

SISTEMA DE ANÁLISE ESPACIAL EM GEOMORFOLOGIA LITORAL¹

António Amílcar M. Alves da Silva²

Instituto Geográfico Português (IGP)

R.Artilharia Um, 107, 1099-052 Lisboa

e-mail: *aalves@igeo.pt*

Resumo:

Conhecer e classificar o território nas suas diferentes componentes e dinâmicas específicas é um passo incontornável para a sua recriação e valorização. O espaço litoral é um dos sub-sistemas específicos desse espaço geográfico e aquele que nas últimas décadas tem estado sob maior pressão. Por tal motivo, a sua delimitação no território, reveste-se de uma importância essencial para que as acções de planeamento sobre ele efectuadas se possam adequar e integrar nas especificidades inerentes, de modo a que as interferências nas interações sistémicas e na sua dinâmica, seja equilibrada. Para que tal seja possível há que conhecê-lo e classificá-lo nas suas diferentes componentes e o ponto de partida deve ser a base física que é a unidade sobre o qual recaem todas as acções de planeamento: o relevo com a sua dinâmica.

O Sistema de Análise Espacial em Geomorfologia Litoral (SAGLIT) é uma metodologia desenvolvida numa filosofia de sistemas de informação geográfica (SIG) cujo objectivo é direccionado para a identificação de geoformas litorais dinamicamente activas, tendo como referência a obtenção de características inatas quantificáveis do terreno sem recorrer à identificação directa, permitindo ainda através da distribuição das entidades identificadas, delimitar o espaço litoral activo do ponto de vista geomorfológico. Deste modo obtém-se uma ferramenta de análise espacial que se pretende que seja capaz de contribuir para um melhor conhecimento do litoral e da sua dinâmica específica reflectida nas formas de relevo que apresenta.

Introdução:

Um aspecto fundamental das potencialidades dos sistemas de informação geográfica (SIG) muitas vezes omitido ou menosprezado, é o da possibilidade destes, ao permitirem a produção de informação temática derivada e a simulação de situações, poderem contribuir para o avanço do conhecimento científico, através da geração de informação espacial integrada e manipulada de forma orientada de acordo com determinadas regras matemáticas ou lógicas. A informação geográfica resultante de processos de análise espacial pode possibilitar a extracção de conclusões cientificamente inovadoras. Assim, os SIG não são apenas meros sistemas informáticos de armazenamento de dados e manipulação cartográfica. Tornam-se potenciais geradores de conhecimento.

¹ Adaptado de: SILVA, A. (2005) - *Análise Espacial em Geomorfologia Litoral, Cap.5 "Modelação Geográfica"*, IGP, Lisboa, pp.317-353

² *Geógrafo, Investigador-auxiliar*

A aplicação de estruturas metodológicas em SIG permite a aplicação integrada e sistemática de modelos matemáticos e estatísticos a superfícies contínuas, cujos resultados têm sempre uma expressão espacial com um determinado significado lógico e dirigido.

O Sistema de Análise Espacial em Geomorfologia Litoral (SAGLIT), que aqui se vai apresentar, foi uma metodologia desenvolvida para a constituição de um SIG que possibilite um determinado tipo análise espacial no campo da Geomorfologia Litoral, no sentido da classificação de um dado espaço geográfico com determinadas características específicas passíveis de serem interpretadas pelo sistema informático. Pretendeu-se que o sistema respondesse a questões como as seguintes:

- onde estão e quais são as geoformas litorais activas;
- qual o espaço cujas formas de relevo evoluem por processos litorais.

A concretização deste objectivo explícito, daria ainda indicações sobre a dinâmica (latente) desse espaço litoral (inferida a partir do tipo de geoformas), para além de se obter um zonamento importantíssimo para o ordenamento costeiro integrado.

Quando se aborda a concepção de um mapa geomorfológico no sentido convencional, existe um conjunto de procedimentos encadeados entre si, mais ou menos subjectivos, mas resultantes de uma percepção cognitiva do relevo que podem ou permitem conduzir à sua representação gráfica. Do mesmo modo, é possível transmitir a um SIG este conhecimento e estabelecer procedimentos que conduzam à produção de mapas no mesmo sentido. Esta interpretação é feita a partir da recolha das características de variáveis obtidas a partir elementos inatos a um mapa de base como sejam a topografia e hidrografia, ou ainda de imagens geo-referenciadas, dados de campo ou outros tipos de informação geográfica. A partir do tratamento e manipulação em SIG destas variáveis é possível obter um conjunto de atributos identificáveis no espaço que, quantificados, classificados e conjugados de forma orientada, podem transmitir ao sistema os dados necessários para que este os processe e, como resultado, identifique uma determinada geoforma litoral. Estas, uma vez identificadas, indicam no seu conjunto o espaço onde actua a dinâmica morfogenética litoral.

Por outro lado, a classificação das formas e a percepção de processos e dinâmicas geomorfológicas, no seu conjunto, nunca tinham sido devidamente sistematizadas em

SIG proprietário¹. Não se uniformizaram conceitos nem se implementaram metodologias e normas capazes de responder a essas questões, de um modo mais eficaz que a cartografia convencional o que à partida condicionaria muito o propósito inicial, já que é necessário que a um nome corresponda um espaço com determinadas características, neste caso geomorfológicas.

Com o magnífico potencial integrador das tecnologias de informação geográfica (TIG), a perspectiva de se enquadrarem várias temáticas no mesmo plano, teoricamente, permite não só perspectivar a criação de um modelo de sistema geomorfológico, como ainda integrá-lo em processos mais abrangentes, relacionados com o sistema ambiental e ser enquadrado em avaliações ambientais relacionadas com ordenamento do território. Apesar de se poderem apontar algumas desvantagens e importantes condicionantes, o caminho da aplicação das TIG à Geomorfologia é, de momento, incontornável, não existindo alternativas visíveis, tanto mais que, neste campo, a tecnologia existente permite já fazer uma recolha de dados no sentido destes serem de imediato absorvidos por um SIG. Neste campo, diversos autores apontam algumas vantagens da aplicação de TIG no litoral, esta justifica-se pelos seguintes aspectos (*in* Wright e Bartlett 2000, p.13-14, *trad. e adap.*):

- Grande facilidade de manipular grandes bases de dados, integrar e sintetizar dados de diversas origens, o que permite uma maior flexibilização e coordenação de estratégias de ordenamento que podem ser desenvolvidas para vastas extensões da linha de costa;
- Uso de bases de dados partilhadas em rede como facilidade de actualização de registos, e o fornecimento de um conjunto de dados comuns a diversos departamentos e organismos envolvidos no ordenamento costeiro. Isto deve implicar a não duplicação de dados e esforços para o mesmo fim, garantindo redução de gastos e maior eficácia operacional;
- Permitem a possibilidade de modelar, testar e comparar diferentes cenários de ordenamento antes de ser proposta uma solução para o problema real (Lee et al., 1991; Ligdas, 1996);
- Capacidade de redução de escalas espaciais e temporais a dimensões mais adequadas e maneáveis (Langran, 1992; Varma, 1999);
- Capacidade de dinamização do desenvolvimento e utilização de *standards* para a definição recolha e armazenamento de dados costeiros, promovendo a compatibilidade

¹ Um SIG proprietário, é o que é dedicado a um tema exclusivo

entre os dados e técnicas de processamento entre diversos projectos e departamentos envolvidos, assegurando consistência na abordagem.

Deste modo, pretendeu-se assim constituir uma base informativa do litoral, de índole geomorfológico, com potencial de análise para servir de suporte à decisão nos processos de ordenamento do litoral no que respeita a análises a jusante da informação geomorfológica de base, como por exemplo a avaliação da evolução previsível na faixa costeira ou a análise de vulnerabilidades e riscos geomorfológicos associados.

Os pressupostos detalhados que levaram a este ensaio podem ser consultados em SILVA (2005), dissertação de investigação científica, em que se baseia esta comunicação.

O modelo proposto

Como foi dito, a metodologia que se apresenta consiste numa tentativa de modelação de conhecimentos, com vista à caracterização de um determinado universo geomorfológico latente, uma área de estudo, com recurso a ferramentas de TIG que, uma vez aplicadas de forma orientada, permitam constituir um SIG capaz de ir ao encontro dos objectivos, no caso e em primeiro lugar, o da transformação de informação geográfica seleccionada em entidades geomorfológicas e, por fim, permitir a sua análise de modo a retirar conclusões, nomeadamente sobre o modo como aquelas se distribuem no espaço e se relacionam.

Em Geomorfologia aplicada, para se avaliar e classificar uma determinada forma do relevo, há que atender a dois aspectos fundamentais. Em primeiro lugar à topografia do terreno, que é o mesmo que dizer o aspecto ou a configuração geométrica tridimensional do relevo, definível, em termos de variáveis, pela altura e altitude, pelo declive, o volume de terreno acima do nível do mar (SILVA, 1996), e pela homogeneidade relativa do conjunto e variações espaciais características. Em segundo lugar há que estabelecer uma relação entre a topografia e a geologia que lhe está associada ou seja a idade dos terrenos, o tipo de sedimentos ou rocha em que é talhado (litologia), o substrato e a disposição estrutural relativa destes (estratigrafia), e o seu grau de fissuração ou diaclasamento. Para além disso, a tectónica é outro aspecto a ter em consideração, uma vez que é responsável pela morfogénese e classificação de alguns elementos. Existem ainda outros aspectos que podem permitir, de modo indirecto,

classificar ou dar indícios sobre as características de uma forma do relevo num espaço desconhecido. No entanto, muitas vezes alguns destes elementos de caracterização não se conseguem obter facilmente ou pelo menos de uma forma homogénea ou contínua. No sentido de contornar este problema, o SAGLIT, prevê o recurso a variáveis indirectas e a sua posterior compilação.

A filosofia base que preside à metodologia apresentada, assenta no princípio de que cada ponto do espaço geográfico possui determinadas propriedades particulares que são passíveis de ser quantificadas de forma directa ou indirecta através da cartografia. Algumas dessas propriedades podem ser relacionadas com características geomorfológicas que determinadas geoformas se sabe ou se estima poderem assumir.

