplicação da metodologia e sua implementação em SIG, proporcionando uma ferramenta de apoio à decisão para a seleção de áreas/terras para a produção de grão-de-bico. A manipulação e análise de dados em sistemas SIG pode ser efetuada recorrendo a *software* especializado, como é o caso do ArcGIS. Deste modo, no presente estudo utilizou-se o programa, ArcGIS v.10.1 (ESRI, 2012), que permite recolha, organização, gestão, análise e distribuição da informação geográfica. O ArcGIS é constituído por vários módulos, entre os quais se destacam o ArcMap (permite a visualização e manipulação dos dados através de operações de análise espacial) e o ArcCatalog (módulo de gestão e criação de dados). Com esta ferramenta é possível organizar a informação por temas que permitem uma visualização associada dos objetos e informação assim organizados. Neste trabalho utilizaram-se temas em formato matricial e vetorial. Os temas em formato vetorial são representados por pontos, linhas e polígonos, ficando associado a cada uma destas uma tabela de atributos com a respetiva informação, a cada registo da tabela corresponde uma e só uma entidade gráfica no mapa. No formato matricial a representação gráfica das características e atributos que elas possuem são armazenados em arquivos de dados unificados. Deste modo, a área em estudo é subdividida numa fina malha de células onde são registadas as condições ou atributos da superfície do terreno naquele ponto, pelo que a cada célula é atribuído um valor numérico que pode representar um código de atributos qualitativo ou um valor quantitativo.

4.2. Caracterização da área de estudo

4.2.1. Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo predominante nesta região é a agricultura representando um total de 42,96% do uso e ocupação do solo (Tabela 12). Maioritariamente são praticadas culturas temporárias de sequeiro e regadio, bem como pastagens permanentes. É de referir ainda, que a região possui uma forte vocação para a atividade

silvo-pastoril, possuindo vastas áreas de pastagens naturais e boas densidades de efetivos pecuários. Esta é uma atividade tradicional da região que está associada à produção de produtos de elevada qualidade, bem como à manutenção de importantes ecossistemas (Vale *et al.*, 2013).

Tabela 13 - Uso e ocupação do solo na NUT II Alentejo para o ano 2010 (Vale *et al.*, 2013);

Uso e ocupação do solo	(ha)	(%)
Área social	49583,98	1,57
Agrícolas	1355360,74	42,96
Agro-Florestais	665676,76	21,10
Florestais	840321,68	26,63
Incultos	191896,77	6,08
Zonas húmidas	1622,28	0,05
Corpos de água	50646,47	1,61

As recentes evoluções nas infraestruturas de apoio à atividade agrícola causadas pelo aumento considerável da área de regadio, bem como o nível de conjuntura mundial relacionada com o aumento dos preços das matérias-primas e com a resultante crise alimentar mundial, vêm alterar significativamente o quadro produtivo regional, criando condições para uma evolução da agricultura (GPP, 2010).

4.2.2. Humanização da paisagem

A região em estudo advém de uma longa interação entre a atividade humana e o meio ambiente, resultante da atividade agrícola, pecuária e florestal, que modelou através dos tempos a paisagem rural existente. Esta paisagem é o produto da humanização do território, num processo de ocupação das diferentes regiões do país marcadas pela evolução das práticas agrícolas e pela introdução de novas espécies.

As atividades primárias, agricultura e silvicultura moldam o aproveitamento, conservação e transformação do solo, da vegetação e paisagem rural, ocupando mais de 95% do território Alentejano (GPP, 2010), pelo que se pode afirmar que a presente região é fortemente humanizada.

4.2.3. Clima

O clima é um fator que condiciona inteiramente a agricultura, sendo necessário caracterizar este para a zona em estudo (Feio, 1991). De acordo com a classificação climática de Köppen, Portugal apresenta um clima do tipo Mediterrâneo. Este é um clima temperado, com 70% da precipitação no inverno, em seis meses, e verão com

temperatura média mais quente superior a 22°C (Csa) (Feio, 1991; Peel *et al.*, 2007; Gonçalves, 2012; IPMA, 2014).

Para o presente trabalho considerou-se a utilização dos valores de temperatura e precipitação existentes nas normais climatológicas de 1981-2010 (provisórias) para a estação número 562 com localização geográfica 38° 01'N; 07° 52'W; 246 m localizada em Beja (IPMA, 2014). Relativamente à capacidade utilizável, esta foi calculada tendo por base os dados existentes em Carvalho Cardoso (1965).

A temperatura varia entre os -2.7°C e os 45.4°C, e em média a temperatura do mês mais quente ronda os 25°C e do mais frio os 10°C. Quanto à precipitação, os valores são particularmente elevados durante o mês de Dezembro (97.7 mm) e praticamente inexistentes nos meses de Julho e Agosto (2.4 e 4.0 mm, respetivamente).

O gráfico termopluiométrico (Figura 9) representa a variação da temperatura e precipitação para a região em estudo. Deste é possível observar que nos meses com temperaturas mais elevadas ocorrem valores de precipitação mais baixos, enquanto nos meses com registo de temperaturas mais baixas ocorrem valores de precipitação mais elevados, demonstrando assim, claramente a influência do clima mediterrâneo.

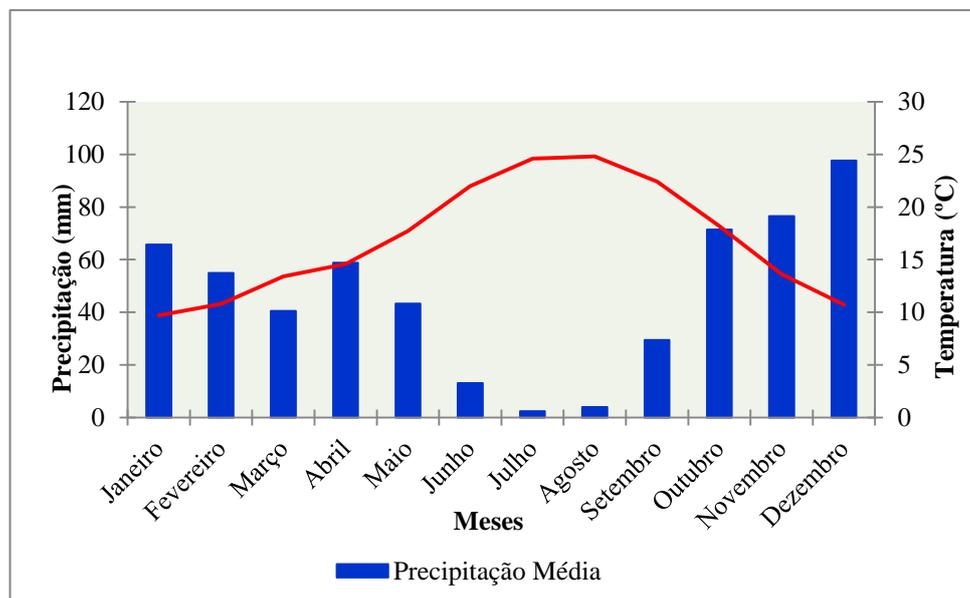


Figura 9 - Gráfico termopluiométrico baseado em valores de precipitação média mensal e temperatura média mensal da normal climatológica 1981-2010 (provisórias) (IPMA, 2014).

A radiação solar global acumulada ao longo do ano para a zona de estudo é de aproximadamente 6500 MJ m⁻², não sofrendo alterações entre os diversos concelhos existentes da área de estudo. Ao longo do ano observa-se uma crescente evolução nos valores de radiação até ao mês de Julho, durante o qual a radiação atinge o valor máximo de 8050 MJ m⁻², sendo que a partir desse mês se verifica um decréscimo

progressivo até ao fim do ano, atingindo-se os valores mínimos em Dezembro e Janeiro de 200 MJ m⁻² (COTR, 2012).

Relativamente às geadas, estas ocorrem na zona em estudo maioritariamente entre os meses de Dezembro e Fevereiro, altura em que a cultura se encontra no seu estado de desenvolvimento vegetativo, pelo que não haverá qualquer tipo de problema para a cultura, uma vez que esta apresenta resistência a temperaturas baixas (cf. 2.1.8.). As geadas de primavera poderão ser um problema, uma vez que nessa altura a cultura se encontra na floração (Regato *et al.*, 2001).

Os dados de clima disponíveis não são suficientemente pormenorizados para se poder encontrar zonas com microclimas ou variabilidade espacial de pequena escala. Apesar disto, e considerando os dados apresentados é de referir que a radiação solar e geadas são semelhantes ao longo do tempo, não havendo variação espacial considerável.

Considerando as exigências climáticas da cultura, já referidas na secção 2.1.8., é possível dizer que a região em estudo possui boas características para o pleno desenvolvimento da cultura.

4.2.4. Relevô

A paisagem é marcadamente plana com uma altitude média que ronda os 200 metros (Anexo 3). A reduzida variação de altitude (Anexo 4), permite distinguir na paisagem alguns topos, como os que se verificam nas proximidades da Vidigueira (300 metros) e em Beja (275 metros), contribuindo para alterar a monotonia orográfica. A pleneplanície encontra-se fortemente erodida nas proximidades dos principais cursos de água e seus afluentes. A linha de água com maior importância nesta região é o rio Guadiana (Feio, 1983).

Relativamente ao declive da zona de estudo é possível indicar 5 classes, sendo que domina a de 0 a 3% (Anexo 5).

Esta unidade faz parte do maciço antigo, sendo constituída fundamentalmente por rochas eruptivas (dioritos, gabros e pórfiros quartzíferos), rochas sedimentares e rochas metamórficas (metavulcanitos, xisto e grauvaques) (Feio, 1983).

4.2.5. Solos

A variedade de formações geológicas deu origem a solos com diferentes qualidades e aptidões, na área de estudo (Anexo 6). De todas as famílias de solos as

mais representativas ocupam uma área superior a 6000 hectares. A principal família é a dos solos mediterrâneos pardos para-barros de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins (Pm). Em seguida encontram-se as famílias dos solos Bvc (Barros castanho-avermelhados calcários muito descarbonatados de dioritos ou gabros ou rocha cristalofílicas básicas), Bpc (barros pretos calcários muito descarbonatados de dioritos ou gabros), Vc (solos calcários vermelhos de calcário), Ex (litossolos de xistos ou grauvaques) e Pag (solos mediterrâneos pardos para-hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos) que representam, respectivamente 4.0%, 3.5%, 3.2%, 3.2% e 2.6% (Figura 10).

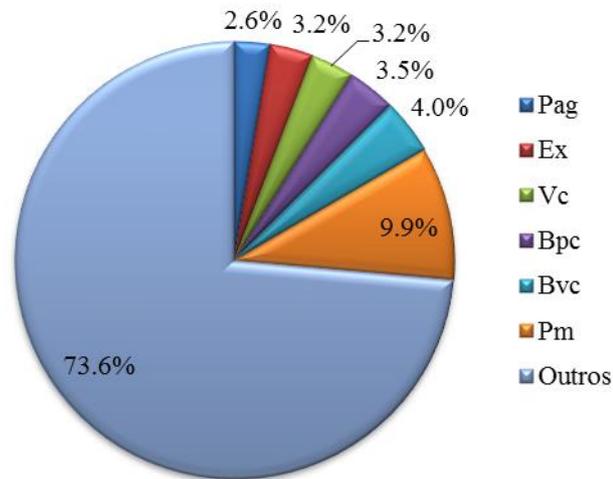


Figura 10 - Famílias de solos que representam a zona em estudo.

representam, respectivamente 4.0%, 3.5%, 3.2%, 3.2% e 2.6% (Figura 10).

Os solos salinos apresentam riscos para as plantas, dependendo da sua tolerância à salinidade e/ou à toxicidade de sais em excesso no solo, no entanto a área em estudo, apresenta segundo Fulgêncio & Bettencourt (2011), na sua maioria solos sem problemas de salinidade, isto é, nem têm condutividades elétricas superior a 25 dS/mm nem sódio de troca superior a 15%. É ainda de referir que da análise da base de dados criada, com a descrição de todos os solos da área em estudo, não existe nenhum tipo de solo na família dos solos salinos, pertencentes à ordem dos Solos Halomórficos. Deste modo, a salinidade não foi considerada na metodologia de avaliação das características do solo.

Relativamente às fases pedológicas, foram identificadas as fases delgadas, pedregosas, hidromórficas, inundáveis e combinações de duas ou mais fases.

4.3. Resultados da aplicação da metodologia à área de estudo

No presente capítulo são apresentados os diferentes temas com as características do solo e da cultura, desenvolvidos para a obtenção da carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico.

A presente zona de estudo abrange uma área social de aproximadamente 1627 ha (6.34% da área total) que engloba áreas habitacionais, afloramentos rochosos e linhas de água.

4.3.1. Características físicas do solo

Para a análise das características físicas do solo teve-se em consideração a avaliação da profundidade efetiva do solo (R) e compactidade (C), bem como a interação entre estes dois parâmetros, tendo-se considerado que R tem um peso superior a C (c.f. 4.3).

Os solos com espessura útil ≥ 500 mm (classe elevada) ocupam uma área de 164240 ha (64.10%) e solos com espessura útil ≥ 250 mm e < 500 mm (classe moderada) ocupam 21250 ha (8.29%). Relativamente às zonas com baixa espessura útil para o desenvolvimento da cultura (Figura 11) é possível perceber que existem 3 áreas que se destacam (centro, canto superior e inferior direito), que correspondem a solos esqueléticos e solos em fase delgada. Estes solos encontram-se em zonas com declives acentuados que variam entre os 16% e valores superiores a 25% (Anexo 5), sendo constituídos maioritariamente por zonas convexas (Anexo 4). Nos solos incluídos nas classes elevado e moderado encontram-se maioritariamente as seguintes famílias: Pm, Bvc, Bpc.

Relativamente à compactidade (Figura 12) existe uma área de 65.00% na classe elevado (densidade aparente ≥ 1.0 e ≤ 1.5) e de 10.91% na classe moderada (densidade aparente > 1.5 e ≤ 1.8). Considerando as áreas na classe de compactidade baixa, é de referir que existem algumas diferenças quando comparado com a carta de profundidade efetiva, sendo visível uma diminuição das áreas na classe de baixo e aumento da área tanto de moderado como de elevado. Percebe-se assim que apesar de determinado solo ter uma profundidade inferior a 250 mm, não é sinónimo de valores de compactidade superiores a 1.8 ou inferiores a 1.0.

Analisando a carta de interação das características físicas do solo (RC), apresentada na figura 13 é possível perceber que a maior parte da área encontra-se na classe elevado, ocupando uma área de 56.53%. Considerando a metodologia aplicada, verifica-se que o cruzamento de R e C leva à diminuição das áreas com classe elevada e aumento das áreas com classe moderada, o que é expectável já que se considerou que R tem um peso superior a C.

Tal como descrito para o parâmetro profundidade efetiva são notórias 3 zonas demarcadas como de baixa aptidão para o desenvolvimento da cultura, constituídas principalmente por solos esqueléticos e solos em fase delgada, que não têm as características ideais para o pleno desenvolvimento da cultura (c.f. 4.1.1. e 4.1.2.),

sendo possível a sua análise através da consulta do tema apresentado na figura 13 (centro, canto superior e inferior direito). Estes solos, e tal como referido anteriormente apresentam declives acentuados com zonas convexas.

