# CARACTERIZAÇÂO AMBIENTAL DA REDE DE TRANSMISSÃO PORTUGUESA A PARTIR DE DADOS DE INSPECÇÃO DE LINHAS

**F. AZEVEDO***
**CENTRIA, FCT, Universidade Nova de Lisboa**
**Portugal**

**J. GOMES-MOTA**
**Albatroz Engenharia**
**Portugal**

**L. CAMPOS PINTO**
**REN – Redes Energéticas Nacionais**
**Portugal**

**J. CASACA**
**REN – Redes Energéticas Nacionais**
**Portugal**

***Resumo*** *– Para comparar a eficiência da exploração com empresas congéneres, a REN, concessionária da Rede Nacional de Transporte (RNT) portuguesa recorre ao ITOMS, uma metodologia que exige a caracterização ambiental dos terrenos atravessados pelas linhas eléctricas. No passado, a REN usara métodos indiciários de caracterização ambiental mas, para a campanha de 2008 e 2009, a REN decidiu fazer uma caracterização exaustiva da RNT, vão a vão, mercê das novas tecnologias de inspecção de linhas que incluem medição de distâncias e caracterização tridimensional da faixa de servidão das linhas.*
*Foram calculados índices de urbanização e de crescimento da vegetação por processamento automático dos dados tridimensionais recolhidos com LiDAR, seguidos de revisão por supervisão humana apoiada nas inspecções de vídeo e em sistemas de informação geográfica. Os modelos de crescimento foram validados por uma análise comparativa de inspecções em anos sucessivos (2008-09). Em 2010 também iniciámos estudos para incluir o efeito das aves, em especial das cegonhas que nidificam nos apoios das linhas, na caracterização ambiental das faixas da RNT que, combinada com outros elementos de manutenção da vegetação e de exploração da rede, permite criar modelos de risco para optimização da exploração da RNT.*

***Palavras chave:*** REN – ITOMS – Crescimento de Vegetação – Índice de Risco – LiDAR - Cegonhas

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 A RNT e a envolvente do meio ambiental em Portugal

As instalações da Rede Nacional de Transporte de Electricidade (RNT) em Portugal continental, das quais a REN – Rede Eléctrica Nacional, S.A. é concessionária e gestora, compreendem 71 subestações e postos de corte e seccionamento e 7.527km de circuito de linhas aéreas de 400, 220 e a 150kV.
A riqueza e diversidade de espécies vegetais e animais existentes em Portugal, assim como uma distribuição demográfica irregular, a par de um tipo de urbanização bastante dispersa, condicionam a gestão da infra-estrutura eléctrica portuguesa, em particular no que se refere às linhas aéreas.
Estes factores são tidos em conta pela REN desde a fase de planeamento e construção de uma instalação até à sua colocação em serviço. No caso das linhas aéreas a REN põe particular ênfase no controlo da vegetação existente na faixa de linhas e zonas adjacentes. A partir de Novembro de 2007 foi introduzida a tecnologia LiDAR para a medição de distâncias e caracterização tridimensional da faixa de servidão das linhas [1][2].

### 1.2 O Benchmarking Internacional ITOMS

O ITOMS (International Transmission Operation & Maintenance Study) [3] constitui um exercicio de *benchmarking* internacional conduzido pela empresa americana UMS Group, com periodicidade bianual em

* fa@albatroz-eng.com

que a REN participa desde 1997. Este exercício incide sobretudo num estudo de comparação sobre práticas e resultados técnico-económicos em matéria de operação local e manutenção das redes de transporte de electricidade, com o objectivo de identificar os melhores desempenhos e propor práticas inovadoras no seio do sector eléctrico. O último estudo envolveu um universo de 27 empresas congéneres dos 5 continentes.
Na ausência de uma definição precisa de caracterização da linha, as empresas envolvidas definiram um conjunto de métricas quantitativas que são depois mapeadas em classes qualitativas aceites pela metodologia do ITOMS. Assim, foi criado um índice de urbanização com três níveis: rural, misto e urbano; um índice de ritmo de crescimento das árvores com seis níveis de crescimento: lento, lento a médio, médio, médio a rápido, rápido, rápido excepcional, além de uma classe com a vegetação rasteira. Foram criadas ainda métricas auxiliares para determinar a densidade de arborização na faixa, para dividir a faixa em zonas de diferente criticidade e dividir o país em diversas regiões com afinidades edafo-climáticas.
O cálculo da eficiência da manutenção no ITOMS baseia-se na fracção de faixa arborizada. Naturalmente, esta depende das espécies que crescem na área, e Portugal, sendo um país relativamente pequeno, apresenta variações significativas abordadas na introdução de [1]. Acresce que segundo a espécie de árvores que cresce na vizinhança da faixa, assim a manutenção permite que ela cresça nas várias zonas sob a linha ou a corta cerce de forma regular. Não tendo sido ainda possível fazer a identificação automática das espécies arbóreas de uma forma fiável, foram criados métodos indirectos para aferir o grau de preenchimento e o efeito das práticas de manutenção na densidade arbórea na faixa.
Até ao exercício de 2006, os métodos usados para a caracterização da faixa baseavam-se em processos tradicionais, obtidos através das inspecções efectuadas no terreno. No último exercício de benchmarking (2008) já foi fornecida a informação obtida com base na tecnologia LiDAR.