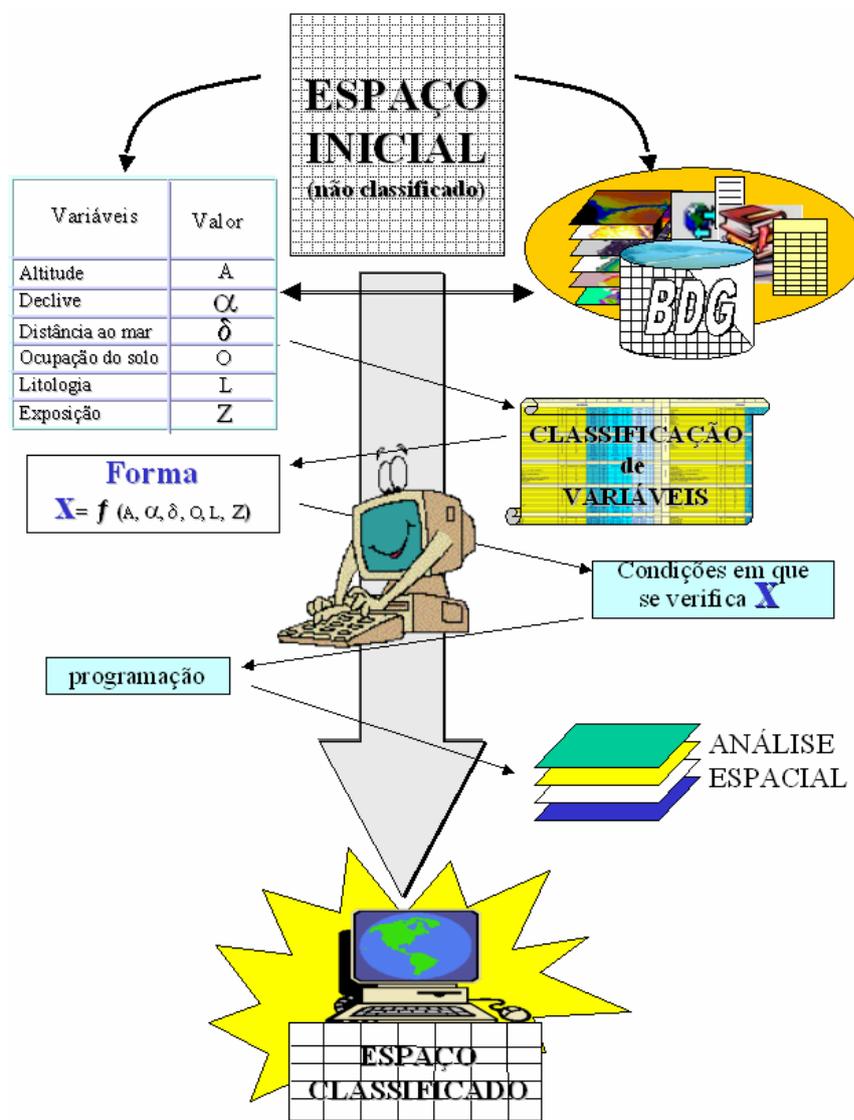


Figura 1 - Esquema genérico do SAGLIT

Deste modo, podem ser seleccionadas variáveis espaciais que se pensa serem capazes de caracterizar e identificar uma geoforma num espaço litoral pois, a verificar-se esta situação, pode-se fazer com que cada valor ou intervalo de valores assumido por cada variável em cada ponto do espaço, tenha um significado geomorfológico determinado. Cada variável, assume um valor para cada ponto do espaço, e cada geoforma, consoante o tipo, só pode assumir determinados valores em cada variável espacial. A associação de áreas ou pontos com variáveis de valores enquadrados dentro dos limites estabelecidos para cada geoforma, há-de permitir identificar cada uma destas no espaço.

O primeiro passo para a construção de um SIG, é a estruturação de uma base de dados geográfica, constituída por toda a informação de base a partir da qual o sistema vai buscar a informação necessária para processamento de acordo com as regras pré definidas pelo construtor do sistema. Alguma dessa informação precisa ainda de ser editada e trabalhada de modo antes de estar pronta para ser processada tendo em vista os objectivos finais.

De acordo com a figura 1, que mostra a estrutura global do sistema, o sistema há-de identificar cada geoforma num determinado local, em função de variáveis classificadas. As variáveis escolhidas foram a altitude; o declive; a distância ao mar; o tipo de ocupação do solo; a litologia e a exposição de cada ponto do espaço considerado.

Em primeiro lugar, houve que determinar intervalos de variação específicos ou valores absolutos, em que cada variável pudesse assumir para uma determinada geoforma (fig.2).

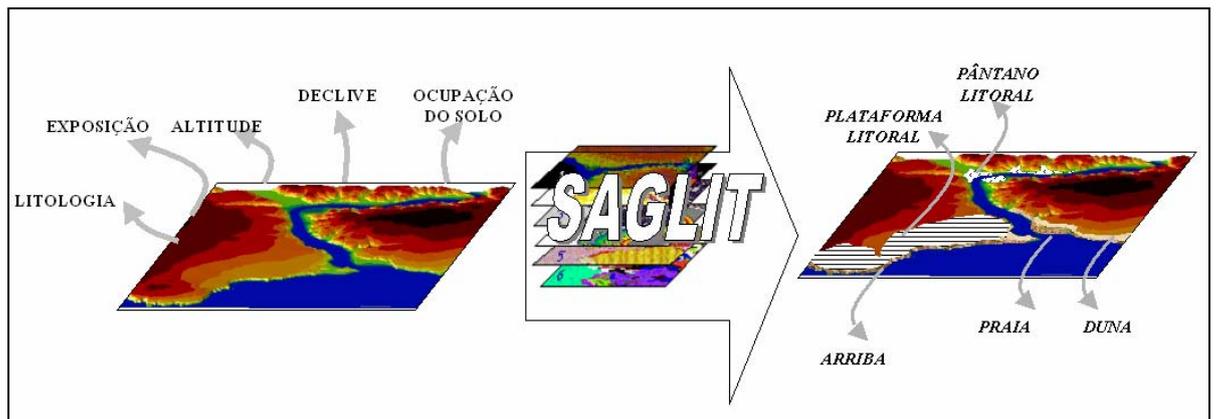


Figura 2 - Transformação de variáveis espaciais em geoformas litorais

Há que referir que, neste aspecto, não foram identificados muitos estudos que permitissem estabelecer explicitamente e de forma sistemática, uma relação directa entre uma forma e uma variável fisiográfica. Seria necessário efectuar uma análise

pericial de cada tipo de geoforma ou sub-tipo, para determinar com precisão os intervalos de variação de cada uma para cada variável considerada. Tal processo, poderia inclusivamente levar ao reajustamento de algumas definições, já que se passaria a quantificar cada tipo.

Apesar de tudo, pelo conhecimento que existe sobre as principais formas de relevo, é possível deduzir alguns limites para algumas variáveis ou mesmo adoptá-los a partir de algumas indicações explícitas. Entre vários exemplos possíveis, refira-se o de uma arriba, que pode variar entre 10 e 90° de declive (Moreira, 1972) ou o de um pântano activo em formação que não deverá atingir mais de 5m de altitude, pelo menos em Portugal, já que será muito raro o nível máximo da maré atingir este valor e, ainda que, em ambientes fluvio-marinhas este nível possa ser elevado por eventuais cheias fluviais, em circunstâncias médias, pode-se considerar que o terreno acima de 5m é terreno seco. Por outro lado, uma plataforma rochosa não tem coberto vegetal, considerando as classes da Carta de Ocupação do Solo (COS). Quanto às praias, são constituídas por sedimentos móveis, o que exclui automaticamente qualquer categoria de litologia correspondente a sedimentos consolidados.

É assim possível reunir uma série de condições significativas sobre a relação entre uma determinada geoforma e algumas variáveis que as caracterizam.

É difícil explicar uma geoforma através de uma só variável, mas pretendeu-se que fosse possível essa explicação através da combinação de várias. Portanto, à partida, numa situação ideal, quanto mais variáveis fossem consideradas, maiores seriam as probabilidades de distinguir uma geoforma. No entanto, há limites impostos pelos erros da informação geográfica (erros de escala, de compatibilidade, de sobreposição, de generalização, de concepção e outros) ou pelo nível de detalhe que emana da classificação cientificamente estabelecida para as geoformas litorais¹, podendo por vezes não poder absorver mais do que um determinado número de variáveis. Estas só podem ser identificadas por variáveis cujos os valores directa ou indirectamente possam ir ao encontro das características físicas previstas na definição que identifica uma geoforma. Esta limitação pode não ser tão restritiva como à partida se poderia prever. Ainda que não se tivesse podido impor uma condição de identificação devidamente quantificada, em última análise foi quase sempre possível colocar uma condição de

¹ Para o trabalho que serviu de base a esta comunicação, foi feita uma síntese clarificativa de classificação de geoformas litorais

resposta binária do tipo sim ou não, verifica ou não verifica. Por exemplo, para o caso de uma arriba, na sua forma mais genuína, a definição prevê a inexistência de um solo pedológico no espaço ocupado por uma geoforma deste tipo. Neste caso, considerando-se o tipo de solos como variável¹, a existência de solo em determinado local seria condição suficiente para anular a probabilidade de ocorrências de arriba em tal local. Por outro lado, por exemplo, no caso da variável declive, a probabilidade de ocorrência de uma arriba pode ser limitada a valores quantitativos exactos. Por exemplo acima de 10º existe a probabilidade de ocorrência de arribas e quanto maior for o declive, maior é essa probabilidade.

Esta questão leva ainda à necessidade de distinguir um determinado tipo de variável ou valor de variável que aqui se designa por valor de anulação de uma condição de verificação. Trata-se de um valor que uma vez verificado, anula a probabilidade de ocorrência de uma entidade (neste caso um determinado tipo de geoforma). Por exemplo, se ocorrer um declive igual a zero, este indicará ao sistema que em tal ponto ou superfície não poderá ocorrer uma arriba, mesmo que todas as outras variáveis de caracterização dêem valores dentro dos limites definidos para esta geoforma litoral. Trata-se de um conceito importante, mas difícil de aplicar de forma inequívoca devido às imprecisões da cartografia de base.

Outro aspecto a salientar, é o de que os limites de variação de valores assumidos por cada variável de caracterização, em geral, não são exclusivos de cada geoforma. Veja-se o caso do declive de um pântano e de uma plataforma rochosa, que é sensivelmente idêntico para ambos os casos. Como tal, nesta situação, a variável declive não é discriminativa para estas duas geoformas. Foi pois necessário encontrar um número mínimo de variáveis para que se efectuasse a intersecção espacial de intervalos de valor por cada geoforma, restringida aos limiares de variação fixados para cada combinação e permitisse individualizar espacialmente uma determinada geoforma identificando-a, desse modo, no espaço, em termos absolutos ou em termos de probabilidades de ocorrência.

Deu-se ainda o caso das variáveis escolhidas não serem suficientemente selectivas e existir sobreposição de probabilidades de ocorrência. Ou seja, o sistema indicou pontos de probabilidades iguais para geoformas diferentes, o que significava que nesses pontos

¹ *Por falta de dados esta variável não foi considerada no SAGLIT, embora seja uma possibilidade incluí-la noutros trabalhos similares*

o sistema não conseguia dizer qual era o tipo. Mas cada geoforma pode ser melhor ou pior identificada por uma determinada variável. Estas podem ser bastante discriminativas ou demasiado abrangentes, para além disso, dentro dos valores de cada variável, existem aquelas que melhor se ajustam a uma geoforma em particular. Por exemplo, a variável distância ao mar permite isolar melhor uma plataforma rochosa do que a variável exposição. Por outro lado, aos valores menores dessa variável distância ao mar, corresponde uma maior probabilidade de ocorrência da geoforma plataforma rochosa. Nesta linha de raciocínio, há assim que considerar dois diferenciais importantes, fundamentais para que haja uma boa discriminação. Deste modo, cada variável tem uma importância relativa diferente. Por isso foi necessário estabelecer ponderações aos valores de entrada de cada uma delas, em função da sua importância relativa, consoante cada geoforma em questão. Por outro lado, foi ainda necessário atribuir pesos maiores aos intervalos de classe que correspondam às maiores probabilidade de ocorrência de uma geoforma.

Deve ainda considerar-se que podem existir variáveis que podem adulterar ou limitar os resultados obtidos. Por exemplo, a exposição quando usada na identificação de pântanos litorais. Muitas vezes, a interpretação do modelo de criação da rede de triângulos (TIN) para obtenção do modelo digital do terreno (MDT), efectua interpolações que fazem corresponder um certo declive a determinadas áreas planas horizontais. Só o facto de existir uma determinada exposição para uma certa superfície, anula a probabilidade de ocorrência de pântano litoral nesse local. Deste modo o SAGLIT seria induzido em erro e reproduziria uma informação errada. Houve portanto que se ter em atenção estas imprecisões induzidas pela concepção do MDT.

Finalmente, trabalhando com informação geográfica de bases cartográficas e níveis de detalhe diferentes, foi ainda necessário valorizar mais em termos relativos, as variáveis obtidas a partir de dados mais fiáveis.