4.3.2. Características químicas do solo

Considerando a figura 14, reação do solo (P), é possível perceber que as áreas representativas de cada uma das classes são idênticas, apesar de a classe elevado ($\text{pH} \geq 6.5$ e ≤ 8) ser a que possui maior número de solos, ocupando uma área de 35.95%, seguida da classe moderada que ocupa uma área de 31.31%.

Comparando a figura 13 com a figura 14 é possível encontrar uma relação entre as áreas, ou seja quando RC apresenta classe elevado, P também apresenta esta classe, acontecendo principalmente do lado esquerdo do rio Guadiana.

A existência de muitos solos com valores de $\text{pH} \leq 5.5$ (classe baixo) é uma característica dos solos do nosso país que está relacionada com a origem da rocha-mãe.

Relativamente à carta de fertilidade do solo (Figura 15), que entra em consideração com os valores de capacidade de troca catiónica (T) e grau de saturação em bases (V) é possível perceber que a maioria da área é composta por classe de fertilidade do solo de elevado a moderado (43.77 e 38.50%, respetivamente). É ainda de referir que apenas 11.39 ha possuem baixo grau de fertilidade, tendo efeito negativo para o desenvolvimento da cultura.

Dever-se-á ainda ter em consideração que as 3 zonas possíveis de destacar na carta RC, com características físicas mais desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura, são visíveis na carta de reação do solo, mas relativamente à fertilidade são zonas moderadamente férteis para o desenvolvimento da cultura.

Da análise da carta de interação das características químicas do solo (Figura 16), e considerando a metodologia aplicada, ou seja o cruzamento entre P e F realizado tendo em conta a lei do mínimo, é possível perceber que o parâmetro P causou o aumento das áreas com baixa classe. Deste modo, existe uma área de 33.33% para a classe elevado e de 26.26% para a classe moderado. É de referir que alguns dos solos em classe moderado poderão ser sujeitos a práticas culturais que permitam as alterações do seu valor, passando a ter boas características para o desenvolvimento da cultura.

4.3.3. Características físico-químicas do solo

De forma a identificar a relação entre as características físicas e químicas dos solos realizou-se o seu cruzamento (Figura 17). A metodologia aplicada teve em consideração a lei do mínimo (c.f. 4.3.), ou seja considerou-se sempre os valores mais desfavoráveis para o correto desenvolvimento da cultura. Desta forma, a área com características físicas e químicas ideais para o desenvolvimento da cultura ocupa 29.49% e com características moderadas 19.34%.

Na verdade ocorre um aumento considerável das áreas na classe baixo o que está principalmente relacionado com as características químicas dos solos da área em estudo.

Os solos com elevadas e moderadas características físicas e químicas encontram-se principalmente em zonas planas ou de meia encosta (Anexo 4) e pertencem principalmente às famílias Pm, Bvc e Bpc.

4.3.4. Disponibilidades hídricas para os diferentes estados fenológicos

Depois da análise dos parâmetros relativos ao solo (características físicas e químicas) procedeu-se à análise da água no solo que tem por base relacionar as formas de relevo com as necessidades hídricas nas diferentes fases do ciclo fenológico, distinguindo-se a germinação (Figura 18), desenvolvimento vegetativo (Figura 19) e a floração (Figura 20).

Da análise da figura 18, relativa à relação entre as formas de relevo e a germinação é possível perceber que 61.75% apresentam elevada capacidade de germinação; quanto às classes de moderada e baixa capacidade de germinação é de referir que possuem áreas idênticas ocupando respetivamente, 15.66 e 16.25%.

Nos solos onde não existe excesso de água, independentemente da forma de relevo, verifica-se elevada capacidade para o desenvolvimento da planta. Nos solos localizados em zonas planas ou de meia encosta e côncavas, que apresentam excesso de água no mês de Dezembro, encontram-se na classe moderado e baixo, o que é possível observar na figura 18.

Durante o período de desenvolvimento vegetativo da cultura, que ocorre entre Janeiro e Fevereiro verifica-se a existência de 45.10% de solos pertencentes à classe elevado, 30.26% à classe moderado e 18.30% à classe baixo (Figura 19). O aumento das áreas com baixa e moderada capacidade para o desenvolvimento vegetativo está

relacionado com a capacidade utilizável dos solos ser inferior a 135 mm em zonas côncavas e planas/meia encosta, tal como referido no capítulo 4.2.2.2.

Analisando agora a figura 20 é notório a elevada capacidade da área de estudo para a floração da cultura durante o mês de Abril. A área ocupada por solos com elevada capacidade para a ocorrência da floração é de 77.54% e com moderada capacidade de 10.67%. Tendo em conta que esta é uma das fases críticas em necessidades de água por parte da cultura, uma vez que o défice hídrico prejudica a atividade e crescimento das raízes, é conveniente que o conteúdo de água no solo seja superior a 35 mm para qualquer uma das formas de relevo ou entre 35 e 55 mm para zonas côncavas (c.f. 4.2.2.2.), sendo de referir que os solos da presente área de estudo possuem em grande parte os valores ideais de conteúdo de água no solo.

Neste caso de estudo as maiores limitações, em termos de área, ocorrem no desenvolvimento vegetativo.

4.3.5. Disponibilidades hídricas para a cultura

Considerando a interação das cartas anteriormente analisadas (relação entre as formas de relevo com a germinação, desenvolvimento vegetativo e floração) é possível observar a existência de 64.92% de solos com elevadas disponibilidades hídricas para o desenvolvimento da cultura do grão-de-bico e de 5.03% com moderada disponibilidade.

Tendo em conta a metodologia aplicada, lei do mínimo, há uma grande área com baixas disponibilidades hídricas para a cultura (23.71%) o que está relacionado com o estado fenológico do desenvolvimento vegetativo, já que apresenta solos com moderada a baixa capacidade para o desenvolvimento vegetativo.

Na carta apresentada na figura 21 é de realçar, tal como já foi apontado anteriormente, a existência de 3 áreas com moderada e baixa disponibilidade hídrica para a cultura (centro, canto superior e inferior direito da figura 21), o que está relacionado não só com as formas de relevo mas também com os tipos de solo existentes, predominantemente solos esqueléticos e/ou em fase delgada que apresentam menor capacidade para acumulação de água.

4.3.6. Aptidão para a cultura do grão-de-bico

Após a análise de todos os parâmetros considerados para a elaboração da carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico é possível apresentar essa mesma carta sem e com as possibilidades de mecanização.

A aplicação da metodologia desenvolvida origina a carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico (Figura 22). Para a área do caso de estudo verifica-se que são principalmente os solos com pouca profundidade e fraca capacidade para a retenção de água que apresentam maiores limitações para a cultura, principalmente para o último parâmetro analisado, fase de desenvolvimento vegetativo. Isto está relacionado com o sistema radicular da cultura, bem como com as suas necessidades hídricas ao longo do seu desenvolvimento.

Na zona de estudo verifica-se a existência de 27.54% de solos com aptidão elevada e 15.67% com aptidão moderada. Relativamente à área de solos na classe inapta é de 50.45%, correspondendo a zonas de declive mais elevado (superior a 16%) com solos esqueléticos e/ou em fase delgada.

Comparando as duas cartas (Figura 22 e Figura 23) é possível afirmar que a consideração das possibilidades de mecanização reduz a presença de solos com classes de aptidão elevada e aumenta os solos ocupados por classes de aptidão moderada e inapta. Isto acontece, uma vez que o tema possibilidades de mecanização tem em conta os declives da área de estudo bem como a pedregosidade. A área de solos com aptidão elevada é de 17.04% se se tiver em consideração as possibilidades de mecanização.

Os solos com aptidão elevada para cultura do grão-de-bico pertencem principalmente às seguintes famílias: Pm, Bvc e Bpc. Estes solos apresentam boas características físicas, químicas e de armazenamento de água, tal como foi possível perceber da análise anteriormente realizada. É ainda de esclarecer que as formas de relevo para os presentes solos não causam impacto na cultura, desde que as suas características sejam as requeridas pela cultura.

De referir ainda que para o sistema cultural definido não são expectáveis problemas de erosão (Figura 24), uma vez que a perda de solo é menor que a tolerância à perda de solo.

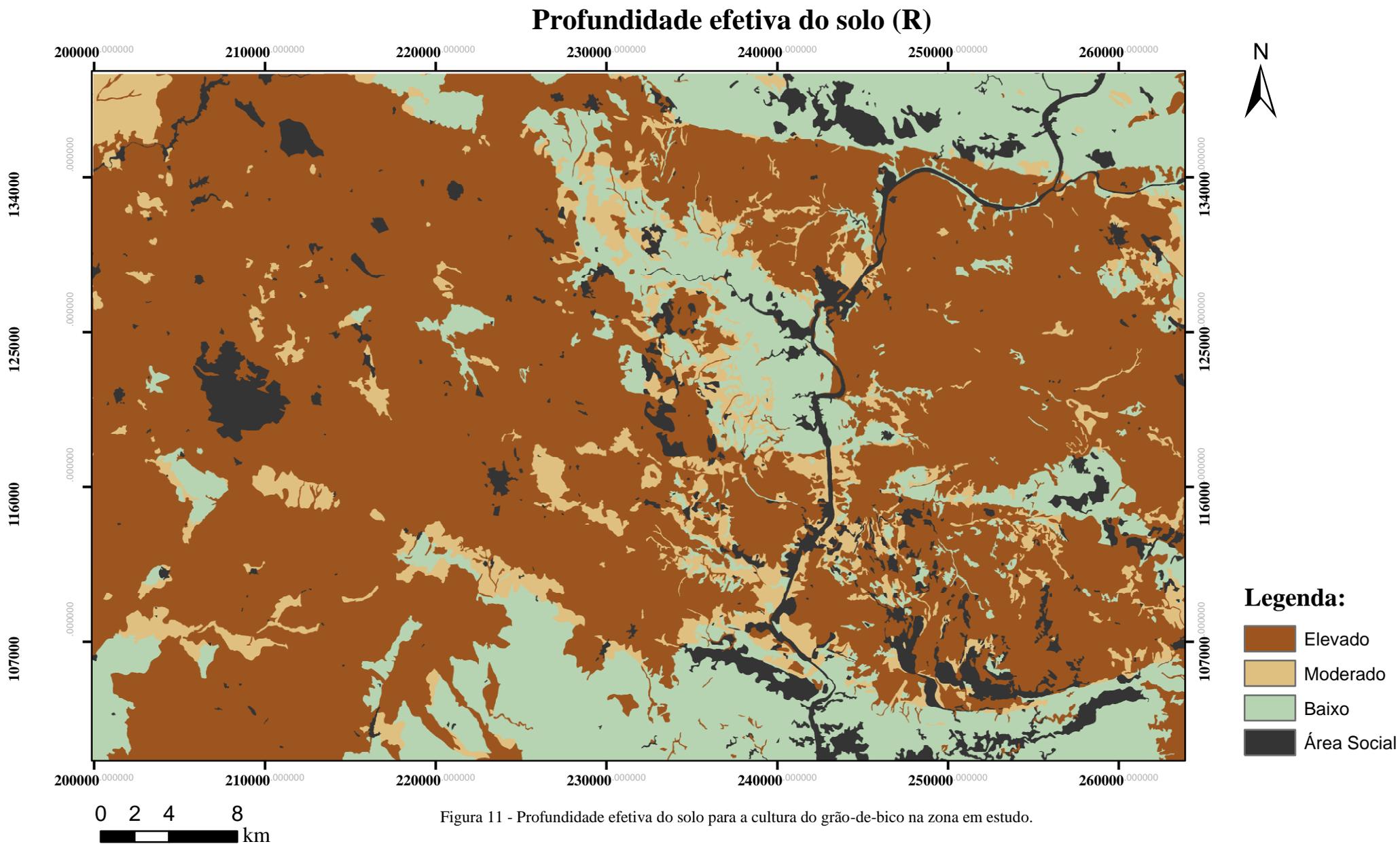
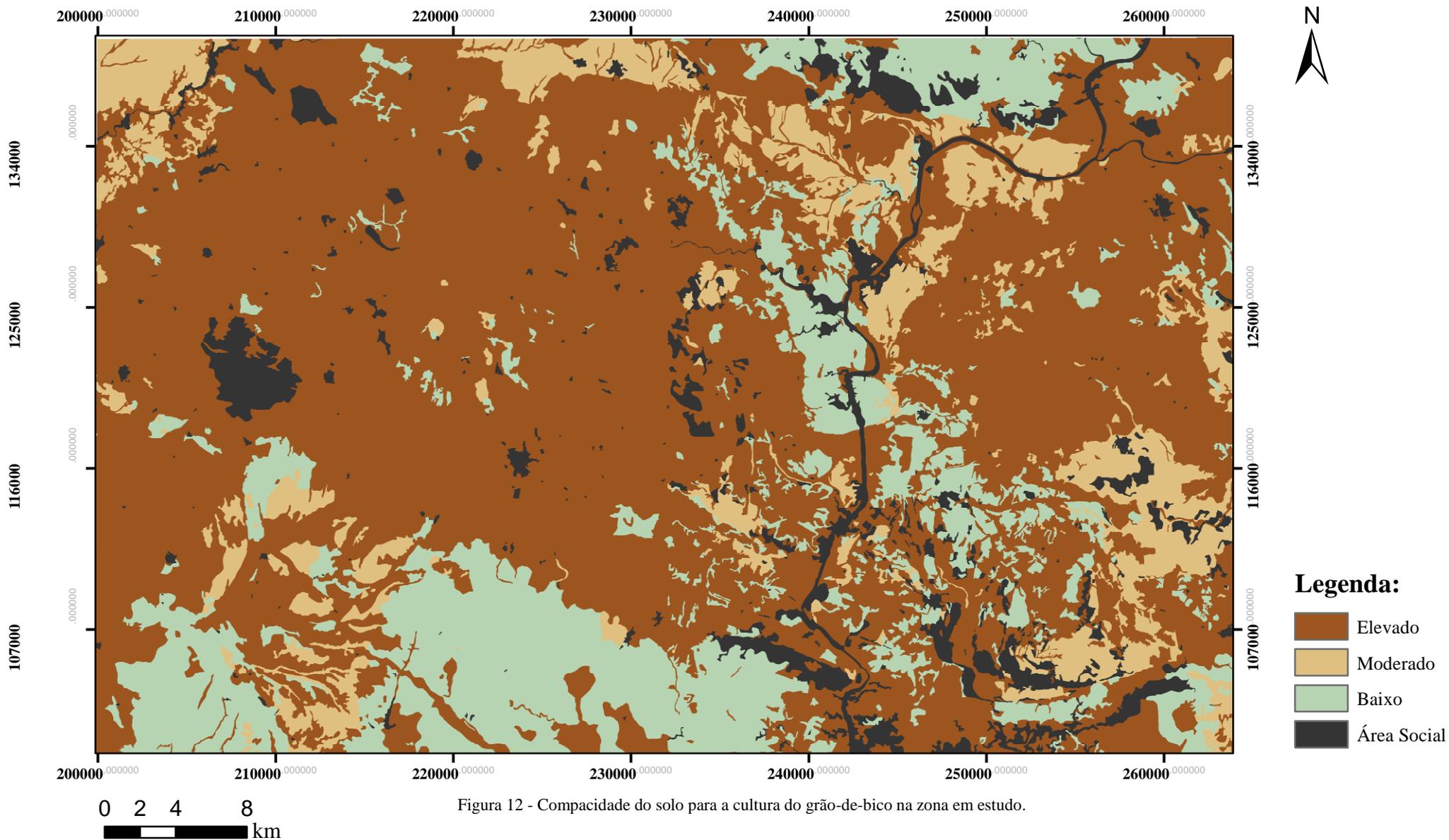
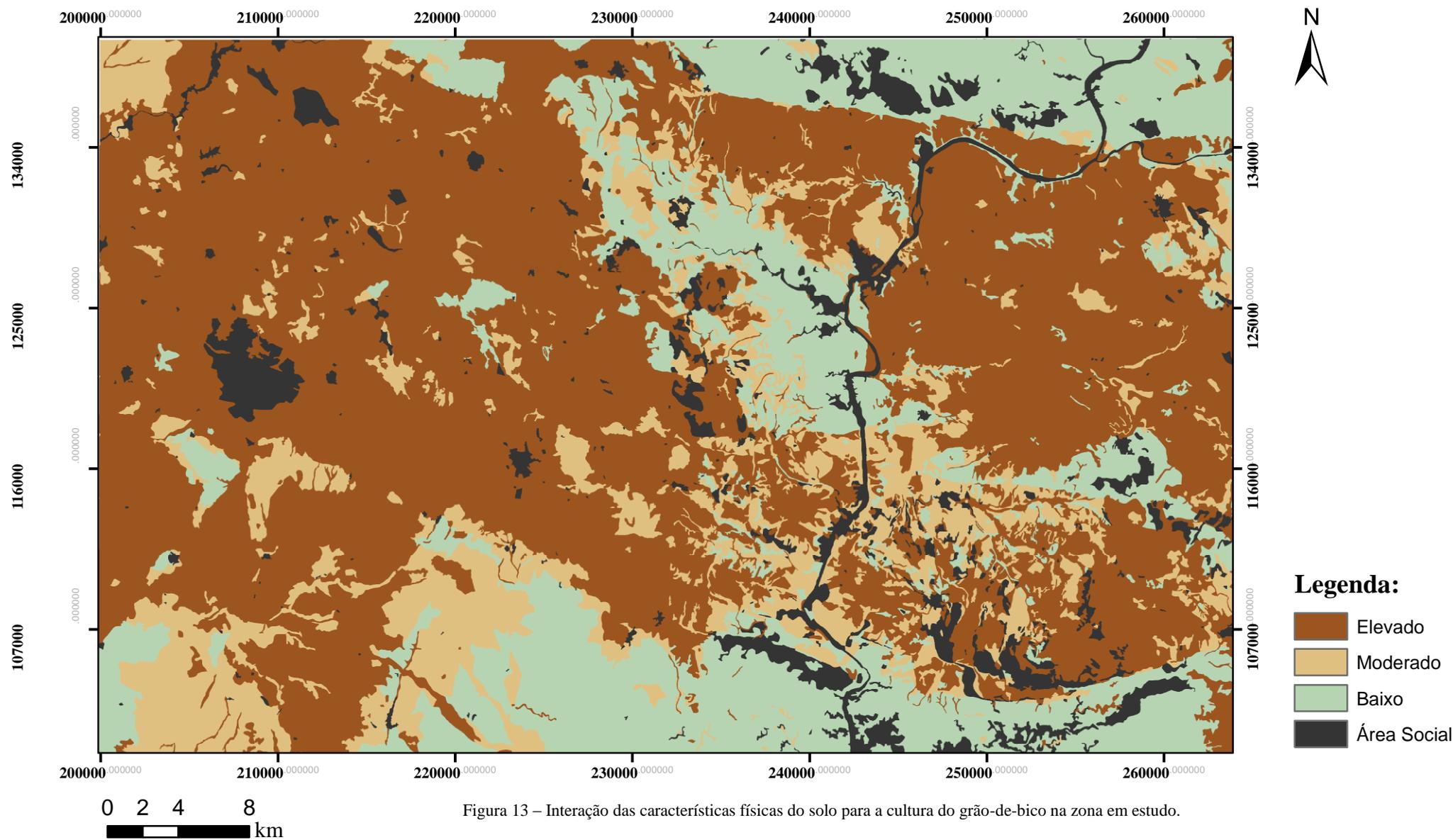