Uma vez constituída a base geográfica, cartográfica e alfanumérica, editada e preparada a informação geográfica a manipular e integrar, foi aplicada uma metodologia de análise espacial que se pensou poder responder à identificação automática de geoformas litorais: a *avaliação de densidades de probabilidade de ocorrência*, onde o modelo devia seleccionar as áreas de maior probabilidade de ocorrência de cada geoforma e os espaços em que essa probabilidade era nula seriam espaços fora do âmbito da morfogénese litoral.

Nesta fase, todo o processo assentou numa base de análise matricial de valores numéricos. Por isso, houve previamente que converter os valores nominais das variáveis qualitativas de litologia e ocupação do solo, em valores numéricos, correspondendo um só valor a um só tipo.

A preparação dos dados consistiu na recolha de informação geográfica relevante para o efeito, nomeadamente cartografia oficial. Neste caso recorreu-se à altimetria e hidrografia (IGeoE), geologia (ex-IGM) e carta de ocupação do solo (IGP). O esquema da figura 3, sintetiza os processos de edição e análise que esta informação sofreu para estar preparada para ser processada pelo SIG.

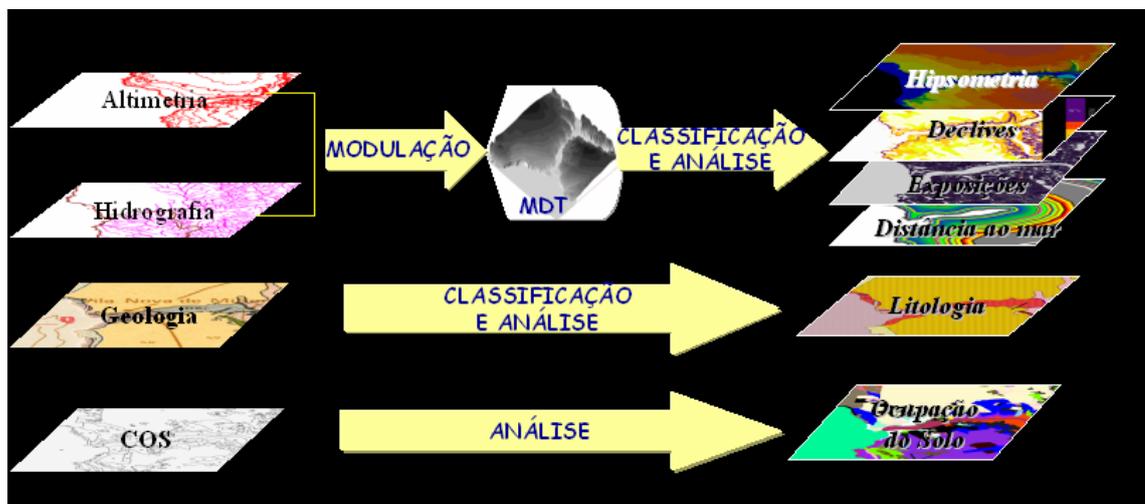


Figura 3 - Esquema simplificado de transformação da informação geográfica de base em valores classificados para processamento

O tratamento da informação geográfica de base visou a obtenção de matrizes de variáveis derivadas, classificadas e compatibilizadas para que sobre estas se pudessem aplicar processos de análise espacial tendentes a identificar as geoformas no espaço correspondente. A figura 4 mostra o esquema de processamento referido:

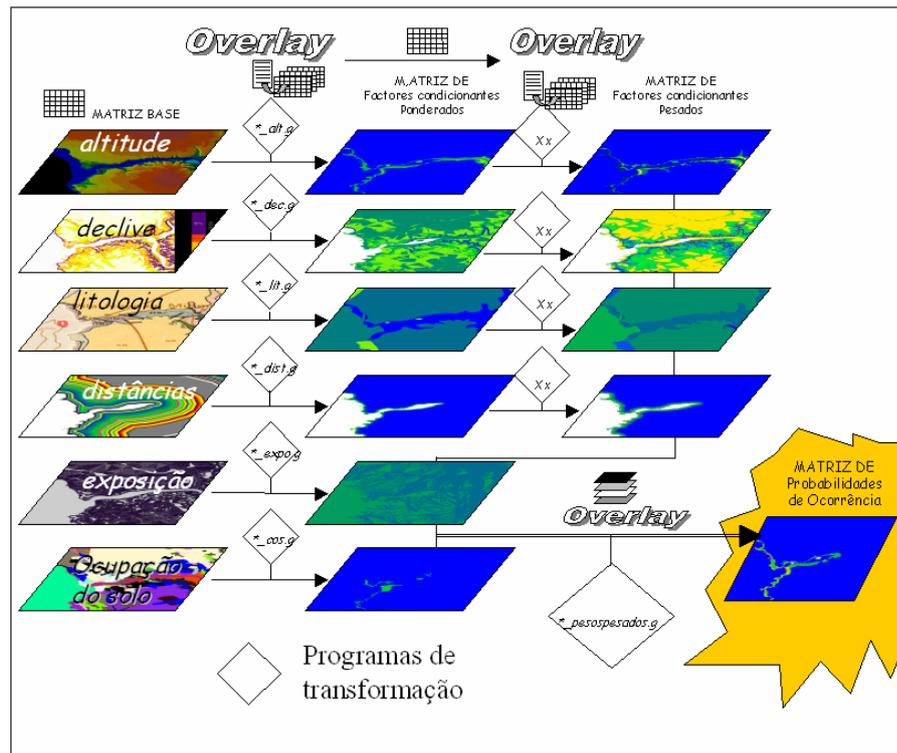


Figura 4 - Esquema utilizado no SAGLIT de classificação e análise de matrizes de base para obtenção da matriz de probabilidades de ocorrência de tipos de geoformas litorais

O método de análise espacial indicado, consiste na análise de densidades de probabilidade baseada na análise de condições de identificação de geoformas específicas a partir da classificação orientada de matrizes de variáveis explicativas. Vários programas integrando operações algébricas e lógica booleana foram compilados para o efeito, indicando ao sistema o que deve fazer¹. Este método passa pela construção de uma matriz de cada variável por tipo geoforma, onde cada matriz, em função dos valores que apresenta e representa, é classificada, ponderada. Por fim, o sistema compara as matrizes de probabilidade e, para cada unidade mínima da matriz, de entre todas as matrizes, selecciona o maior valor de probabilidade que deve identificar uma geoforma litoral. Obtém-se deste modo uma matriz de distribuição espacial das geoformas.

Uma vez obtidas as matrizes de valores das variáveis, procedeu-se à classificação de cada matriz de cada variável, determinando-se os intervalos de classe significativos, dentro dos quais, cada valor é pesado em função do significado que deve assumir em termos de probabilidade de ocorrência de uma determinada geoforma. É efectuada uma classificação para cada variável por cada geoforma e atribuído um peso significativo a

cada classe. Esses valores, são números inteiros que variam de 0 a 10, correspondendo 0 ao valor de anulação e 10 à probabilidade superlativa, correspondendo os valores intermédios a probabilidades crescentes de 1 a 9. Por exemplo, pretende-se adaptar a matriz da variável declives à identificação de uma arriba (fig.5).

DECLIVE	CLASSES	PESO
	menor que 10	0
	de 10 a 20	1
	de 20 a 30	2
	de 30 a 40	3
	de 40 a 50	4
	de 50 a 60	5
	de 60 a 70	6
	mais de 70	7
	mais de 80	8

Figura 5 - Ponderação das classes de declive em função das características definidas para arribas

Para o efeito, estabeleceu-se que, para cada intervalo de classe definido na figura 5, havia uma densidade de probabilidade representada pelo valor numérico indicado na coluna peso. O valor mais elevado, significa que as células da matriz de declives mais próximas de corresponder a arribas, são aquelas que têm valores acima de 80°. O factor de ponderação é 8, o que significará que, para tais células, haveria grande probabilidade de aí existir uma arriba, embora não haja certeza absoluta². Por outro lado, abaixo dos 10° a probabilidade de ocorrência seria nula. Deste modo, para as células que apresentem valores inferiores a 10°, o sistema interpreta e conclui pela inexistência de arribas nesses locais.

Através de uma operação de reclassificação de matrizes, comandada por programação, o sistema multiplica cada célula pelo factor de ponderação, obtendo-se assim uma matriz de declives ponderados em função da probabilidade de ocorrência de arribas.

A segunda fase do processo, consiste na ponderação de cada variável em função da importância relativa que tem, para a identificação da geoforma. Usando-se o mesmo conjunto de variáveis para todas as geoformas, como já se referiu, a importância relativa de cada uma não é igual. Também a qualidade relativa dos dados não é igual. Deste

¹ Estes programas simples mas muito extensos, foram compilados em GOAL (GIS oriented language)

² Neste, como na maioria dos casos um valor não identifica de imediato uma forma. Nos casos em que isso se verificou, usou-se o valor 10

modo, cada matriz é multiplicada por um factor de ponderação em função da importância relativa de cada variável para uma determinada geoforma. Também como já foi referido, à partida, as variáveis exposição e ocupação do solo têm menor importância relativa e, nalguns aspectos, a litologia não é suficientemente detalhada sendo-lhe aí retirada importância. A tabela da figura 6, mostra os valores das ponderações atribuídas a cada variável em função de cada geoforma considerada.

	ARRIBAS	PRAIAS	PLATAFORMAS ROCHOSAS	DUNAS	PANTANOS	RECIFES	RASAS
DECLIVE	4	2	3	1	1	1	3
ALTITUDE	3	3	3	2	2	1	2
LITOLOGIA	2	2	2	4	1	2	3
DISTÂNCIA AO MAR	5	3	2	2	3	2	2
EXPOSIÇÃO	1	1	1	2	2	1	3
OCUPAÇÃO DO SOLO	1	1	1	2	2	1	1

Figura 6 - Factores de ponderação de valores de probabilidade das variáveis em função da importância relativa de cada variável na identificação de cada geoforma

As ponderações foram estabelecidas com base em diversas experiências efectuadas, assentando mais em critérios qualitativos relacionados com as características de cada geoforma e com a qualidade relativa da informação, cuja avaliação só pôde ser efectuada após análise prévia do terreno e suas características relacionadas com as variáveis e as geoformas. A utilização no sistema de matrizes com peso uniformemente igual revelou-se totalmente desadequado.

De acordo com a tabela da figura 6, as matrizes de valores de probabilidade por variável em cada geoforma, são multiplicadas pelos factores de ponderação indicados na tabela. Deste modo, os pares a que corresponde o factor 1 mantêm-se com o valor relativo original, diminuindo assim o seu peso relativo no contexto geral. De referir que existe uma disparidade de factores de ponderação, mas as variáveis em cada geoforma são tratadas separadamente. Nestas condições processou-se a multiplicação de cada matriz pelo respectivo factor (fig.7).