Figura 11 - Profundidade efetiva do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Compacidade (C)



Interação das características físicas do solo (RC)



Reação do solo (P)

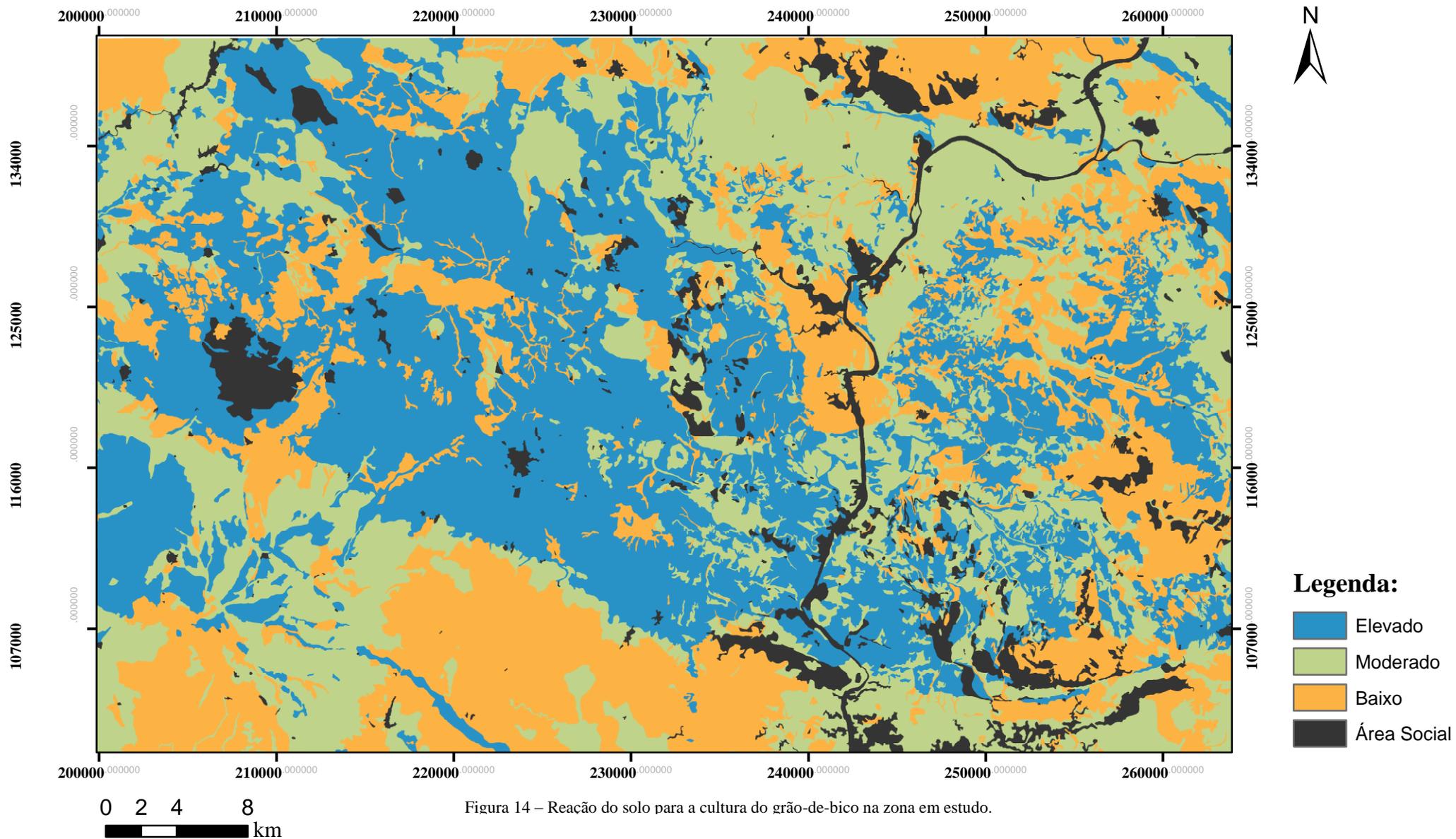


Figura 14 – Reação do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Fertilidade do solo (F)

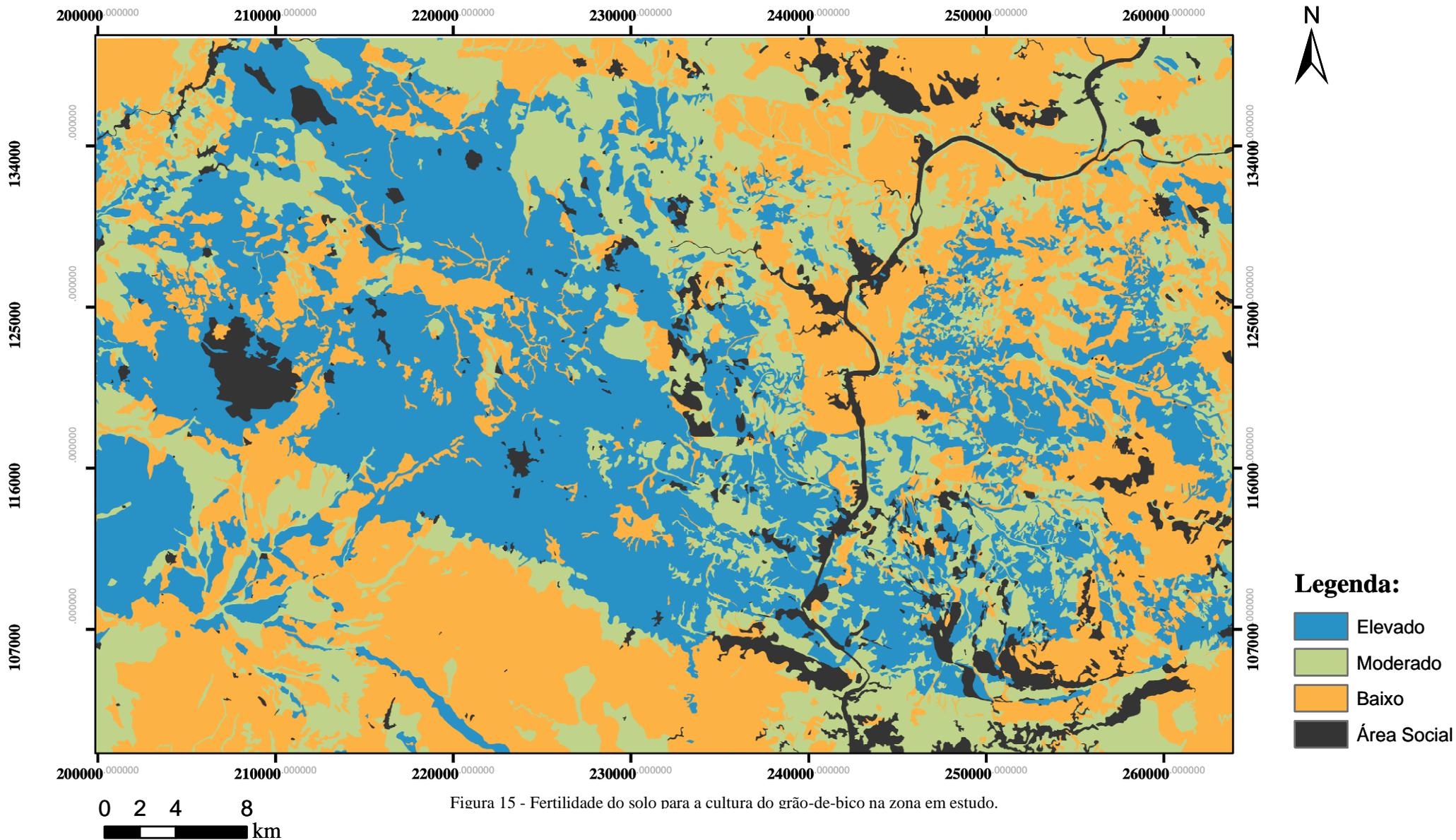
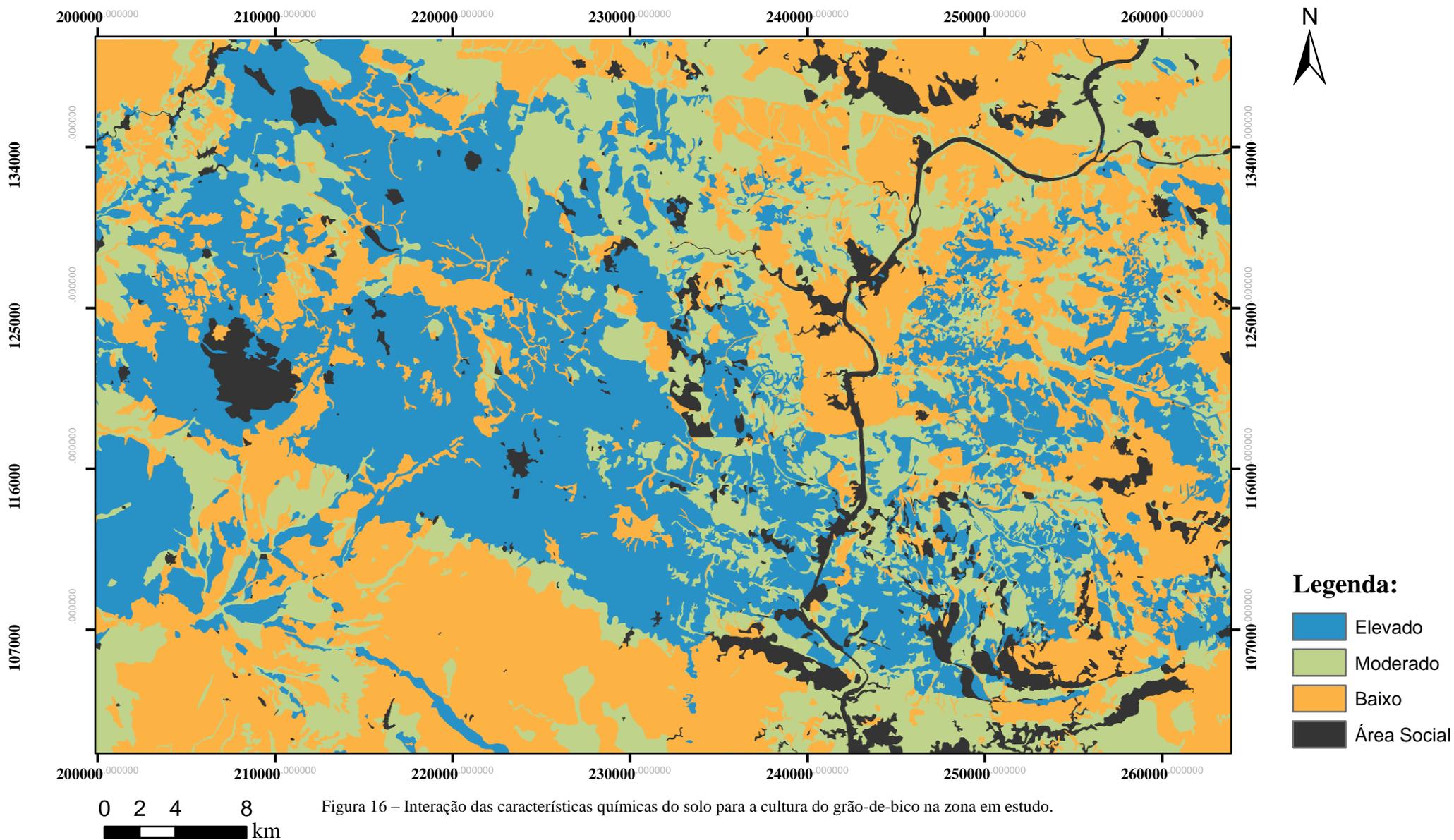


Figura 15 - Fertilidade do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Interação das características químicas do solo (PF)



Interação entre as características físicas e químicas do solo (RCPF)

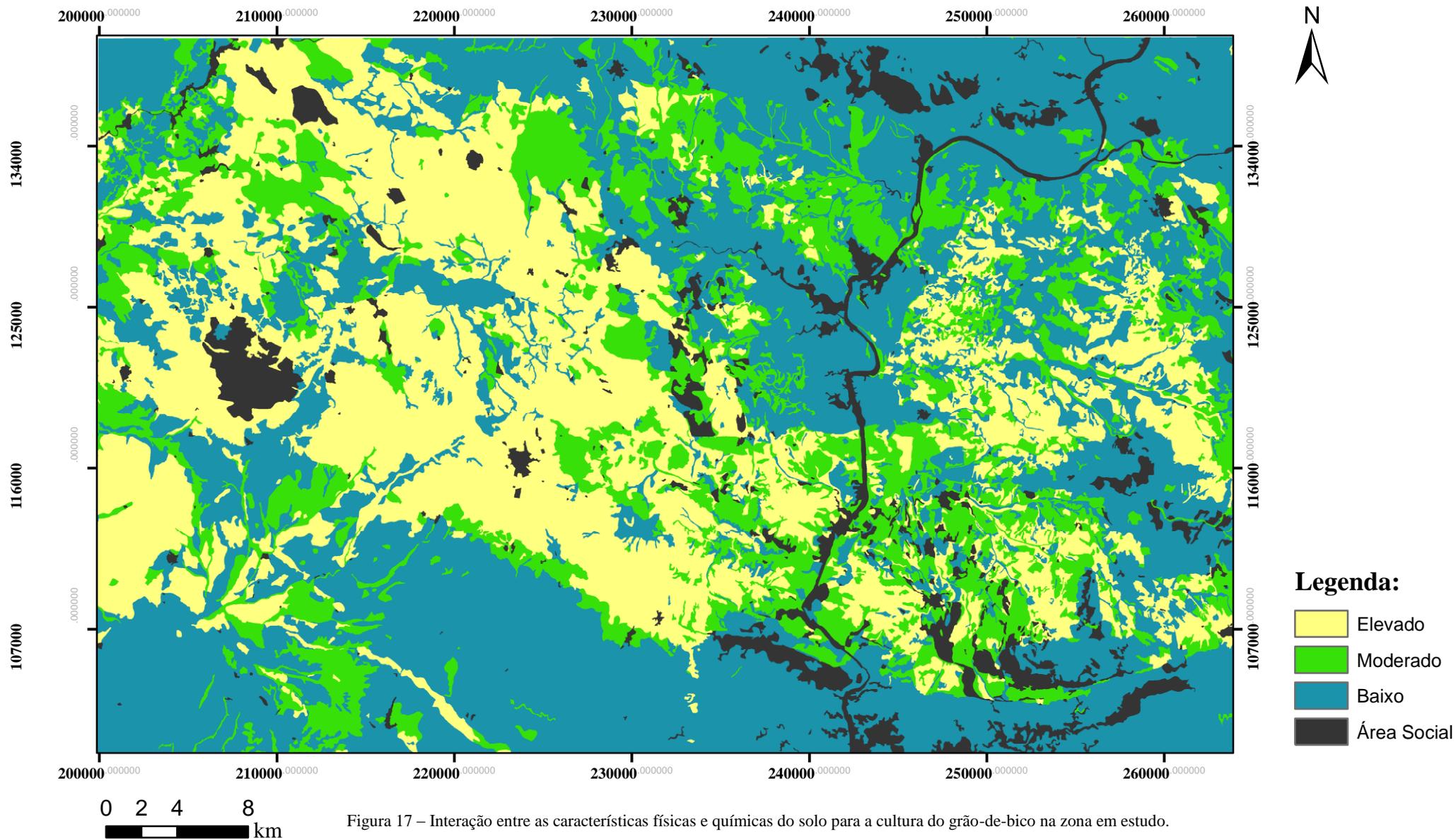


Figura 17 – Interação entre as características físicas e químicas do solo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Germinação (Final_FR_Germ.)

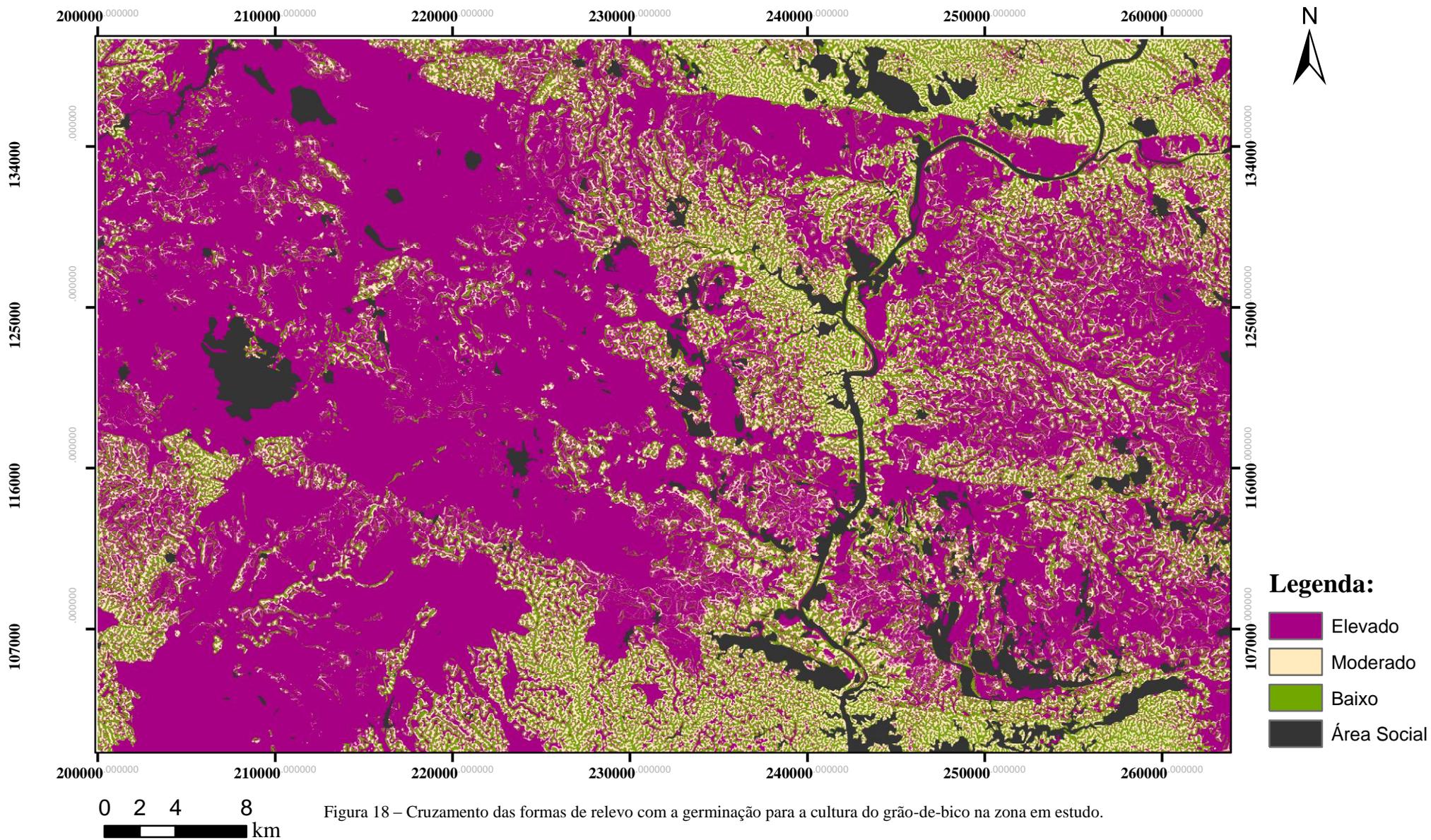


Figura 18 – Cruzamento das formas de relevo com a germinação para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Desenvolvimento Vegetativo (Final_FR_DVeg.)

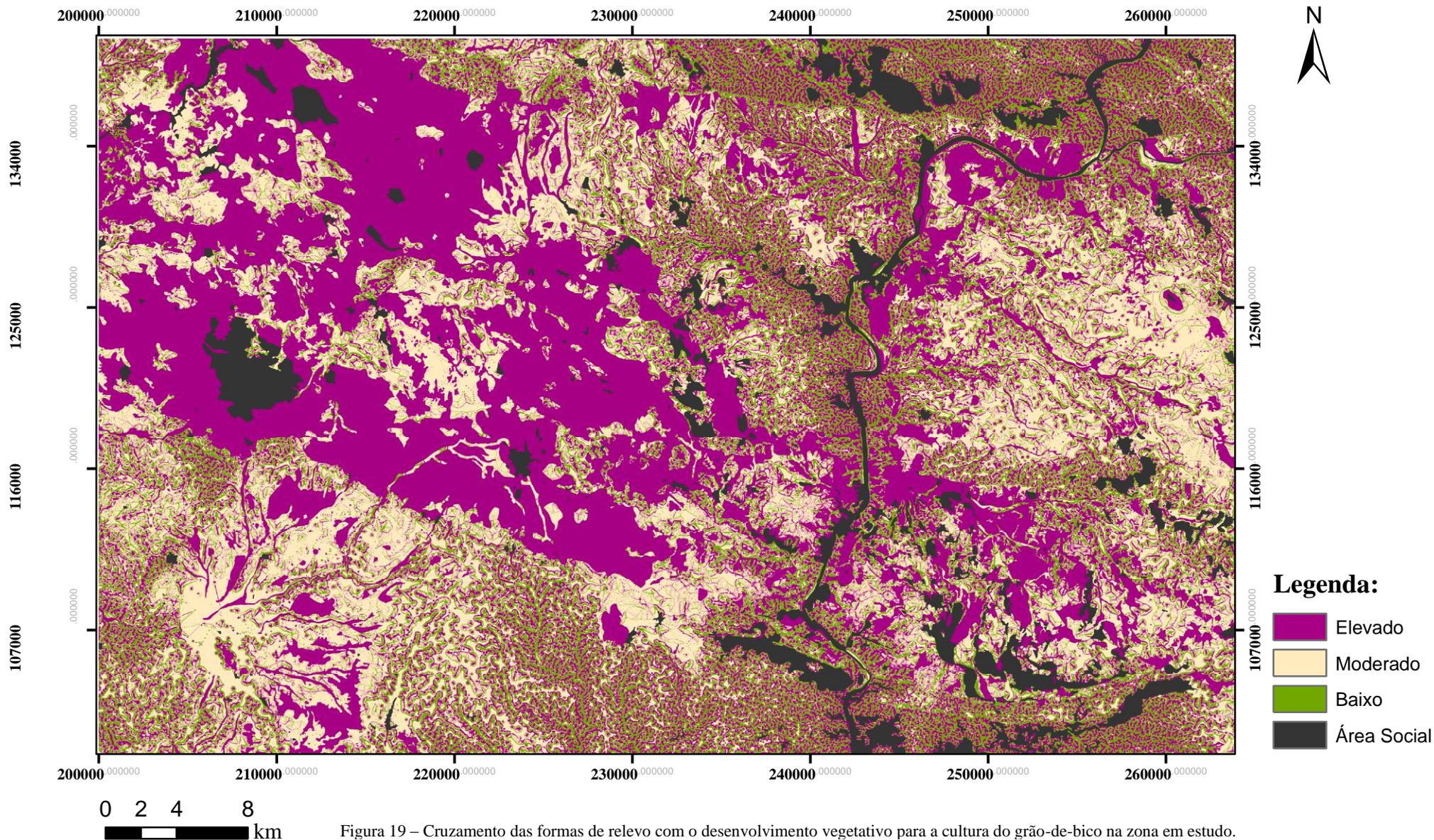


Figura 19 – Cruzamento das formas de relevo com o desenvolvimento vegetativo para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Floração (Final_FR_Flor.)