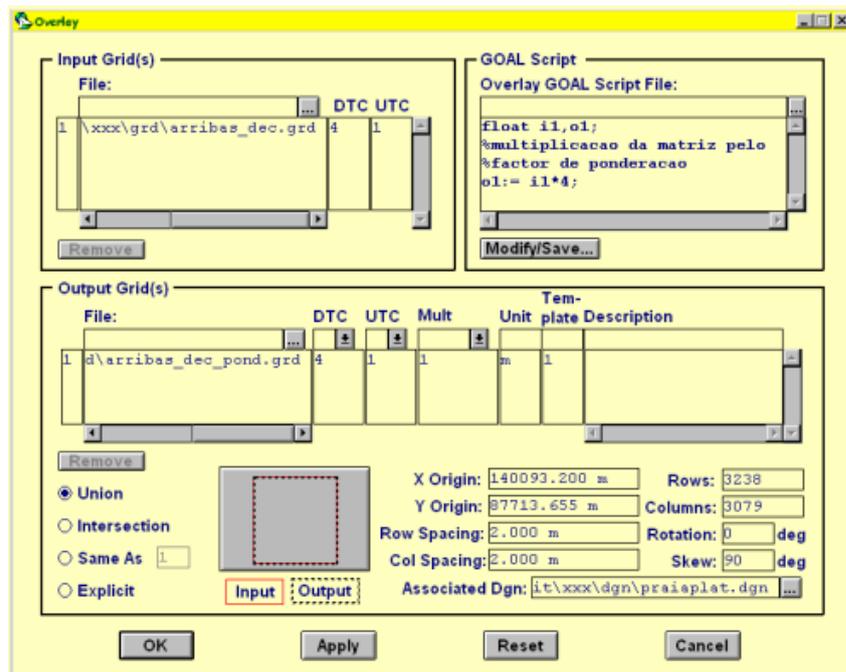


Figura 7 - Exemplo do interface de operação de integração de matrizes (MGE Grid Analyst®)

A terceira fase do processo, consiste na avaliação da probabilidade média de ocorrência de uma determinada geoforma, segundo os valores classificados e ponderados das variáveis. Este procedimento é feito por cada geoforma¹. Deste modo obteve-se a distribuição espacial dos valores de probabilidade para cada geoforma, onde cada célula do espaço ficou classificado com um tipo correspondente ou, pelo contrário, foi classificado como espaço não litoral.

Após um trabalho de edição automática as matrizes obtidas (uma para cada tipo de geoforma) foram integradas, de modo obter-se uma única final. Tal processo ainda teve de passar por um filtro que, para células com tipos diferentes de classificação, se seleccionou par a matriz final a que tinha maior valor de probabilidade.

A metodologia desenvolvida foi aplicada e validada para uma área de um trecho do litoral português, que abrangeu o estuário do Rio Mira e litoral adjacente, no Sudoeste alentejano. A validação do modelo baseou-se na comparação entre os resultados do modelo e a realidade para o mesmo espaço. A figura 8 sintetiza os últimos passos seguidos.

¹ No caso analisado, existiam 6 matrizes representativas das diferentes variáveis, por cada uma das 7 geoformas litorais consideradas, a cada grupo de 6 foi aplicada uma operação de análise matricial, que visou efectuar o somatório das probabilidades de todas as variáveis para cada célula, e calcular o valor médio. Salvaguardou-se ainda a condição da ocorrência de valores nulos ou ausentes anularem os restantes valores. Assim, para cada valor igual a zero ou uma célula vazia (void), determinou a impossibilidade de ocorrência da geoforma a que se refere no local na célula onde esse valor ocorre.

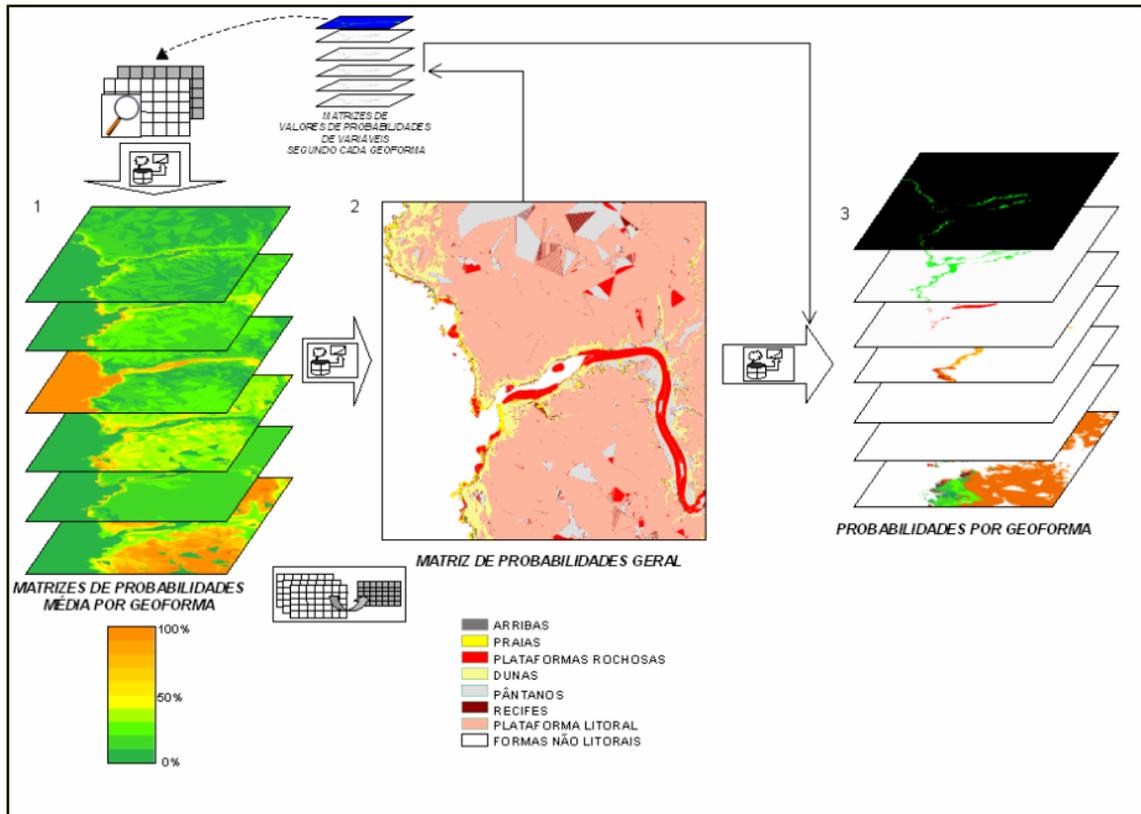


Figura 8 - Obtenção de Resultados (aplicados a um trecho do litoral, junto ao estuário do rio Mira):-Cada matriz de cada geoforma corresponde à média das probabilidades indicadas pelas variáveis; 2- Após a comparação e selecção dos valores mais elevados, são extraídos os valores mais elevados, e estabelecida uma correspondência de cada um desses valores com a geoforma a que diz respeito. Assim, obtém-se a matriz geral de probabilidades; 3 - A partir da matriz anterior e após introdução de elementos de anulação para filtrar as áreas de probabilidade nula para cada geoforma, extraíram-se as matrizes de cada geoforma, agora com os valores de probabilidade relativos seleccionados

A figura 9, mostra o resultado gráfico da aplicação do modelo à área de análise.

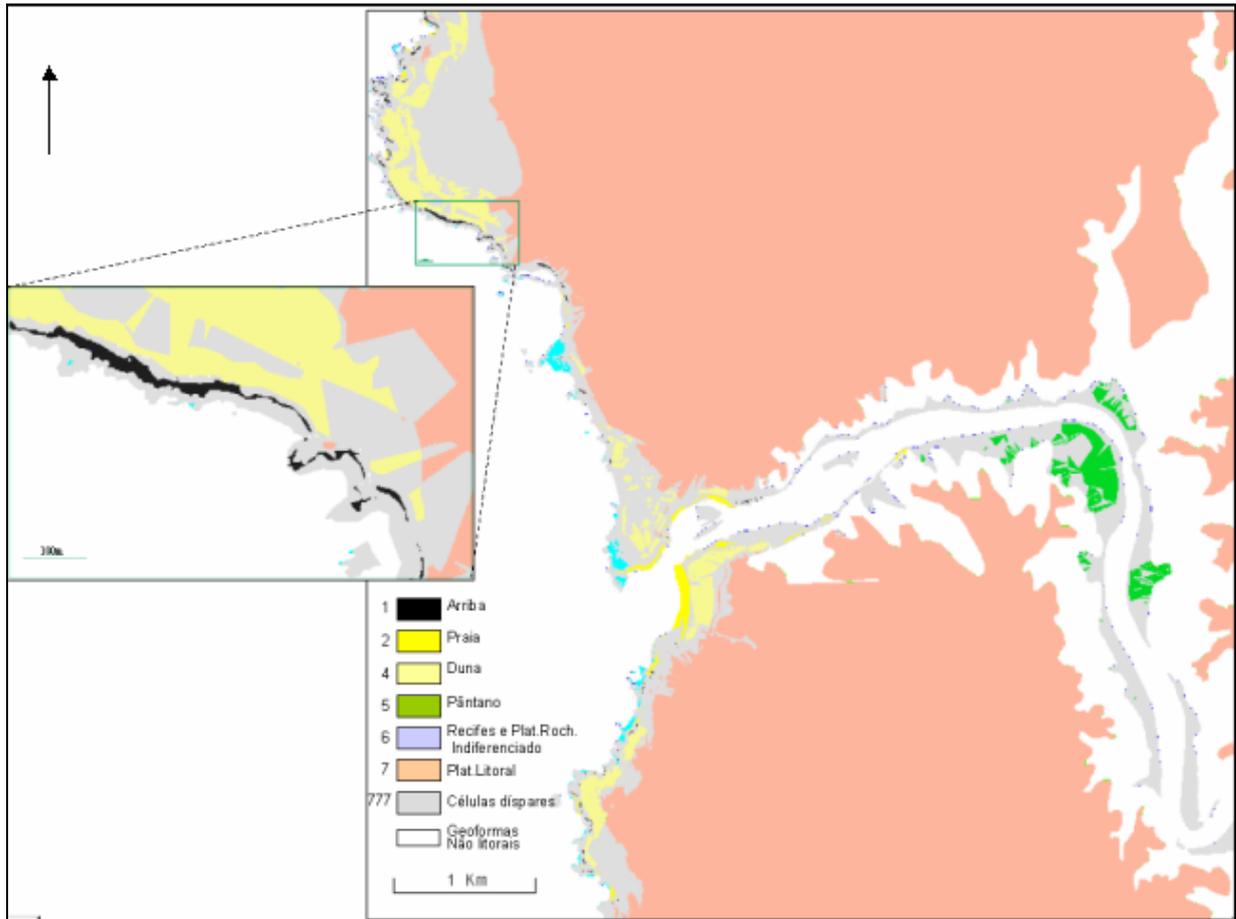


Figura 9 - Resultados finais da aplicação do modelo à área de estudo. As células díspares são aquelas onde a geoforma indicada pelo modelo não correspondeu à realidade (note-se que este mapa deve ser analisado em ecrã pelo que esta imagem de fraca qualidade transmite apenas uma ideia sumária da representação gráfica obtida.

Aplicação:

Uma vez dispondo de uma base cartográfica e montado um SIG que transmita a localização das geoformas litorais de uma determinada área, é possível efectuar diversos tipos pertinentes de análise espacial, seleccionando e manipulando a informação geográfica de acordo com determinados objectivos, entre os quais os da preservação e valorização do espaço.

A partir do SIG construído, passou a ter-se disponível o modelo do espaço morfológico da área de estudo. Através das ferramentas de análise espacial comuns a todas as plataformas SIG, o utilizador pode passar a efectuar uma série de operações dirigidas, dentro dos limites impostos pela quantidade e pela qualidade da informação.

O que se passa a referir, é um exemplo concreto de um tipo de análise espacial capaz de interessar a um técnico de ordenamento do litoral e, em simultâneo, a elementos mais

ligados à ciência em si. Por outro lado, e indo ao encontro dos objectivos definidos inicialmente, a análise seguinte procura soluções em termos de potenciais conclusões relativamente ao funcionamento do sistema geomorfológico territorial, através da avaliação das relações entre as geoformas, nomeadamente, no que se refere às vizinhanças entre as diferentes áreas específicas, definição de tipos de linha de costa quanto à sua natureza morfogenética e tipos de fachada costeira, elementos estes que são essenciais para um bom conhecimento da costa sem o qual não é possível planificar correctamente a sua preservação ou recriação, ainda que isso dependa de mais factores para além dos aspectos geomorfológicos. Mas a informação analisada, é facilmente utilizável e transponível para SIG's direccionados para o ordenamento integrado do litoral.

Numa primeira fase, e já num ambiente de análise espacial, com base nos atributos associados aos diferentes tipos de elementos gráficos que, neste caso, são geoformas litorais, foram feitas inquirições espaciais (*queries*) estruturadas, de acordo com os seguintes objectivos exemplificativos:

a) Identificação de áreas morfológicas dentro dos limites da faixa costeira, entre o zero hidrográfico (ZH) e o nível de águas máximas (NAM). Para tal, e obtendo a referência a partir do MDT gerado para o fluxo de processos do SAGLIT, extraíram-se os elementos gráficos correspondentes às isolinhas do ZH; nível médio do mar (NM); nível de preia-mar de águas vivas (NPMAV) e NAM. A intersecção selectiva destas isolinhas com as diferentes áreas classificadas do ponto de vista morfológico permite, por exemplo, obter o seguinte tipo de resultados:

- aspecto da morfologia da linha de costa e da fachada costeira, de acordo com a posição do nível relativo da água do mar em função dos diferentes níveis regulares da água impostos pelas marés;
- classificação da exposição relativa à morfogénese marinha das áreas morfológicas em função da sua acção permanente, periódica ou ocasional;
- estabelecimento de uma base de análise cronológica para futuras comparações no sentido de permitir avaliar o estado de evolução da linha de costa, tanto em termos de tipos de fachadas dominantes, como em termos de avanços ou recuos efectivos.

b) Identificação de tipos e posições geográficas dos contactos entre os sistemas geomorfológicos elementares, tendo em vista a sua análise espacial e ainda servir também como base de análise cronológica, prevendo no futuro estabelecer conclusões

relativamente a eventuais desvios da posição de contacto entre os referidos sistemas geomorfológicos elementares.

Numa perspectiva geral, trata-se de uma análise 2D com as 3ª e 4ª dimensões implícitas, uma vez que a análise de base é feita no plano, mas em função de elementos de componente altimétrica (ZH, NM, NPMVAV e NAM) e com uma posição temporal explícita, que é a que se refere ao ano de concepção da informação. Neste caso, deve ser reportada a 2004. Deve entretanto tomar-se em consideração que a montagem desta estrutura é essencialmente exemplificativa do que se pretende que o SAGLIT seja. A figura 10 mostra esquematicamente o tipo de análise espacial que se pretende aplicar.

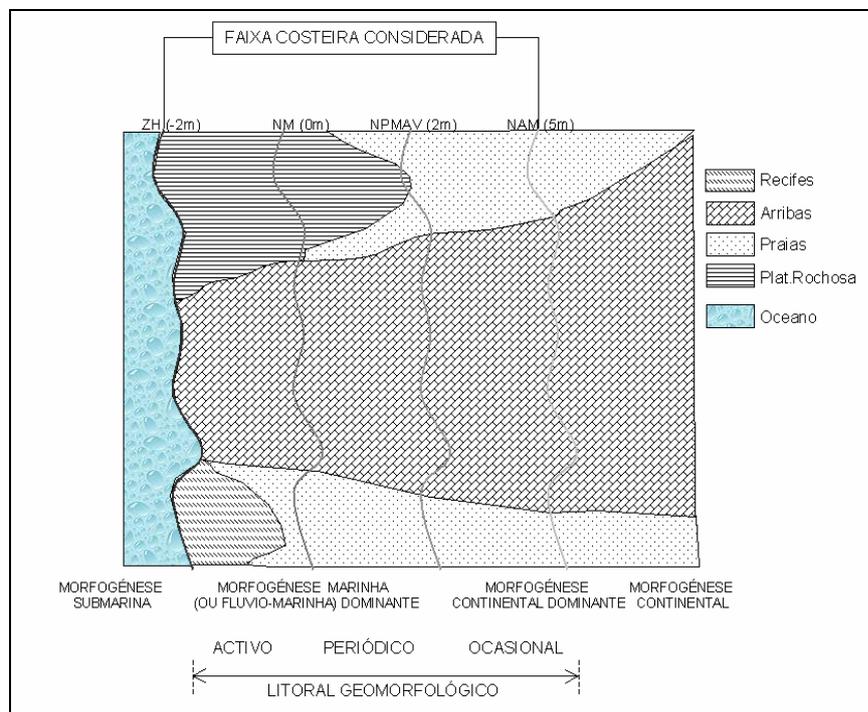


Figura 10 - Esquema exemplificativo do tipo de análise espacial previsto para o zonamento selectivo das geoformas litorais em função da maior ou menor intensidade da ação do mar, em função dos níveis relativos da maré.

Na figura 10, estão representadas as isolinhas imaginárias referentes a níveis significativos de altitude, e os polígonos relativos às áreas geomorfológicas específicas. O tipo de análise espacial que se efectuou pretendeu incidir sobre a identificação dos tipos de fachada costeira, a classificação de espaços geomorfológicos significativos e faixas de contacto entre sistemas elementares diferentes:

- a) Tipos de fachada costeira em função do nível do mar - uma das possibilidades oferecidas pelo SIG construído, é a avaliação dos tipos de fachada ou frente costeira em função do nível do mar. Consiste em efectuar uma inquirição lógica que permita identificar a seguinte condição: *linha onde se encontra a isolinha do ZH com o sistema geomorfológico x.*

Tendo ainda presente a figura 10 e, de acordo com a figura 11, na linha de costa ao nível do ZH, podem ter-se três tipos de fachada: *plataforma rochosa, arriba e recife*. Ao nível médio, o panorama altera-se passando a haver maior superfície de *arriba* e os *recifes* dão lugar a *praia*. Em situação de águas vivas, existe uma frente de arriba maior, ladeada por dois trechos de praia, um deles com um pequeno trecho de plataforma rochosa e, por fim, em situação de águas máximas, a plataforma rochosa está totalmente submersa.

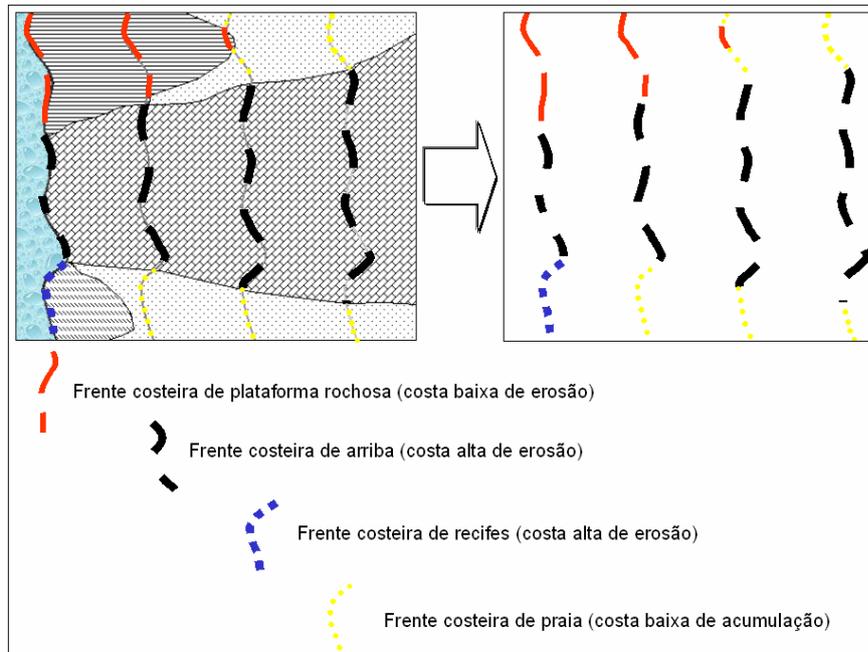


Figura 11 - Análise de tipos de fachada em função do nível do mar (exemplo fictício)

De forma análoga, mas usando o mesmo operador espacial se estabelece a intersecção entre as áreas morfológicas e as linhas que representam os restantes níveis do mar considerados na figura 11: NM; NPMAV e NAM .

Para que haja uma cobertura de todas as situações, é necessário verificar todas as combinações possíveis, criando-se um tipo elemento gráfico para cada tipo de intersecção. A tabela da figura 12, mostra a relação de combinações possíveis verificadas:

	ZH	NM	NPMAV	NAM
ARRIBA	✓	✓	✓	✓
PRAIA	✓	✓	✓	X
PLAT.ROCH. OU RECIFE	✓	✓	✓	X
DUNA	X	X	✓	✓
PÂNTANO	✓	✓	✓	✓
PLAT.LITORAL TERRAÇO OU ANTRÓPICO	X	✓	✓	✓

Figura 12 - Verificação das combinações possíveis de intersecção entre tipos de áreas morfológicas e níveis do mar significativos (✓-verifica-se; X- não se verifica)

O resultado gráfico da operação relativa às frentes costeiras ao nível do ZH, aplicado à totalidade da área de estudo, é apresentado na figura 13.

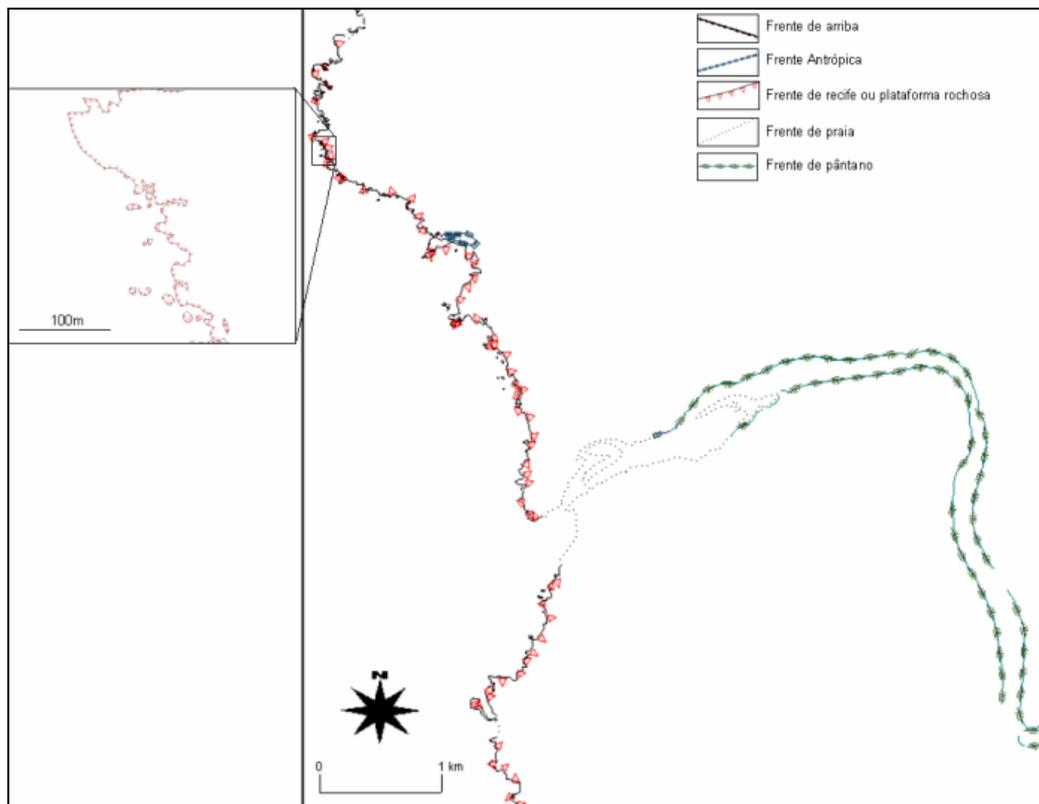


Figura 13 - Cartografia resultante da operação de análise espacial de intersecção do ZH com as diferentes áreas morfológicas: tipos de frentes costeiras

A tabela da figura 14, indica alguns valores significativos que o sistema permitiu obter de forma automática.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS>	comprimento BASE ZH (m)	% TOTAL
ARRIBA VIVA	599.1	1.7
PRAIA	7602.7	20.9
PLATAFORMA ROCHOSA OU RECIFES	16425.9	45.2
ANTRÓPICO	773.6	2.1
PANTANO	10905.7	30.0

Figura 14 - Características morfométricas dos tipos de fachada costeira obtidos, ou comprimentos dos diferentes tipos de linha de costa

É vasto o rol de conclusões que este tipo de dados em ambiente SIG permite obter. Por exemplo, verificou-se que, ao nível do ZH, ou seja, em permanente contacto com a água do mar, para um comprimento de 39 quilómetros de linha de costa, existe apenas um troço de 600 metros de arriba o que, à partida, não deixa de ser surpreendente numa costa rochosa. Mas, de facto, como as arribas têm neste sector uma taxa de recuo acentuado por isso, ao nível do ZH, dominam sobretudo plataformas rochosas e recifes que, na esmagadora maioria, são testemunhos desse recuo.