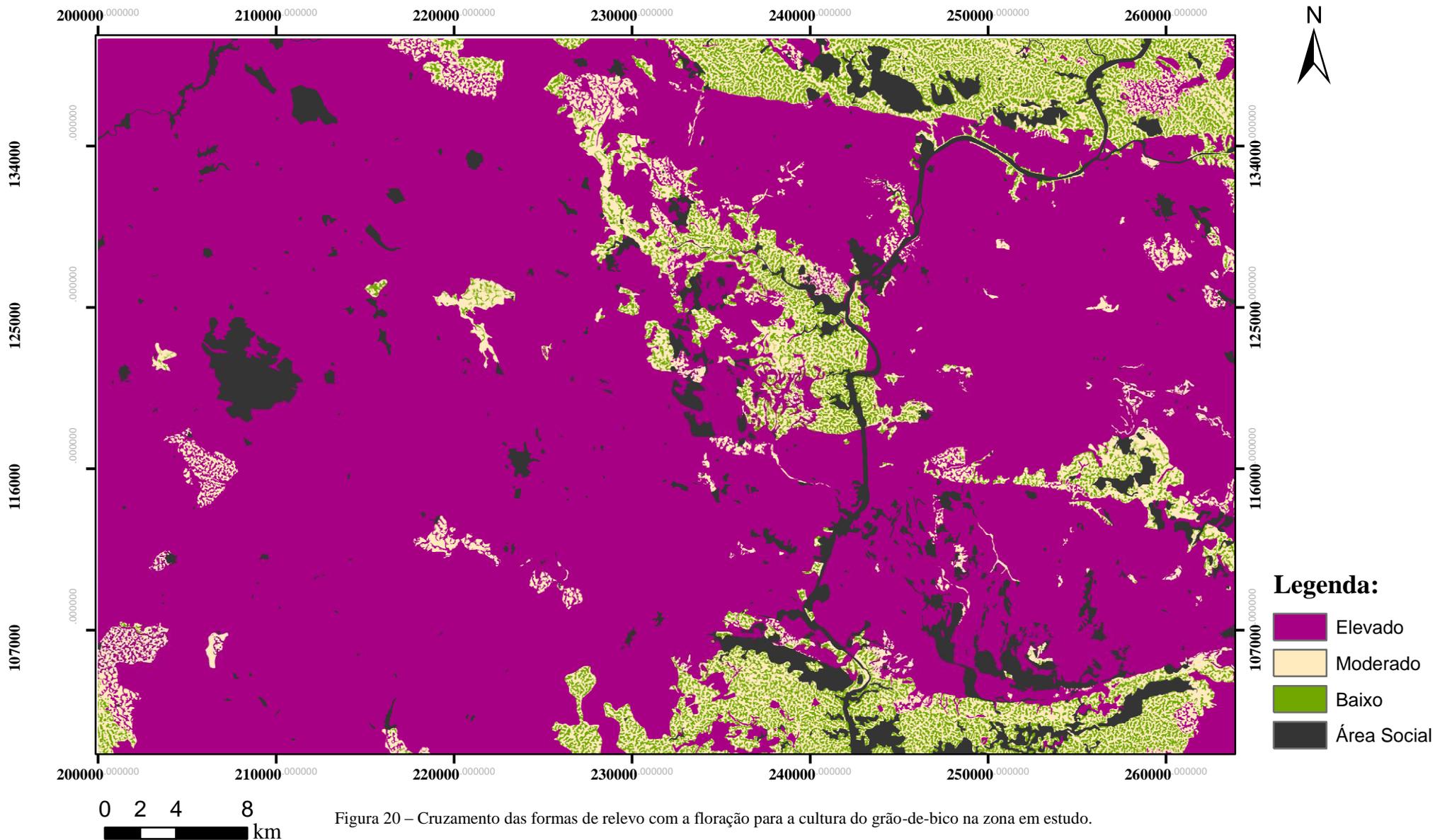


Figura 20 – Cruzamento das formas de relevo com a floração para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Interação entre as formas de relevo e as necessidades hídricas da cultura nas diferentes fases do ciclo fenológico (Final_FRDGF)

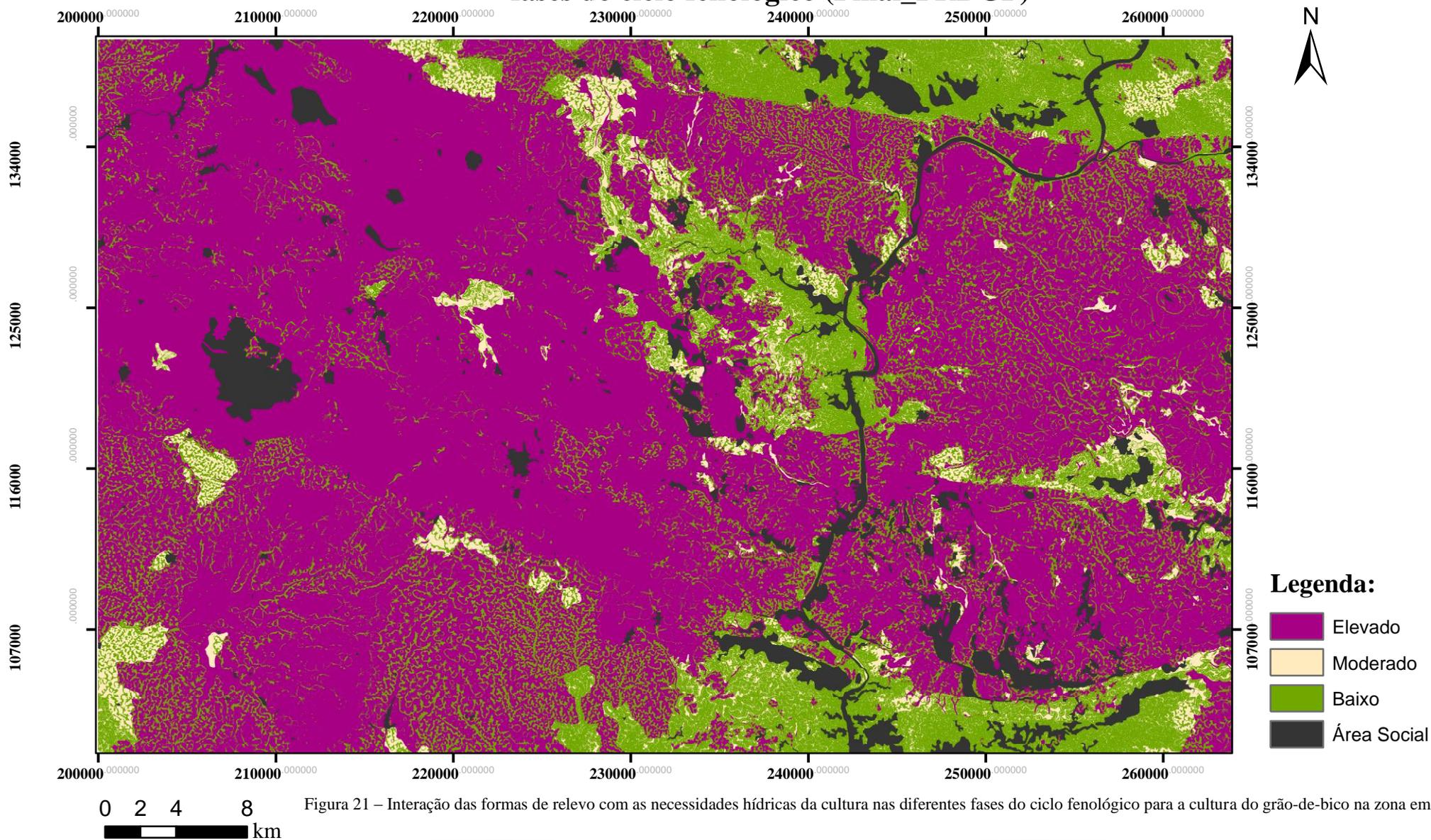


Figura 21 – Interação das formas de relevo com as necessidades hídricas da cultura nas diferentes fases do ciclo fenológico para a cultura do grão-de-bico na zona em estudo.

Carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico

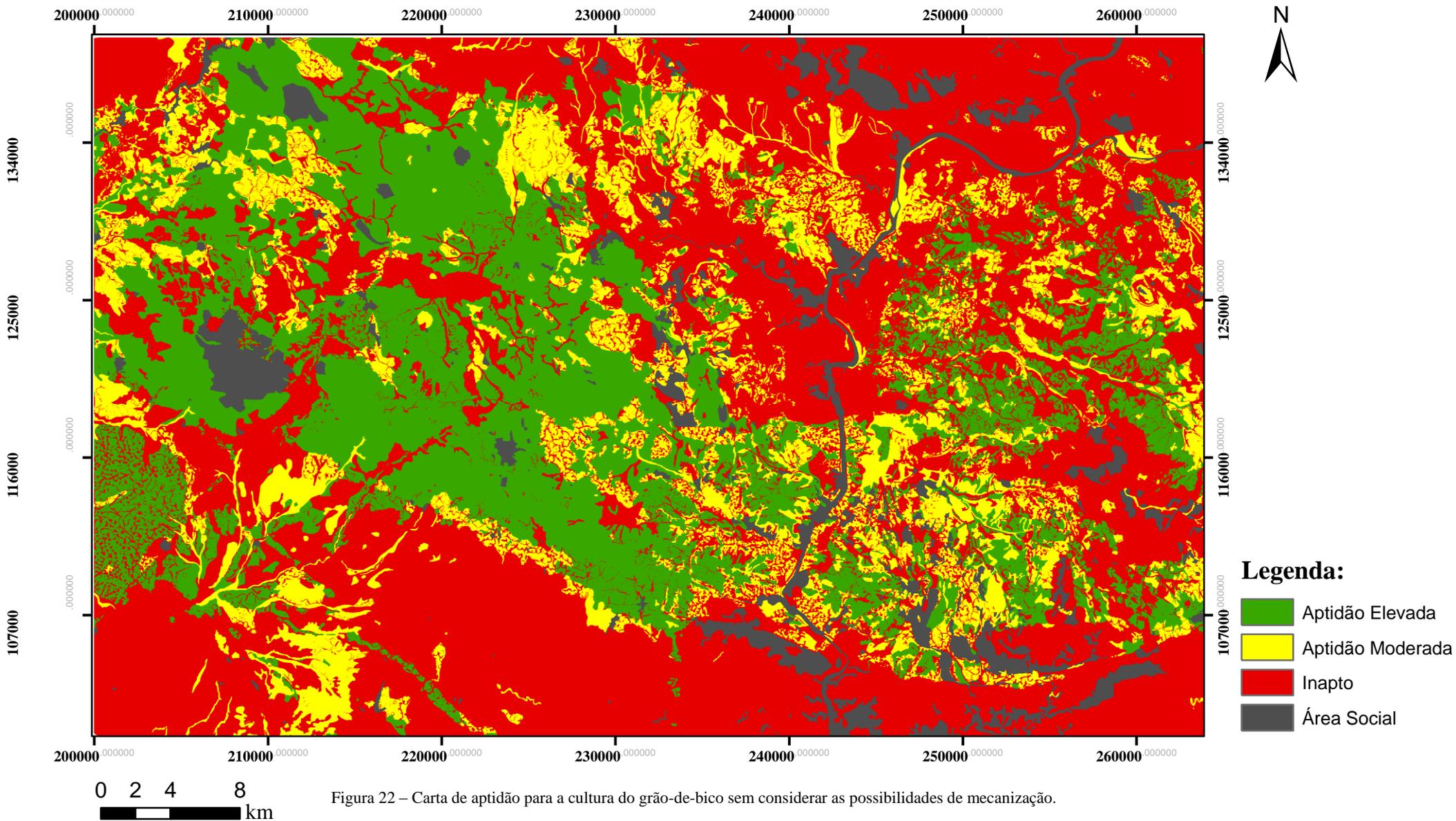


Figura 22 – Carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico sem considerar as possibilidades de mecanização.

Carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico com as possibilidades de mecanização

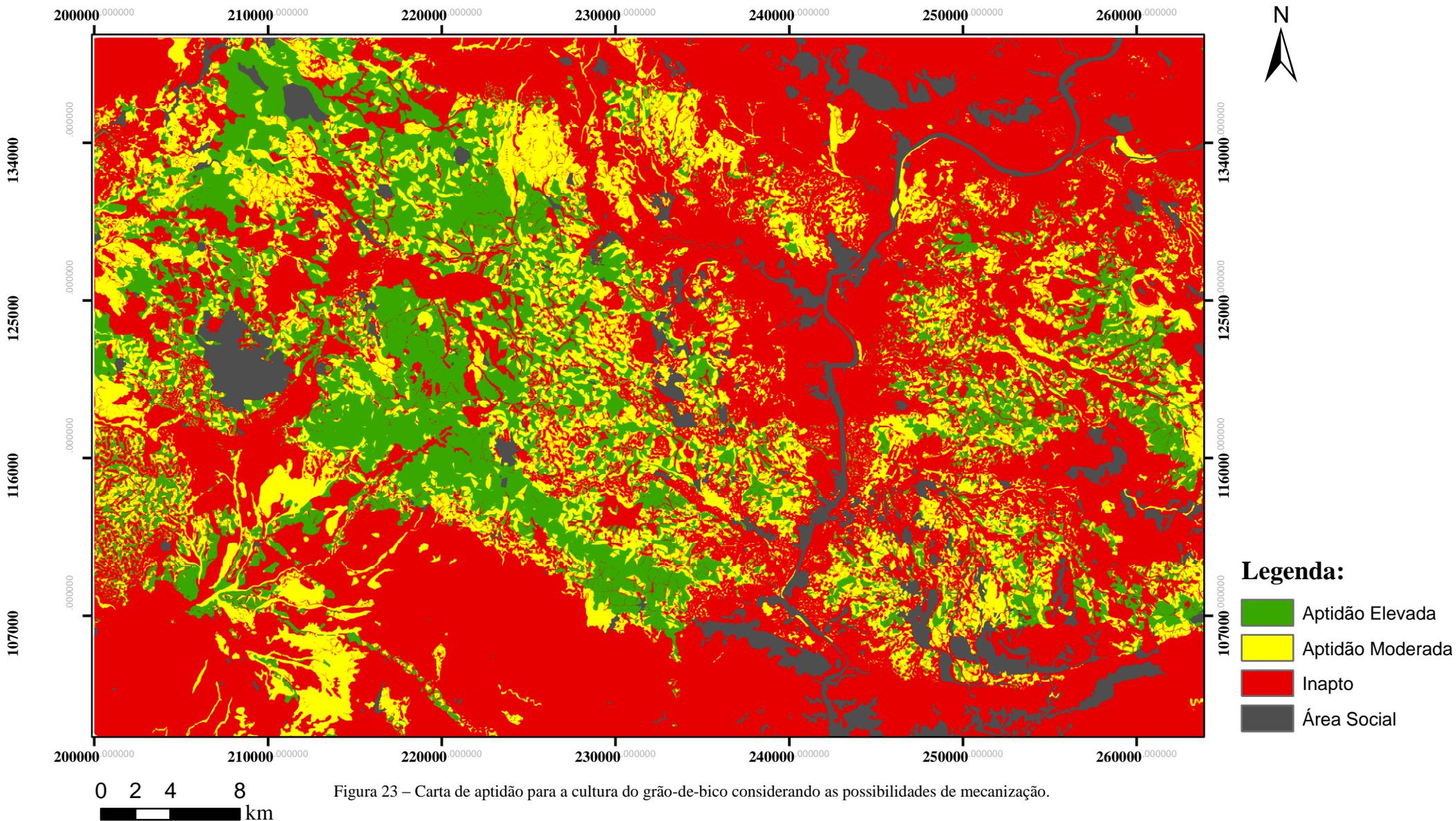
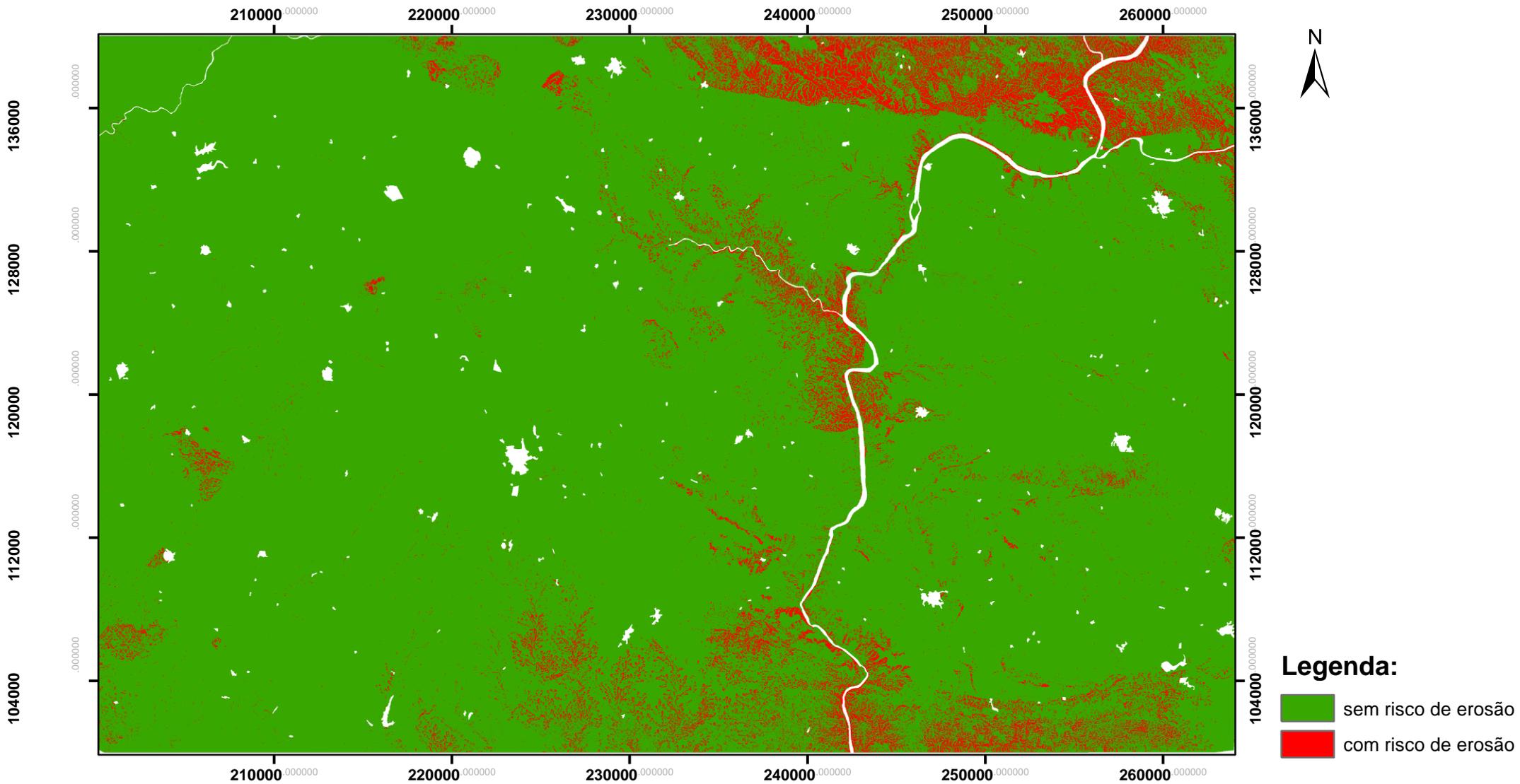


Figura 23 – Carta de aptidão para a cultura do grão-de-bico considerando as possibilidades de mecanização.

Riscos de Erosão



0 2 4 8 Km

Figura 24 – Riscos de erosão.

5. CONCLUSÕES

No âmbito deste trabalho foi desenvolvida uma nova metodologia para a avaliação da aptidão das terras para a cultura do grão-de-bico de sequeiro e em regime extensivo.

Considerou-se um vasto leque de variáveis edafo-climáticas, que se encontram relacionadas com as características do solo (profundidade efetiva, compacidade e reação do solo), qualidade do solo (fertilidade, disponibilidades hídricas nas diferentes fases fenológicas da cultura, riscos de erosão e possibilidades de mecanização), topografia (formas de relevo) e clima (temperatura e precipitação). Todas as variáveis foram analisadas em função de padrões, correspondentes à amplitude, para cada uma delas, para o desenvolvimento da cultura e produção de grão, existentes na bibliografia. Optou-se pela reclassificação de cada variável em três classes, elevada, média e inapta, para facilitar a sua utilização como ferramenta de apoio à decisão.

A metodologia desenvolvida tem caráter geral, não dependendo da presença da cultura do grão-de-bico. Deste modo poderá ser aplicada a qualquer zonas, independentemente da sua escala, bem como adaptada a outras condições edafo-climáticas e a outros sistemas culturais. A escala de utilização da metodologia desenvolvida depende da escala base das variáveis do solo, topografia e clima.

A implementação da metodologia desenvolvida num Sistema de Informação Geográfica permitiu o seu mapeamento, tornando a sua utilização, como ferramenta de apoio à decisão, fácil e expedita.

A cultura do grão-de-bico, importante fonte de proteína vegetal, apresenta grande tradição no baixo Alentejo, com boa capacidade de adaptação às condições mediterrânicas. A conceção da presente ferramenta permitirá aos agricultores avaliar a aptidão das suas terras para a cultura do grão-de-bico, de forma rápida. Esta ao ser uma leguminosa possibilita a diversificação das rotações de culturas, interrompendo o ciclo de doenças, contribuindo para o controlo de infestante e favorecendo a fixação de azoto atmosférico. Deste modo, há uma melhoria do sistema, ocorrendo um aumento do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de azoto no solo, o que permitirá reduzir os inputs.

Com a aplicação da metodologia desenvolvida percebe-se que da área total do caso de estudo, 27.54% dos solos possuem elevada aptidão, 15.67% aptidão moderada e 50.45% dos solos são inaptos para o desenvolvimento da cultura. A área de solos

inaptos para a cultura corresponde principalmente a zonas convexas de declives acentuados (superiores a 16%), com solos esqueléticos e/ou em fase delgada. Deste modo, apenas para estas zonas se verificam maiores perdas de solo, ou seja da área em estudo estas são as únicas zonas com maior suscetibilidade à erosão.

Ao ter em consideração as possibilidades de mecanização, as quais apenas devem ser consideradas para declives iguais ou inferiores a 12%, ocorre uma redução da presença de solos com classes de aptidão elevada (17.04%), e um aumento dos solos ocupados por classes de aptidão moderada e inapta (19.14 e 57.48%, respetivamente).

Da aplicação da metodologia desenvolvida à zona de estudo, verificou-se que as maiores limitações edafo-climáticas estão relacionadas com a profundidade e a capacidade de retenção de água do solo, principalmente durante a fase do desenvolvimento vegetativo da cultura, uma vez que são parâmetros diretamente relacionados e com grande relevância nas condições mediterrânicas em regime de sequeiro. Sabendo que muitas das áreas com aptidão moderada ou inapta estão diretamente relacionadas com as disponibilidades hídricas, então é possível alargar a área de aptidão elevada, com obras de engenharia rural, como sendo a instalação de sistemas de rega e/ou de sistemas de drenagem, dependendo das características do local.

Os principais solos na classe de aptidão elevada para o desenvolvimento da cultura do grão-de-bico no caso de estudo, pertencem às famílias dos solos mediterrâneos pardos para-barros de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins (Pm), aos barros castanho-avermelhados calcários muito descarbonatados de dioritos ou gabros ou rochas cristalofílicas básicas (Bvc) e aos barros pretos calcários muito descarbonatados de dioritos ou gabros (Bpc). As famílias de solos referidas apresentam boas características físicas, químicas e de armazenamento de água, tal como foi possível concluir da análise dos temas obtidos com a realização do presente trabalho.

Em futuros trabalhos poderá ser interessante a aplicabilidade desta metodologia a outras culturas como a áreas de maiores dimensões. É de referir que deverá ser realizada a validação da metodologia com dados de campo. Será ainda interessante o desenvolvimento de uma metodologia para definição da produtividade da cultura.

É ainda de referir que será de todo o interesse em próximos trabalhos considerar a utilização de dados climáticos mais pormenorizados, de modo a que seja possível avaliar a existência, ou não, de zonas com microclimas ou variabilidade espacial de

pequena escala. Isto é de todo o interesse, uma vez que permite identificar zonas que poderão apresentar boas características climáticas para o desenvolvimento da cultura, não sendo possível identificá-las sem a análise de dados de clima mais pormenorizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, A.I., Ali, A.H., Ibrahim, K.S., 1996. Country Case Studies - West Asia, Chickpea in Iraq, in: Saxena, N.P., Saxena, M.C., Johansen, C., Virmani, S.M., Harris, H. (Eds.), *Adaptation of Chickpea in the West Asia and North Africa Region*. pp. 35–47.
- Abbo, S., Lev-Yadun, S., Galwey, N., 2002. Vernalization response of wild chickpea. *New Phytol.* 154, 695–701. doi:10.1046/j.1469-8137.2002.00405.x
- Abreu, J.P., 2014. Ferramentas de Agrometeorologia, Agricultura e Ambiente - Cálculo do Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather [WWW Document]. Univ. Técnica Lisboa - Inst. Super. Agron. URL <http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/PaginaTecnica.htm> (accessed 1.12.14).
- Agroconsultores e Coba, 1991. Carta dos solos, carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal (memórias). Projecto de desenvolvimento rural integrado de Trás-os-Montes - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Akbaba, U., Sahin, Y., Turkez, H., 2012. The element contents in chickpeas grown under organic and conventional farming regimes using WDXRF analysis for human nutrition and health. *TÜBITAK* 36, 279–287. doi:10.3906/fiz-1107-12
- Alves, H.M.R., Alvarenga, M.I.N., Lacerda, M.P.C., Vieira, T.G., 2003. Avaliação das terras e sua importância para o planeamento racional do uso. *Inf. Agropecuário*, Belo Horiz. 24, 82 – 93.
- Amaral, J.P., 2013. Monitorização da massa de águas subterrâneas Cretácico de Aveiro. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Geológica - Universidade de Aveiro.
- Andrade, J.A., 2011. A água no Sistema Climático - Apontamentos para aulas de Microclimatologia dos Habitats. Universidade de Évora - Departamento de Geociências, Évora.
- Arrobas, M., Pereira, E., 2009. Preparação do solo, in: Azevedo, J.C., Gonçalves, A. (Eds.), *Manual de Boas Práticas Em Espaços Verdes*. Bragança, pp. 23 – 28.
- Barriguinha, A., 2008. ECO @ GRO DIGITAL - Uma ferramenta WebGIS de apoio na consultadoria e gestão. Trabalho de Projeto para obtenção do grau de mestre em ciências e sistemas de informação geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação - Universidade Nova de Lisboa.
- Barros, J.C., Basch, G., Carvalho, M. de, 2002. Sementeira Directa como Sistema de Mobilização de Conservação do Solo (Parte I).
- Barroso, M. do R., Magalhães, M.J., Carnide, V., Martins, S., Vegas, C.A., Cachón, M.R., 2007. Caracterização e avaliação de diferentes espécies de leguminosas grão na região. *Caracterização e Avaliação de Diferentes Espécies de Leguminosas Grão na Região de Trás-os-Montes*, Direcção R. ed.
- Blaszczynski, J.S., 1997. Landform Characterization with Geographic Information Systems 63, 183–191.
- Bloom, P.R., 2000. Handbook of Soil Science, in: Sumner, M.E. (Ed.), *United States of America*, p. B–333 a B–352.
- Botelho da Costa, J., 1979. *Caracterização e Constituição do solo*, 2^o ed. Lisboa, Portugal.
- Bretag, T.W.D., Crouch, J.H.A., 2005a. Ascochyta blight of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review of biology , pathogenicity , and disease management. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 317–332.

- Bretag, T.W.D., Crouch, J.H.A., 2005b. Ascochyta blight of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review of biology, pathogenicity, and disease management * 317–332.
- Carvalho Cardoso, J., 1965. Solos de Portugal - sua classificação, caracterização e gênese. Lisboa.
- César, J., 2014. Avaliação das Terras de Pastoreio Extensivo na Província do Namibe – ANGOLA. Tese apresentada para obtenção do grau de doutor em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa.
- Chudleigh, P., 2012. An Economic Analysis of GRDC Investment in the National Chickpea Breeding Program. Grains Research & Development Corporation (GRDC), Kingston.
- Coletta, L. Della, 2010. Estudo da fixação biológica do nitrogênio em leguminosas (família Fabaceae) arbóreas tropicais através do enriquecimento isotópico do ¹⁵N. Dissertação de mestrado em ciências, Universidade de São Paulo.
- Cooperation Project, 2004. Innovative Management practices - Chickpea (*Cicer arietinum* L.).
- Corp, M., Machado, S., Ball, D., Smiley, R., Petrie, S., Siemens, M., Guy, S., 2004. Chickpea Production Guide 1–14.
- Corral, J.A.R., Garcia, G.M., Acuña, I.J.G., López, H.E.F., Ojeda, G.R., Trejo, C.O., Murphy, K.F.B., Parra, R.A.M., 2013. Garbanzo, in: Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y pecuarias - CIRPAC - Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México, pp. 218 – 222.
- COTR, 2012. Climatologia Agrícola. Beja, Portugal.
- Cubero, J.I., 1987. The Chickpea. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Cubero, J.I., 1975. The research on chickpea (*Cicer arietinum*) in Spain, in: Pages in Proceedings of the International Workshop on Grain Legumes. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India., pp. 117–122.
- Das, P.T., Sudhakar, S., 2014. Land Suitability Analysis for Orange & Pineapple: A Multi Criteria Decision Making Approach Using Geo Spatial Technology. J. Geogr. Inf. Syst. 06, 40–44. doi:10.4236/jgis.2014.61005
- Duarte, I., Calado, J., 2014. Proteaginosas - o regresso do grão-de-bico. SIMPÓSIO Nac. Cult. AGROINDUSTRIAIS.
- Duarte, I.M., Calado, J., Viana, M., 2015. Proteaginosas: o regresso do grão-de-bico. Vida Rural 34–36.
- Duschak, M., 1871. Zur Botanik des Talmud, Pest. I. Neuer, Pest.
- Falcão, I. de O., 2012. Extração semi-automática tridimensional dos principais elementos de um perfil rodoviário a partir de dados LiDAR. Dissertação de mestrado em Engenharia Geográfica, Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências.
- FAO, 2006. Diagnostic horizons, properties and materials, in: World Reference Base for Soil Resources 2006. FAO, Roma, Itália.
- FAO, 1983. Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. FAO Soils Bull. 52.
- FAO, 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32.
- FAOSTAT, 2013. Statistical Database. Food Agric. Organ. United Nations.
- Farah, S.M., 1988. Water requirement and the irrigation management of pea, lentil, faba bean and chickpea crops, in: Summerfield, R.J. (Ed.), World Crops: Cool Season Food Legumes, Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp. 271 – 278.