Com este tipo de análise espacial é também possível efectuar classificações de geoformas quanto à sua dinâmica potencial: continuando com o exemplo das arribas, pode-se definir, concretamente, se uma arriba é viva, até onde o é, qual a superfície sempre em contacto com o mar, qual a superfície que só está temporariamente em contacto com o mar ou se raramente ou nunca está em contacto com o mar. A figura 15, é um exemplo que mostra a tipologia de arribas que é possível definir através do sistema de análise espacial estruturado.

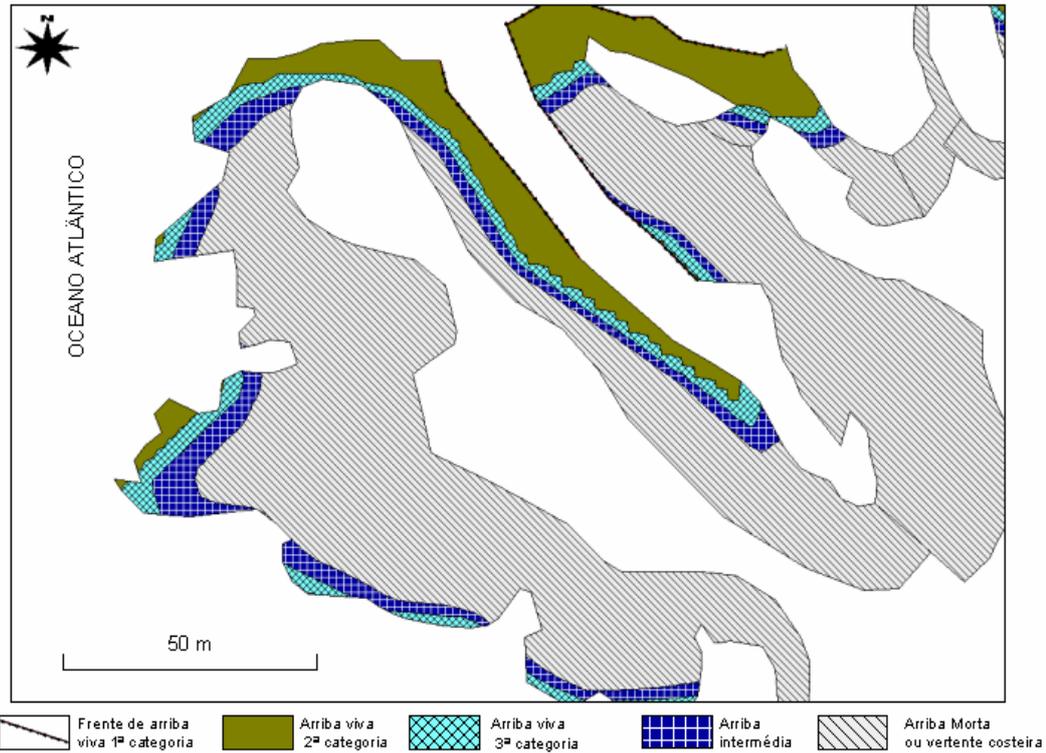


Figura 15 - Tipologia exclusivamente de arribas segundo o SAGLIT, num sector particular da área analisada

A frente de arriba, corresponde a arriba viva, sempre em contacto com o mar. Considerando o ZH como o limite geomorfológico do litoral, então as áreas de arriba que estão a sotamar não estão permanentemente, sob a acção do mar. Podem, assim, definir-se mais tipos de arriba viva, consoante o maior ou menor período de tempo que estão expostas à acção directa do mar. Deste modo, consideram-se as arribas vivas de primeira categoria, aquelas que estão em permanente contacto com o mar; as de segunda categoria são as superfícies de arriba que só estão emersas durante a baixa-mar, entre o ZH e o NM. As de terceira categoria são aquelas que só são atingidas pelo mar durante a preia-mar, entre o NM e o NPMAV; as intermédias, que correspondem às áreas que só ocasionalmente são alcançadas pelo mar, entre o NPMAV e o NAM e, por fim, as áreas de arriba morta ou vertentes costeiras, que são as que ficam acima do NAM, que se considera nunca serem atingidas directamente pelo mar. O conjunto morfológico onde se inserem estas áreas de arriba da figura 15 é mostrado na figura 16.

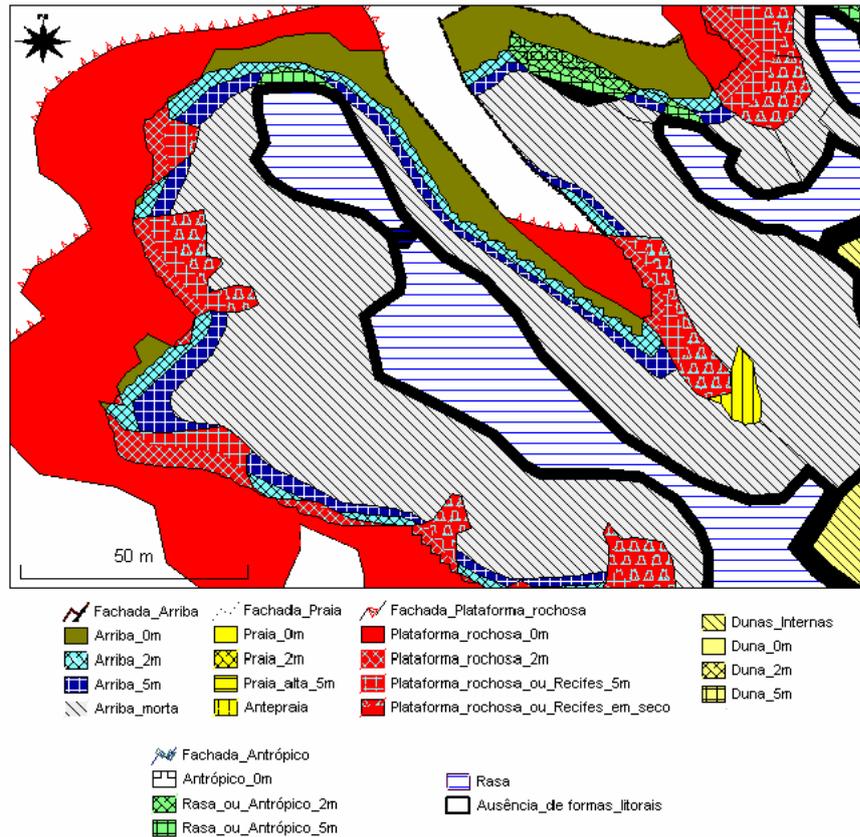


Figura 16 - Totalidade do espaço geomorfológico classificado correspondente à figura 15 (Ponta do Landeiro - concelho de Odemira, na fachada costeira a norte da foz do rio Mira)

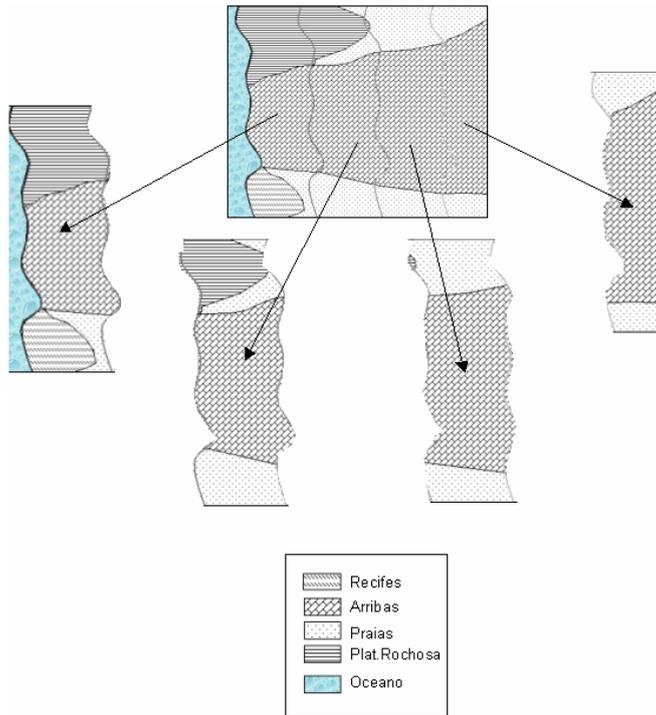
Como se verifica, esta possibilidade de análise pode ser extremamente útil para definir entre outras coisas, espaços de ocupação antrópica e gradientes de risco geomorfológico.

b) Classificação de espaços geomorfológicos significativos.

Outro tipo de análise espacial, que se pode deduzir, foi desenvolvida para exemplificar as potencialidades de análise do SAGLIT. O zonamento de áreas morfológicas¹ em função do nível do mar tem uma importância relevante não só ao nível da Geomorfologia. Tendo como base as áreas de cada zona em função do nível do mar, entre outros aspectos, é possível aferir no futuro eventuais variações eustáticas do nível do mar, através do controle cronológico do valor das diferentes áreas morfológicas.

¹ Na prática são polígonos classificados do ponto de vista geomorfológico

A figura 17, ainda de acordo com o esquema da figura 10, mostra esquematicamente o modo como pode ser feito o seccionamento para este fim.



de áreas e perímetros. Por exemplo, na situação fictícia representada na figura 17, na área1 entre o ZH e o NM, a área relativa de plataforma rochosa é a segunda mais importante, existindo uma porção significativa de recifes e uma área exígua de praia. Apenas 2 metros acima, entre o NPMAV e o NM, o panorama altera-se, desaparecendo os recifes, diminuindo a plataforma rochosa e aumentando a área de praia. Na situação 3, a área de plataforma rochosa, praticamente desaparece e, em 4, na área sempre emersa, deixa mesmo de existir. Entretanto a área de arriba, dominante, vai também variando. Na realidade, num curto espaço, a importância relativa das áreas morfológicas pode alterar-se radicalmente. Esta é a situação na faixa costeira. O significado geomorfológico das áreas relativas nas diferentes secções traduz-se numa variação morfológica significativa num mesmo local, que vai corresponder a diferentes tipos de resposta dos elementos relativamente à acção do mar e, certamente, a um tipo de paisagem variável onde, por exemplo, durante a preia-mar podem só existir arribas, mas na baixa mar podem existir praias, plataformas rochosas e recifes. O levantamento e inventariação destas situações, pode de servir de base de referência comparativa com situações posteriores, tendo em vista a identificação de alterações do nível do mar ou na

morfologia. A figura 18, mostra um exemplo concreto das variações que podem ocorrer na faixa costeira num mesmo sector, de acordo com o nível do mar.

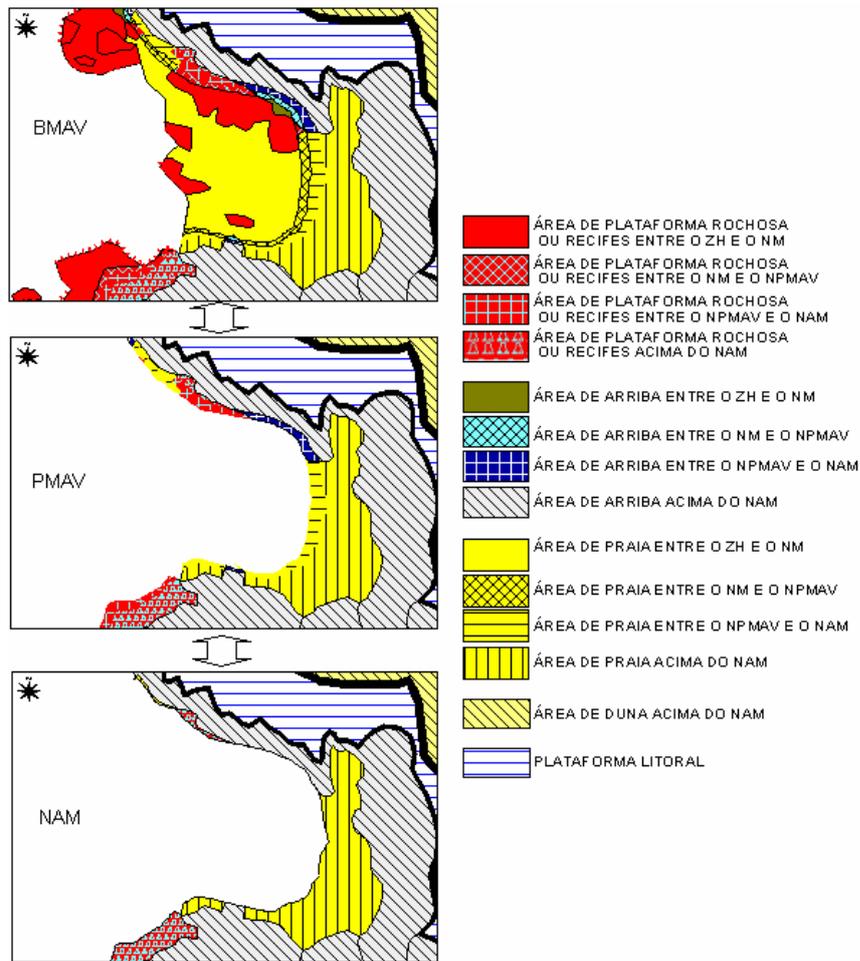


Figura 18 - Variações morfológicas na faixa costeira, em função das diferentes posições relativas da linha de costa, consoante o nível do mar - Sector de Angra da Cerva (concelho de Odemira, na fachada costeira a norte a foz do rio Mira). ZH-zero hidrográfico; BMAV-Baixa mar de águas vivas; NM-nível médio do mar; PMAV ou NPMVAV-nível de preia-mar de águas vivas; NAM-nível de águas máximas.

A condição que determinou a aplicação deste género de análise espacial foi: *intersecção da área morfológica x com a área abaixo do nível y.*

Efectuando a operação para cada secção entre cada um dos diferentes níveis altimétricos significativos considerados, obtém-se os valores das diferentes superfícies, bem como a sua distribuição espacial, individual e conjunta.

c) Um terceiro exemplo de análise possível diz respeito à identificação de tipos de contacto entre os diferentes sistemas elementares.

Este tipo de análise espacial reveste-se de uma importância extrema no ordenamento, já que essas fronteiras delimitam o contacto entre elementos geralmente interactivos e sua modificação pelo ser humano pode introduzir sérias perturbações no sistema dinâmico. É

extremamente complexo, determinar as relações espaciais relativas entre os diferentes sistemas elementares. Cada sistema elementar pode ter mais do que um sistema vizinho e a relação entre os diferentes sistemas geomorfológicos não se restringe a relações de contiguidade topológica bidimensional. Dois sistemas podem estabelecer relações sem sequer estarem próximos ou, estando próximos, não têm necessariamente que ter uma fronteira comum para que possam estabelecer relações, nomeadamente trocas sedimentares, efeito protector mútuo, entre outros aspectos. Ainda assim, sendo extremamente complexo estruturar um sistema que possa prever o maior número de relações possível, que seria a situação ideal, o SAGLIT restringiu-se a avaliação das relações de vizinhança.

Um modo de delimitar sistemas geomorfológicos compostos e complexos, é estabelecer um zonamento do mar para terra, mas apenas se podem fazer conjecturas sobre o assunto, dado que, na bibliografia, não se evidenciaram quaisquer referências metodológicas objectivas e materializáveis no espaço. Por outro lado, um modo de contornar ou minorar este problema paradigmático, é definir cartograficamente as fronteiras entre os diferentes sistemas elementares que são também fronteiras físicas através das quais ocorrem trocas de matéria, servindo ainda como referencial geo-referenciável para futuras comparações temporais qualitativas e quantitativas. O conhecimento exacto da posição destas fronteiras permite avaliar o significado das suas potenciais deslocações quando comparadas cronologicamente. Desde que definidas com rigor, podem inclusivamente permitir a quantificação de avanços e recuos dos sistemas vizinhos e concluir acerca das consequências que, potencialmente, daí possam advir.

A figura 19 mostra o esquema genérico do tipo de análise espacial efectuada.

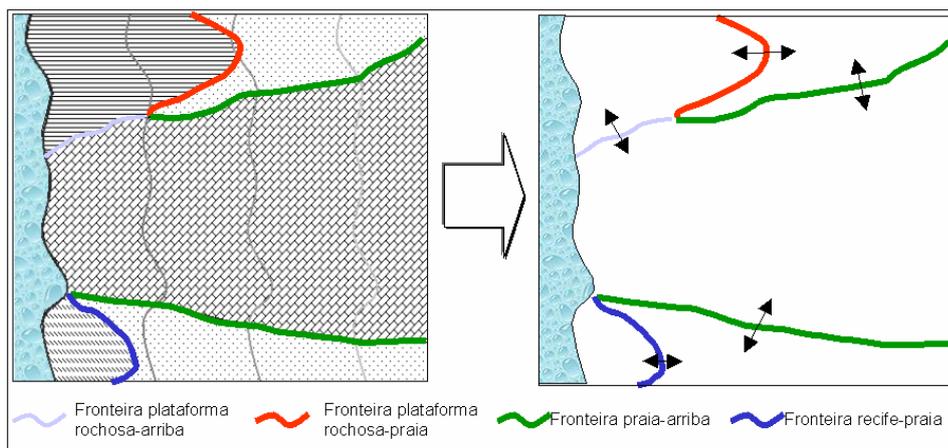


Figura 19 - Análise de fronteiras entre sistemas geomorfológicos elementares adjacentes

O esquema do lado direito da figura 19, representa os limites fronteiriços entre os diferentes sistemas geomorfológicos presentes, que também variam com as oscilações do nível do mar com a maré que, neste sector, vão alterando sistematicamente as relações de vizinhança. Através do processo de análise espacial de acordo com a condição: *identificar a linha onde se encontram as áreas adjacentes correspondentes aos polígonos x e y*, determina-se o elemento gráfico correspondente, neste caso uma linha.

A relação espacial efectuada, é estabelecida somente entre dois sistemas litorais vizinhos. O resultado desta operação é exemplificado na figura 20.

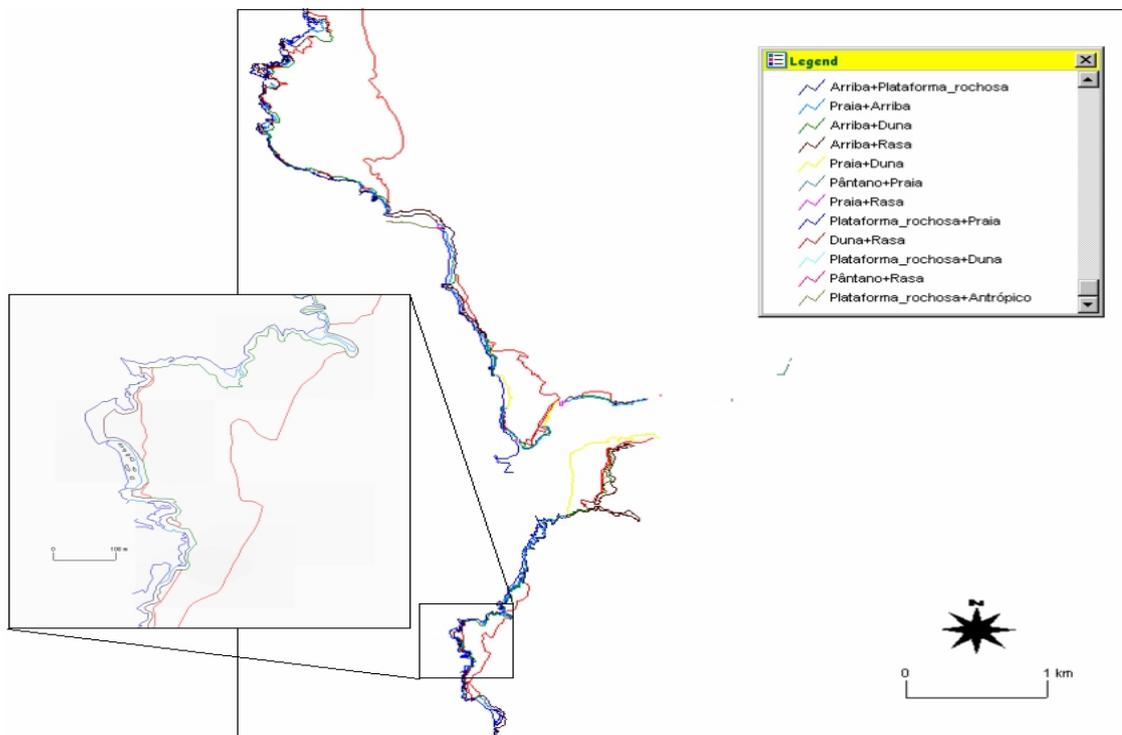


Figura 20 - Imagem da distribuição de fronteiras entre sistemas geomorfológicos litorais na área de estudo, obtida a partir de ferramentas de análise espacial (ampliação no sector da Pedra da Atalaia, a sudoeste da foz do rio Mira)

Por fim, nas tabelas da figura 21 apresentam-se os resultados morfométricos da análise efectuada.

Os dados obtidos, permitiram efectuar uma classificação quantitativa do litoral em termos do panorama geomorfológico, como as relação entre as principais geoformas, comprimentos, áreas e perímetros, salvaguardando o facto de se ter sempre presente o nível de qualidade da informação de base que condiciona a qualidade destes valores.