- Feio, M., 1991. Clima e Agricultura, Direcção G. ed. Lisboa, Portugal.
- Feio, M., 1983. Le Bas Alentejo et l'Algarve. Instituto Nacional de Investigação Científica - Centro de Ecologia aplicada da Universidade de Évora, Évora.
- Ferreira, A.G., Gonçalves, A.C., Dias, S.Sa., 2008. Avaliação da Sustentabilidade dos Sistemas Florestais em Função da Erosão. *Silva Lusit.* n.º especial, 55 – 67.
- Fulgêncio, C., Bettencourt, P., 2011. Carta de vulnerabilidade à salinização e alcalização dos solos.
- Gan, Y.T., Siddique, K.H.M., MacLeod, W.J., Jayakumar, P., 2006. Management options for minimizing the damage by ascochyta blight (*Ascochyta rabiei*) in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *F. Crop. Res.* 97, 121–134. doi:10.1016/j.fcr.2005.10.002
- Gaur, P., Tripathi, S., Gowda, C., Ranga Rao, G., Sharma, H., Pande, S., Sharma, M., 2010. Chickpea Seed Production Manual, Internatio. ed. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Gomes, J.C., Santos, J.F., 2005. SISAP – Sistema de Apoio à Determinação da Aptidão Cultural.
- Gonçalves, A.C., 2012. Produção de Biomassa Florestal, Universida. ed. Textos Didáticos, Évora.
- GPP, 2010. O PROT-Alentejo na perspectiva do MAMAOT [WWW Document]. Gab. Planeamento, Políticas e Adm. Geral. URL <http://www.gpp.pt/ambiente/PROT/Alentejo/> (accessed 7.27.15).
- Iannucci, A., Terribile, M.R., Martiniello, P., 2008. Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. *F. Crop. Res.* 106, 156–162. doi:10.1016/j.fcr.2007.11.005
- INE, 2013. Estatísticas Agrícolas 2013, Edição 201. ed. Lisboa, Portugal.
- IPMA, 2014. Normais Climatológicas [WWW Document]. 1981 a 2010 - Beja. URL <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/002/>
- Jenness, J.S., 2006. Topographic Position Index extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness Enterprises.
- Johansen, C., Baldev, B., Brouwer, J.B., Erskine, W., Jermyn, W.A., Li-Juan, L., Malik, B.A., Miah, A.A., Silim, S.N., 1994. Biotic and abiotic stresses constraining productivity of cool season food legumes in Asia, Africa and Oceania. *Curr. Plant Sci. Biotechnol. Agric.* 19, 175–194.
- Jukanti, A.K., Gaur, P.M., Gowda, C.L.L., Chibbar, R.N., 2012. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *Br. J. Nutr.* 108 Suppl, S11–26. doi:10.1017/S0007114512000797
- Kassie, M., Shiferaw, B., Asfaw, S., Abate, T., Muricho, G., Ferede, S., Eshete, M., Assefa, K., 2009. Current Situation and Future Outlooks of the Chickpea Sub - sector in Ethiopia. ICRISAT & EIAR.
- Kosgey, J.R., 1994. Nodulation, growth and water use of chickpeas (*Cicer arietinum* L.). Master's thesis in agricultural sciences, Lincoln University.
- Ladizinsky, G., 1975. A new *Cicer* from Turkey, in: Notes of the Royal Botanic Garden Edinburgh. pp. 201–202.
- Ladizinsky, G., Adler, A., 1975. The origin of chickpea *Cicer arietinum* L. *Euphytica* 25, 211–217.

- Luz, A.P., Fernandes, J., Dill, A.C., 2001. Aplicação de um SIG na selecção de locais para implantação de aterros sanitários em áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos. Lisboa, Portugal.
- Mamman, E., Ohu, J.O., Crowther, T., 2007. Effects of soil compaction and organic matter on the early growth of maize (*Zea mays*) in vertisol. *Int. Agrophysics* 21, 367 – 375.
- Matos, J., 2007. Modelos Digitais de Terreno. Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa, Portugal.
- Mbarek, K. Ben, Douh, B., Boujelben, A., 2008. Effects of Irrigation on the Flowering and Maturity of Chickpea Genotypes, in: Lee, T.S. (Ed.), *Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments*. InTech, pp. 1 – 5.
- Mcneil, D., Ahmad, F., Abbo, S., Bahl, P.N., 2007. Genetics and Cytogenetics, in: Yadav, S.S., Redden, R.J., Chen, W., Sharma, B. (Eds.), *Chickpea Breeding and Management*. CAB international.
- Meurer, E.J., 2007. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, in: Novais, R.F., Alvarez, V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. (Eds.), *Fertilidade Do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa.
- Ministério da Economia, 1973. Carta dos Solos de Portugal - Classificação e caracterização dos Solos de Portugal (Volume II). Ministério da Economia: Secretaria de Estado da Agricultura - Serviço de reconhecimento e de ordenamento agrário, Lisboa, Portugal.
- Mohammadi, G., Javanshir, A., Khooie, F.R., Mohammadi, S.A., Zehtab, S., 2005. Critical period of weed interference in chickpea 57–63.
- MS Corporation, 2013. Desi Chana [WWW Document]. URL <http://www.mscorporation.in/products/desichana.html>
- Mula, M.G., Gonzales, F.R., Mula, R.P., Gaur, P.M., Gonzales, I.C., Dar, W.D., Eusebio, J.E., Ilaio, S.S.L., 2011. Chickpea (Garbanzos): An emerging crop for the rainfed and dryland areas of the Philippines. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Muñoz-Romero, V., López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., 2012. The effects of the tillage system on chickpea root growth. *F. Crop. Res.* 128, 76–81. doi:10.1016/j.fcr.2011.12.015
- Nene, Y.L., Kanwar, J.S., 1988. Research on food legumes at the International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), with special reference to chickpea.pdf, in: Summerfield, R.J. (Ed.), *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India, pp. 39–40.
- Nene, Y.L., Reddy, M. V., Haware, M.P., Ghanekar, A.M., 2012. Field Diagnosis of Chickpea. Information Bulletin n°28, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Oplinger, E.S., Hardman, L.L., Oelk, E.A., Kaminski, A.R., Schulte, E.E., Doll, J.D., 1990. Chickpea. *Corn Agron.*
- Pande, S., Sharma, M., Gaur, P.M., Gowda, C.L., 2010. Host Plant Resistance to Ascochyta Blight of Chickpea. ICRISAT, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Pande, S., Siddique, K.H.M., Kishore, G.K., Bayaa, B., Gaur, P.M., Gowda, C.L.L., Bretag, T.W., Crouch, J.H., 2005. Ascochyta blight of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review of biology, pathogenicity, and disease management. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 317–332.
- Pariona, F.G., n.d. Garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Universidad Nacional Hermilio Valdizan - Facultad de Ciencias agrarias, Cayhuayna, Peru.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1633–1644.

- Perdigão, A., 2003. SIG na gestão da água para a agricultura. *Finisterra* 38, 121 – 131.
- Pereira, A.R., 2005. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. *Red Rev. Cient. América Lat. el Caribe, Espanã y Port.* 64, 311–313.
- Pereira, G., Sousa, M.T. de, Duarte, I., 1992. Produção de grão-de-bico em Portugal - Potencial e estrangulamentos. *Pastagens e Forragens* 13, 115–124.
- Pimenta, M.T., 1998. Caracterização da erodibilidade dos solos a Sul do rio Tejo. INAG/DSRH.
- Pinto, L.M.C., Sousa, M.T. de, Rodrigues, F.L., Duarte, I.M., Pereira, M. da G., 1990. Épocas e densidade de sementeira de grão-de-bico e fava. *Rev. da Soc. Port. Pastagens e Forragens* 147–163.
- Portela, M.M., Santos, J.F., 2006. ESTIMAÇÃO DE ESCOAMENTOS SUPERFICIAIS MENSIS EM PORTUGAL CONTINENTAL BASEADA NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DE THORNTHWAITE. *Rev. Recur. hidricos* 27, 19–34.
- PortFIR, 2015. Tabela de Composição dos Alimentos [WWW Document]. Plataforma Port. Informação Aliment. - Inst. Nac. Saúde Doutor Ricardo Jorge. URL <https://insa.foodcase.ch/foodcomp/food?516> (accessed 1.1.16).
- Rawls, W.J., Ahuja, L.R., Brakensiek, D.L., Shirmohammadi, A., 1993. Infiltration and Soil Water Movement, in: Maidment, D.R. (Ed.), *Handbook of Hydrology*. McGRAW-HILL, INC, New York.
- Redden, R.J., Berger, J.D., 2007. History and Origin of Chickpea, in: *Chickpea Breeding and Management*. pp. 1–13.
- Regato, J., Regato, M., Guerreiro, I., 2001. A floração da noqueira na região de Beja. Beja, Portugal.
- Ribeiro, A.C., 2008. Análise molecular de lectinas em sementes de leguminosas. Teses de doutoramento em Bromatologia, Universidade de Lisboa.
- Rumpho, M.E., Kennedy, R.A., 1981. Anaerobic Metabolism in Germinating Seeds of *Echinochloa crus-galli* (Barnyard Grass)'. *Plant Physiol.* 68, 165–168.
- Sampaio, E.M., 2007. Avaliação da aptidão das terras - Método recomendado pela FAO. Universidade de Évora - Departamento de Geociências, Évora, Portugal.
- Sampaio, E.M., 1999. Utilização da Carta de Solos. Universidade de Évora - Secretariado do Conselho Editorial da Universidade de Évora, Évora, Portugal.
- Sandhu, J.S., Gupta, S.K., Singh, I., Gill, B.S., Bhardwaj, R., 2010. Genetics of bushy growth habit and its implications in chickpea improvement. *Indian Soc. Genet. Plant Breed.* 70, 383–385.
- Santos, J.Q. dos, 2002. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos, 3ª edição. ed. Publicações Europa-América - Coleção EuroAgro.
- Santos, J.Q. dos, 1983. Fertilizantes - Fundamentos e aspectos práticos da sua aplicação. Publicações Europa-América - Coleção EuroAgro.
- Santos, F.A., 2012. Agricultura de Precisão. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - Departamento de Agronomia, Vila Real, Portugal.
- Santos, F.L., Alexandre, C.A., Coelho, R.R., 2013. Relações Solo-Água-Planta, in: Shahidian, S., Guimarães, R.C., Rodrigues, C.M. (Eds.), *Hidrologia Agrícola*. Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora / ICAAM, Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas, Évora, pp. 153 – 203.
- Sarvjeet, S., Inderjit, S., Karan, K., Gaur, P.M., S.K, C., N. P., S., Sandhu, J.S., 2014. Chickpea, in: *Broadening the Genetic Base of Grain Legumes*. pp. 51–74.

- Saskpulse, 2011. Plant Description, in: Chickpea Production Manual. Pulse Growers, Saskatoon, Canadá.
- Saskpulse, 2010. Scouting and management os Ascochyta Blight in Chickpea. Agriculture and Agri-Food Canada and Agriculture Agroalimentaire Canada, Canadá.
- Sertoli, P.E., 2009. As características do complexo de troca e a classificação dos solos da República de Angola. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Agronómica, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia.
- Shahidian, S., 2013. Gestão da água no Regadio, in: Shahidian, S., Guimarães, R.C., Rodrigues, C.M. (Eds.), Hidrologia Agrícola. Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora / ICAAM, Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas, pp. 225–243.
- Simões, I.B., 2012. Influência de actividades minerais na acumulação de elementos traço em culturas utilizadas na alimentação humana: estudo de caso de minas situadas na faixa piritosa ibérica. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Alimentar - Instituto Politécnico de Beja.
- Singh, F., Diwakar, B., 1995. Chickpea botany and production practices.pdf. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh.
- Singh, K.B., 1997. Chickpea (*Cicer arietinum* L .). F. Crop. Res. 53, 161–170.
- SOCO, 2009. Agricultura sustentável e conservação dos solos - Processos de degradação do solo (Erosão hídrica e compactação) [WWW Document]. URL <http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/PTFactSheet-02.pdf> (accessed 7.20.15).
- Sousa, M.T. de, Duarte, I.M., Pereira, M. da G., Carita, T.P., 2000. Grão de Bico. Estação Nac. Melhor. Plantas.
- Tagil, S., Jenness, J.S., 2008. GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey. J. Appl. Sci. 8, 910 – 921.
- Tan, K.H., 1994. Environmental Soil Science. Athens, Georgia.
- Tepe, I., Erman, M., YergİN, R., Bükün, B., 2011. Critical period of weed control in chickpea under non-irrigated conditions. Turk J Agric 35, 525–534. doi:10.3906/tar-1007-956
- Toker, C., Lluch, C., Tejera, N.A., Serraj, R., Siddique, K.H.M., 2007. Abiotic Stresses, in: Yadav, S.S., Redden, R.J., Chen, W., Sharma, B. (Eds.), Chickpea Breeding and Management. CAB international, pp. 474 – 496.
- Toureiro, A., Simões, N., Maças, I., Leopoldo, L., Costa, M., Pinheiro, C., Lourenço, E., Chaves, M., 2011. É o Grão de Bico uma cultura importante para Portugal? [WWW Document]. AgroPortal. URL <http://www.agroportal.pt/a/2011/atoureiro.htm> (accessed 11.26.14).
- USDA, 2008. Soil Quality Indicators - Bulk Density. Natural Resources Conservation Service.
- Vale, M.J., Reis, R., Meneses, B.M., 2013. Alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental: caracterização, forças motrizes e cenários futuros- Relatório NUT II.
- Van der Maesen, L.J., 1987. Origin, history and taxonomy of chickpea, in: Saxena, M.C., Singh, K.B. (Eds.), The Chickpea. CAB international - ICARDA, Wallingford, Oxon, UK, pp. 11 – 34.
- Verghis, T.I., McKenzie, B.A., Hill, G.D., 1999. Phenological development of chickpeas (*Cicer arietinum*) in Canterbury, New Zealand. New Zeal. J. Crop Hortic. Sci. 27, 249–256. doi:10.1080/01140671.1999.9514103
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Agriculture Handbook no.537, U.S. Department of Agriculture.