FORMA	ELEMENTO RESULTANTE DA ANÁLISE ESPACIAL	Área (m ²)	Poporção relativa à área total do mesmo tipo (%)	perímetro (m)	comprimento (m)
ARRIBAS	Fachada de arriba (arriba viva)		0		599
	Arribas_0m (arriba viva classe2)	6.549	3	3.411	
	Arribas_2m (arriba viva classe3)	14.058	7	5.584	
	Arriba_5m (arriba_intermédia)	159.251	76	26.136	
	Arriba morta ou área de vertente costeira	183.217	87	28.212	
	Área total de arriba	209.914	100	31.654	
PRAIAS	Fachada de praia		0		7.603
	Praias_0m	294.874	64	15.685	
	Praias_2m	351.383	76	17.616	
	Praias_5m	53.505	12	13.202	
	Antepraia	57.006	12	12.963	
	Área total de praia	461.894	100	24.901	
PLATAFORMAS ROCHOSAS E RECIFES	Fachada de plataforma rochosa		0		16.661
	Plataforma rochosa_0m	317.791	78	31.280	
	Plataforma rochosa_2m	357.089	88	31.679	
	Plataforma rochosa_5m		0		
	Área identificada de plataforma rochosa	255.119	63	15.385	
	Área identificada de recifes	67.787	17		
	Área total de recife e plataforma rochosa indiferenciado	405.947	100	33.704	
DUNAS	Fachada de duna		0		0
	Duna_0m	154	0	205	
	Duna_2m	5.586	0	1.291	
	Duna_5m	40.818	3	3.526	
	Dunas internas (dunas acima de 5m)	1.415.378	97	18.858	
	Área total de duna	1.461.783	100	19.142	
PÂNTANOS	Fachada de Pântano		0		10.906
	Pântano_0m	107.235	10	17.303	
	Pântano_2m	343.818	33	21.816	
	Pântano_5m	8.298	1	22.920	
	Pântano Alto (acima de 5m, açore)	406.374	38	23.937	
	Área total de pântano	1.057.821	100	25.624	
RASAS E ANTROPÍCO	Fachada antrópico		0		774
	Rasa_0m	2.899	3	1.199	
	Rasa_2m	5.100	6	1.941	
	Rasa_5m	6.762	8	2.606	
	Rasa	86.911	100	79.931	
	Área total de rasa e antrópico indiferenciado	86.911	100	79.931	

COMPRIMENTO (%Vm)	ARRIBA	PRAIA	PLAT.ROCH. OU RECIFE	DUNA	PÂNTANO	PLATAFORMA LITORAL TERRAÇO OU ANTROPÍCO	FAIXA COSTEIRA NATURAL (m ²)=
ARRIBA		7197	5932	6023	0	11778	3597359
PRAIA	19.8 %		6304	2120	161	323	PERÍMETRO NATURAL (m)
							135026
PLAT.ROCH. OU RECIFE	16.0%	17.3%		9	0	495	comprimento ZH (m)
							39049
DUNA	16.6%	6%	0.03%		0	11187	comprimento NM (m)
							34570
PÂNTANO	0	0.4%	0	0		0	comprimento NAM (m)
							26143
PLATAFORMA LITORAL TERRAÇO OU ANTROPÍCO	32.4%	0.9%	0.02%	30.8%	0.02%		

Figura 21 - Quadro de resultados quantitativos, obtidos a partir da análise espacial efectuada: linhas e área morfológicas no litoral da área do estuário do Rio Mira; comprimentos absolutos das linhas limites de fronteiras entre sistemas litorais adjacentes; dimensões gerais da linha de costa do litoral do estuário do rio Mira, aos diferentes níveis considerados

Conclusão:

Os tipos de fachada e as áreas morfológicas encontradas pelo SAGLIT indicam a localização das áreas onde actuam selectivamente os processos litorais de erosão e acumulação. A base geográfica é passível de ser actualizada dando azo à criação de uma

base de análise cronológica que começaria a dar indicações sobre a evolução geomorfológica do litoral. Deste modo, enriquecer-se-ia a análise espacial do litoral considerando a sua 4ª dimensão. O SAGLIT pode ser ajustado para estabelecer um sistema de previsão evolutiva tornando-se base para estudos mais abrangentes, por exemplo de vulnerabilidades e riscos em função da evolução. Este passo deve constituir o elo final para a existência de um sistema de análise dinâmico em Geomorfologia Litoral. Todas estas componentes são fundamentais para o conhecimento do espaço litoral em geral e sua dinâmica e, como tal, são importantes para Ordenamento do Território e Planeamento, particularmente na sua componente da recriação e valorização do espaço, onde a importância das TIG como elemento fundamental para a aquisição desse conhecimento assume um papel relevante.

António A. M. Alves da Silva, 2007

BIBLIOGRAFIA:

- AL-GHADBAN, A., (2000), Towards a GIS-Based Environmental Information System for Kuwait.
<http://www.gisqatar.org.qa/conf97/links/c4.html> 13/12/00
- ANDERSEN, R., (1997), MIKE info Coast: A GIS based tool for CZM. *Proceedings of CoastGIS 97*, Aberdeen.
- ANDERSON, M.(ed.), (1988), *Modelling geomorphological systems*. J.Wiley & Sons, Nova Iorque, 458p.
- BALDWIN, J.; et al., (1997), *Modelling Environmental Cognition of the View With GIS*. Department of Geography University of Leicester, Leicester
http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/fisher_peter/baldwin.html
- BARTLETT, D., (1990), Spatial Data Structures and Coastal Information Systems in: *Proceedings of EGIS 90. Proceedings do EGIS 1990*, Amesterdão: 30-39
- BARTLETT, D., (1993e), GIS and the Coastal Zone-Past, Present and the Future. *AGI pub. 3/94*, AGI, Londres,
- BARTLEY, J.;BUDDEMEIER, R.; BENNETT, D., (2000), Coastline Complexity: A Parameter for Functional Classification of Coastal Environments.
<http://www.kgs.ukans.edu/Hexacoral/Products/BARTLEYFIN3.html> 2/10/02
- BLOOM, A., (1986), Coastal Landforms (in *Geomorphology from Space*). NASA,
http://eosdataf.gsfc.nasa.gov/DAAC_DOCS/geomorphology/GEO_6/GEO_CHAPTER_6_TABLE.HTML 8/10/02
- BREMAN, J. (ed.), (2002), *Marine Geography: GIS for Oceans and Seas*. ESRI, Nova Iorque, 224p.
- CÂMARA, G; MONTEIRO, A.; MEDEIROS, J., (2000), Representações Computacionais do Espaço: Um diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação. DPI/INPE, Rio de Janeiro, 20p.

- CAPOBIANCO, M., (1999a), *The Role and Use of GIS in relation to ICZM*. Tecnomare Report 636A0753-RAP-D100-006, Veneza.
- COATES, D. (ed.), (1980), *Coastal Geomorphology*. Routledge, Londres, 416p.
- COSTANZA, R., SKLAR, F., WHITE, M., (1990), Modelling Coastal Landscape Dynamics. *BioScience*, vol. 40, No. 2, pp.91-107
- COUDE, (1997), *Littoraux Entre Environnement et L'Amenagement*. Actas do Colóquio de Caen Presses Univers, Caen.
- DE BOER, D., (1992), Hierarchies ans spatial scale in process geomorphology. *Geomorphology 4*, Amsterdão pp.303-318
- DIAS, J.; FERREIRA, O., (1997), Gestão Costeira e Conhecimento Científico: Uma Perspectiva Integrada. *Eurocoast-Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira. de Portugal*, Porto, pp.229-238
- DIKAU, R. et al (eds.), (1995), Advances in Geomorphometry. *Proceedings of the Walter F. Wood Memorial Symposium, 3rd International Conference on Geomorphology*. McMaster University, Hamilton.
- DOLAN R., FENSTER, M., HOLME, S., (1991), Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, vol. 7, Royal Palm Beach: 723-744
- DOUGLAS, B.; CROWELL, M.,LEATHERMAN, S., (1998), Considerations for Shoreline Position Prediction. *Journal of Coastal Research*, vol. 14, No. 3, *Royal Palm Beach*: 1025-1033
- ELLIS, M. (ed.), (1978), *Coastal Mapping Handbook*. USGS/NOOA, Washington.
- EUROCOAST-PORTUGAL (ed.), (1997), *Colectânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal*. Associação Eurocoast, Universidade do Porto, Porto.
- FLORIDA STATUTES, (1978), *Coastal Mapping*. State of Florida, Tallahassee
- FORBES, D.; LIVERMAN, D., (1996), Geological Indicators in the Coatal Zone. *Geoindicators*, Balkema, Roterdão, pp.173-192
- FRICKER, A.; FORBES, D., (1988), A System For Coastal Description and Classification. *Coastal Management*, vol. 16, Londres: 111-137
- GUILCHER, A., (1954), *Morphologie Littoral et Sousmarin*. Presses Univ.de France, Paris, 210p.
- HANSON, L., (1999), *Classification of Coasts and Shorelines*. Dep. Of Geologic Sciences of Salem State College, Salem
- HASLETT, S., (2000), *Coastal Systems (Routledge Introductions to Environment Series)*. Routledge, Londres, 217p.
- JONES, A., (1995), GIS in coastal management: a progress review. *CoastGIS '95. Proceedings of the International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management*, Cork, pp.165-178
- KELLETAT, D., (1995), *Atlas of Coastal Geomorphology and Zonality*. Coastal Education and Research Foundation, Inc (CERF).
- LANE,S.; RICHARDS, K.; CHANDLER, J., (1998), *Landform Monitoring, Modelling and analysis*. J.Wiley & Sons, Nova Iorque, 466p.
- LANGRAN, G., (1992), *Time in GIS*. Taylor & Francis, Londres

- LE BERRE, I., (2004), Dealing with data heterogeneity: a challenge for coastal GIS. *Actas da Conferência ECO-GIS: GI and GIS for Integrated Coastal Management- Sevilla*
- LUQUE, A., (1990), *Morfologia litoral de las Islas Canarias occidentales*. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, 204p
- MCCANN, S., (1980), Coastal landforms. *Progress in Physical Geography*, vol. 4, nº 3, Londres:431-438
- MEIRELLES, M., (1997), Análise Integrada do Ambiente Através do Geoprocessamento. IGEO-UFRJ- Tese de doutoramento, Rio de Janeiro.
- MOPU-ESPANHA, (?), *Analysis del Litoral Español*. Madrid
- NIR, D., (1983), *Man, A Geomorphological Agent*. D.Reidel, Boston, 224p.
- PASKOFF, R., (1998), *Les Littoraux- Impact des Amenagements Sur Leur Evolution (2ªed.)*. Armand Colin, Paris, 250p.
- PEREIRA, A., et al., (1994), Contribuições para o estudo da Geomorfologia e Dinâmica Litorais em Portugal. *Linha de Acção de Geografia Física*, nº 35, CEG, Lisboa, 91p.
- PHILLIPS, J., (1999), *Earth Surface Systems: Complexity, Order and Scale*. Blackwell, Oxford, 320p.
- RAPER, J., (2000a), *Multidimensional Geographic Information Science*. Taylor & Francis, Londres, 300p.
- RAPER, J., (2000b), 2.5 and 3D GIS for Coastal Geomorphology. *Marine and Coastal GIS cap.9*, Taylor & Francis, Londres, pp.129-136 <http://www.csc.noaa.gov/products/shoreandsea/>
- RIBEIRO, O.; Lautensach, H.; Daveau, S., (1987), *Geografia de Portugal vol. 1- A Posição Geográfica e o Território*, Sá da Costa, Porto, 334p.
- RUIJGROK, C., (1999), *Valuation of nature in coastal zones*. University of Amsterdam, Haia, 236p.
- SILVA, A. (2005) - *Análise Espacial em Geomorfologia Litoral: Desenvolvimento de um Modelo de Identificação de Formas e Sistemas Litorais*, Instituto Geográfico Português, Lisboa, 600p.
- SILVA, A., -(1996)- *Análise Hidro-Geomorfológica de pequenas bacias hidrográficas : Ensaios em SIG realizados na - Bacia do Rio Arnóia*, CNIG, Lisboa 168p.+SIG
- TRENHAILE, A., (1987), *Geomorphology of Rock Coasts*. Oxford Univ.Press, Oxford, 384p..
- WENDEL, H., (2001), O zoneamento do Território Usado: uma contribuição para o planeamento regional em áreas litorâneas no Brasil. *Geografia* vol. °26, nº 3, Rio de Janeiro: 97-111
- WOLDENBERG, M., (ed.), (1985), *Models in Geomorphology. Binghamton Symposia in Geomorphology International Series*, No 14, Routledge, Londres, 434p.
- WRIGTH, D. ; BARTLETT, D. (eds.), (2000), *Marine and Coastal Geographical Information Systems Marine and Coastal Geographical Information Systems (Research Monographs in Geographic Information Systems.)*, Taylor & Francis, Londres, 320p.