ANEXOS

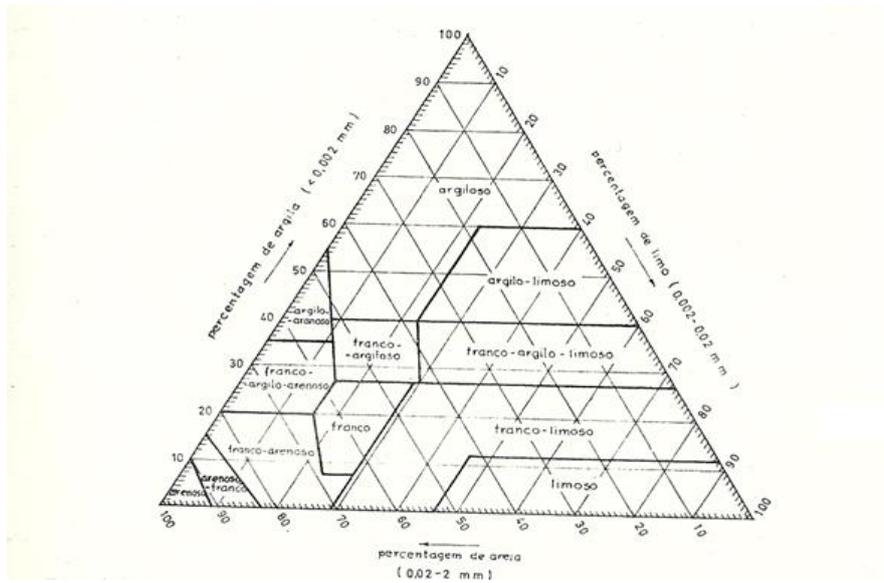
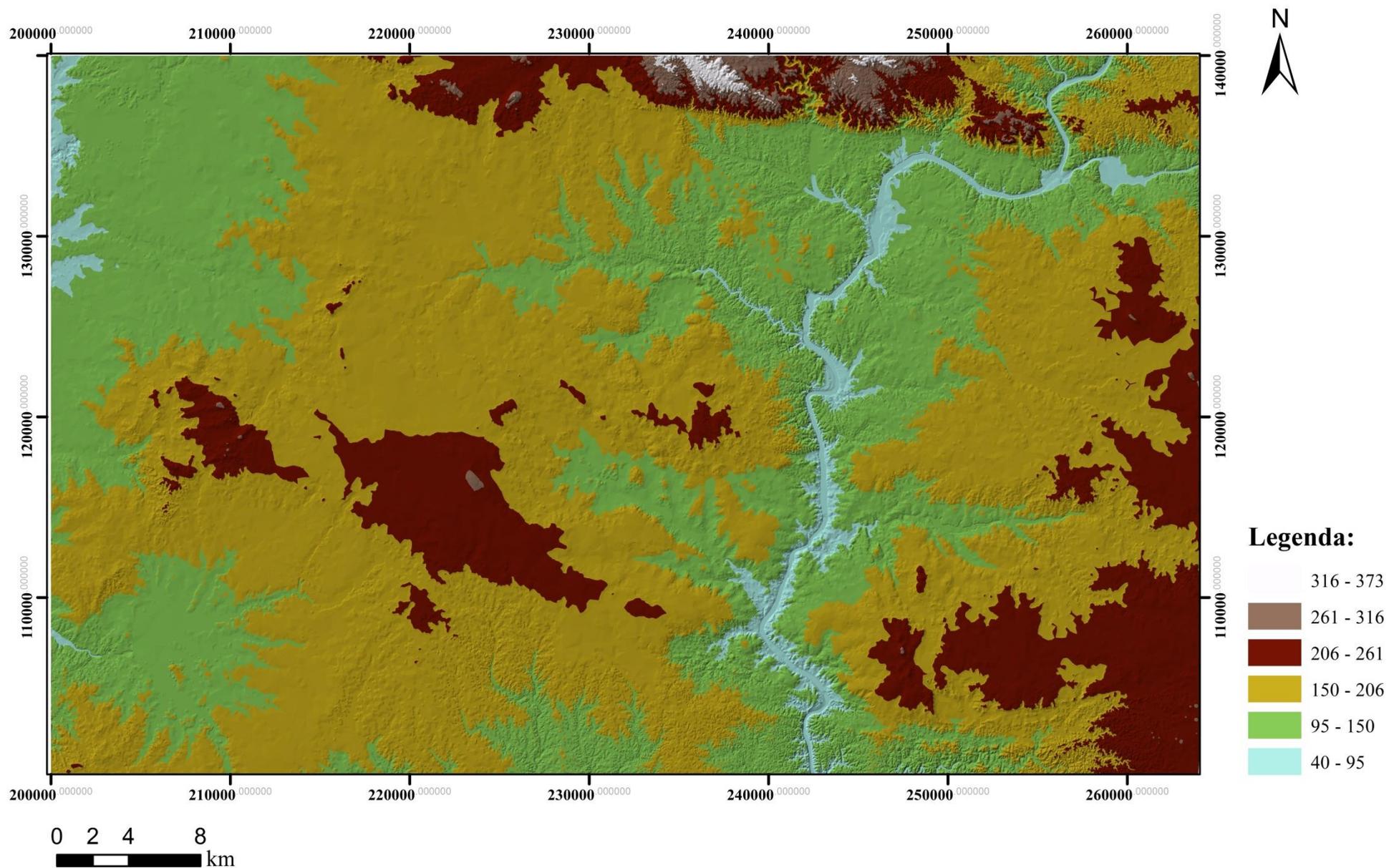
ANEXO 1. Diagrama para classificação da textura

Diagrama para classificação da textura adaptado aos limites internacionais das frações granulométricas (Costa, 1979).

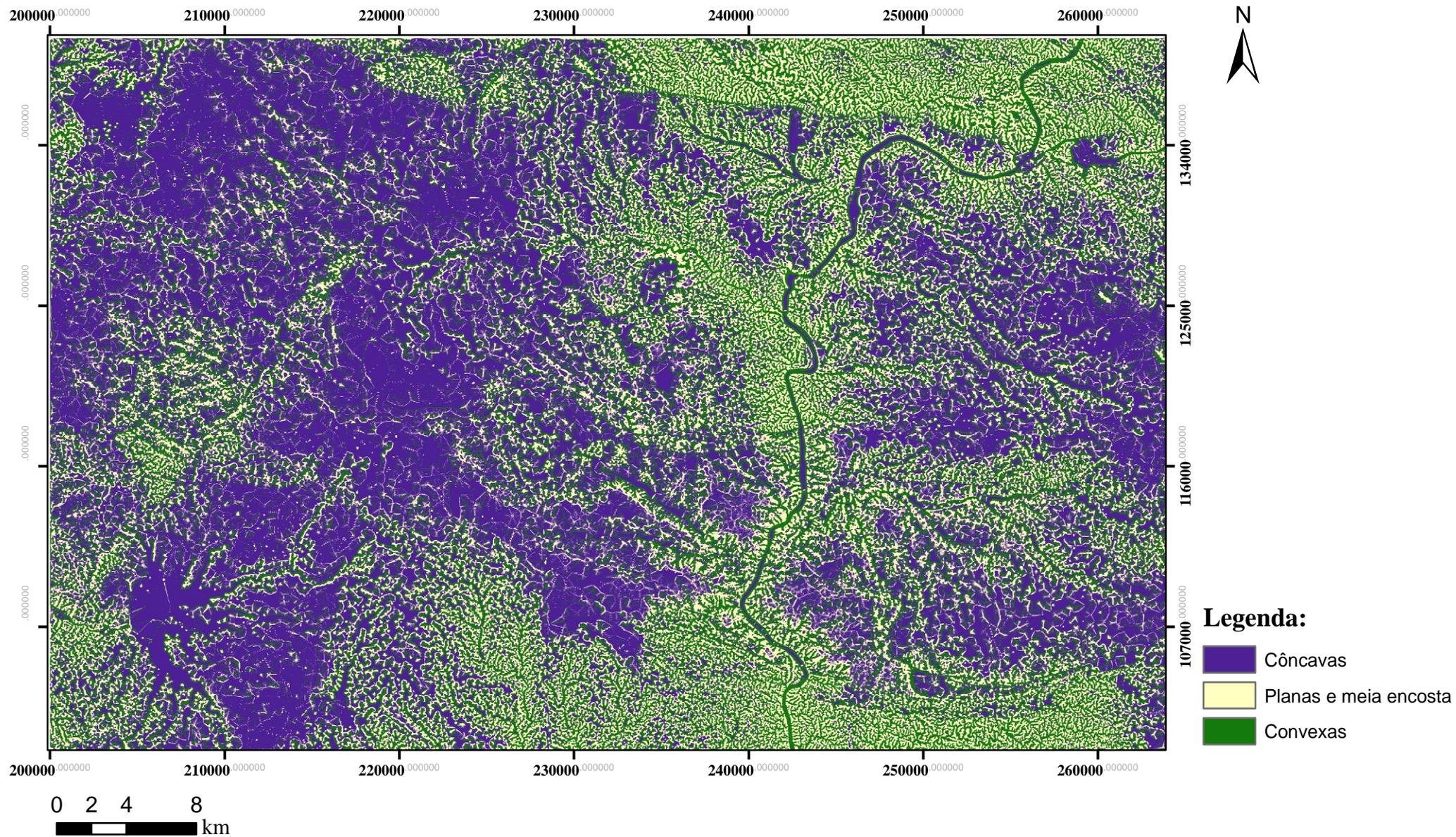
ANEXO 2. Propriedades de retenção de água classificadas por classes texturais de solo

Texture class	Sample size	Total porosity ϕ_t , cm ³ /cm ³	Residual water content θ_r , cm ³ /cm ³	Effective porosity ϕ_e , cm ³ /cm ³	Bubbling pressure h_b	Pore-size distribution λ	Water retained at -33 kPa, cm ³ /cm ³	Water retained at -1500 kPa, cm ³ /cm ³
					Geometric, [†] mean, cm	Arithmetic mean		
Sand	762	0.437* (0.374–0.500)	0.020 (0.001–0.039)	0.417 (0.354–0.480)	7.26 (1.36–38.74)	0.694 (0.298–1.090)	0.091 (0.018–0.164)	0.033 (0.007–0.059)
Loamy sand	338	0.437 (0.368–0.506)	0.035 (0.003–0.067)	0.401 (0.329–0.473)	8.69 (1.80–41.85)	0.553 (0.234–0.872)	0.125 (0.060–0.190)	0.055 (0.019–0.091)
Sandy loam	666	0.453 (0.351–0.555)	0.041 (–0.024–0.106)	0.412 (0.283–0.541)	14.66 (3.45–62.24)	0.378 (0.140–0.616)	0.207 (0.126–0.288)	0.095 (0.031–0.159)
Loam	383	0.463 (0.375–0.551)	0.027 (–0.020–0.074)	0.434 (0.334–0.534)	11.15 (1.63–76.40)	0.252 (0.086–0.418)	0.270 (0.195–0.345)	0.117 (0.069–0.165)
Silt loam	1206	0.501 (0.420–0.582)	0.015 (–0.028–0.058)	0.486 (0.394–0.578)	20.76 (3.58–120.4)	0.234 (0.105–0.363)	0.330 (0.258–0.402)	0.133 (0.078–0.188)
Sandy clay loam	498	0.398 (0.332–0.464)	0.068 (–0.001–0.137)	0.330 (0.235–0.425)	28.08 (5.57–141.5)	0.319 (0.079–0.559)	0.255 (0.186–0.324)	0.148 (0.085–0.211)
Clay loam	366	0.464 (0.409–0.519)	0.075 (–0.024–0.174)	0.390 (0.279–0.501)	25.89 (5.80–115.7)	0.242 (0.070–0.414)	0.318 (0.250–0.386)	0.197 (0.115–0.279)
Silty clay loam	689	0.471 (0.418–0.524)	0.040 (–0.038–0.118)	0.432 (0.347–0.517)	32.56 (6.68–158.7)	0.177 (0.039–0.315)	0.366 (0.304–0.428)	0.208 (0.138–0.278)
Sandy clay	45	0.430 (0.370–0.490)	0.109 (0.013–0.205)	0.321 (0.207–0.435)	29.17 (4.96–171.6)	0.223 (0.048–0.398)	0.339 (0.245–0.433)	0.239 (0.162–0.316)
Silty clay	127	0.479 (0.425–0.533)	0.056 (–0.024–0.136)	0.423 (0.334–0.512)	34.19 (7.04–166.2)	0.150 (0.040–0.260)	0.387 (0.332–0.442)	0.250 (0.193–0.307)
Clay	291	0.475 (0.427–0.523)	0.090 (–0.015–0.195)	0.385 (0.269–0.501)	37.30 (7.43–187.2)	0.165 (0.037–0.293)	0.396 (0.326–0.466)	0.272 (0.208–0.336)

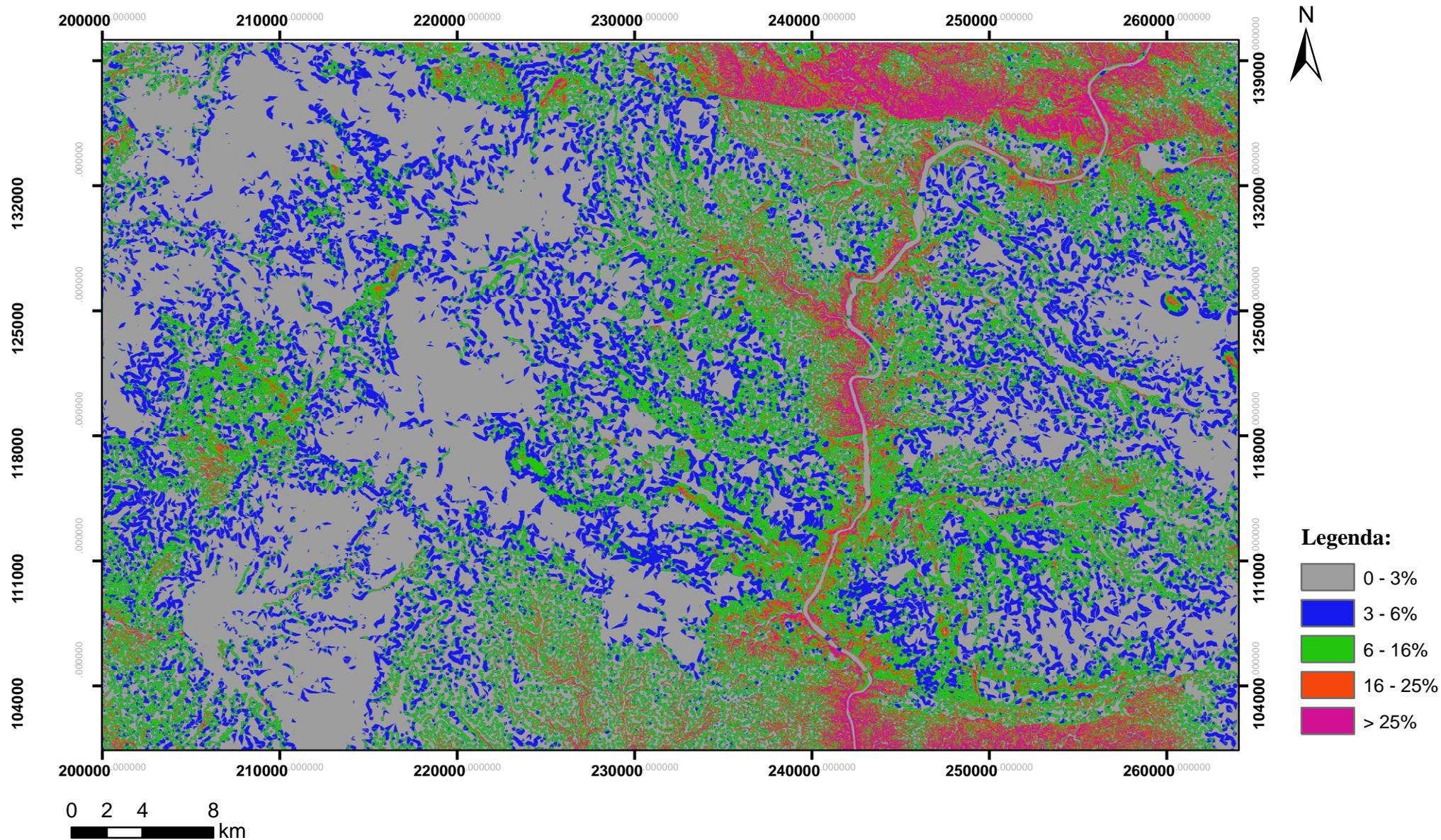
Propriedades de retenção de água, classificadas por classes texturais de solo (Rawls *et al.*, 1993).

ANEXO 3. Modelo Digital do Terreno (MDT) para o caso de estudo apresentado.

ANEXO 4. Formas de Relevo para o caso de estudo apresentado.



ANEXO 5. Declives da área de estudo.



ANEXO 6. Ilustração da variabilidade de complexos de solos existentes na área em estudo.