### **1.3** Os dados de inspecção usados no estudo

Este estudo baseou-se nos dados originalmente adquiridos para controlo de vegetação na faixa das linhas. Neste método usa-se medidas de distância tiradas com LiDAR, combinadas com medidas de GPS, com uma densidade variável entre 10 e 20 pontos por metro quadrado, a uma distância do solo entre 30m a 90m e uma distância da linha entre 20m e 70m. Neste processo, foram adquiridas as coordenadas das linhas e dos postes, que foram incluídos em Sistemas de Informação Geográfica. A caracterização do coberto vegetal foi feita por algoritmos de processamento automático, sendo os resultados posterioremente validados e corrigidos por um operador, baseando-se em imagens de vídeo capturadas sincronamente com o LiDAR e o GPS e ortofotos de sistemas de informação geográfica, dos quais se destaca o GoogleEarth.

### **1.4** Classificação da faixa das linhas

Sob cada linha da RNT existe uma faixa de terreno com a largura mínima de 45m e a largura máxima de 62m [4] na qual a REN pode intervir (Fig. 1-(a)). Esta faixa divide-se em cinco zonas com um eixo de simetria definido pelos condutores: a zona central corresponde à superfície compreendida sob a projecção vertical dos condutores, esta zona tem uma largura típica de 12m a 24m, consoante a tensão de construção e o arranjo geométrico dos circuitos; duas zonas intermédias, uma à esquerda e outra à direita, compreendidas entre a zona central e o limite de 22,5m de cada lado do eixo (a largura destas zonas varia entre 16,5m e 10,5m); finalmente há duas zonas laterais externas, uma à esquerda e outra à direita, com 8,5m de largura.
Na zona central deve evitar-se a construção e quaisquer actividades humanas de permanência prolongada. Nas faixas intermédias já são aceites construções de pequeno porte e actividades prolongadas, evitando-se contudo todos os corpos que possam cair lateralmente sobre a linha. Finalmente, as zonas laterais destinam-se a proteger as infra-estruturas em locais sujeitos a maior vento, declives ou quaisquer factores de risco acrescido. Nestas faixas já é comum encontrar vegetação, cuja caracterização é necessária para a aplicação da metodologia ITOMS.

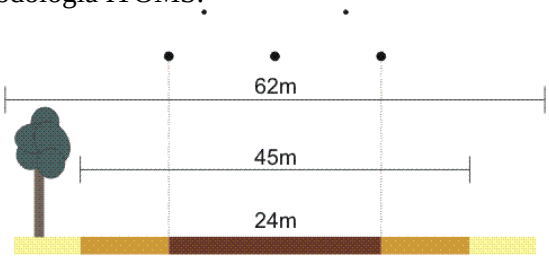

Fig. 1–(a). Faixa de servidão

Fig. 1–(b). Portugal em 3 regiões

### 1.5 Tipos de vegetação e regiões edafo-climáticas

O território de Portugal Continental foi dividido em três regiões: litoral, montanha e planície (verde, amarelo e branco, resp., na Fig. 1- (b)). A região do litoral caracteriza-se por temperaturas amenas, elevada pluviosidade, sendo dominada por um coberto vegetal denso de florestas de pinho e eucalipto, que são espécies de crescimento médio ou rápido. Nas montanhas, as temperaturas são mais extremas, a pluviosidade é inferior e as florestas são menos densas com presença de pinheiro, várias espécies do género *Quercus* e oliveiras, e são espécies de crescimento médio ou lento. Na zona das planícies, as temperaturas de verão são mais altas, a pluviosidade é a menor de todas e o coberto vegetal é esparso, raramente formando floresta; predominam os sobreiros, as azinheiras e as oliveiras que são espécies de crescimento lento.
Por razões de simplicidade numérica, cada linha foi caracterizada como pertencendo apenas a uma região. Quando uma linha atravessa mais do que uma região, escolheu-se aquela que abrange a maior extensão da linha. Há muitas outras espécies florestais que surgem quase sempre de forma pontual sem caracterizar o coberto vegetal; porém, podem ter impacto na fiabilidade da exploração de linhas eléctricas como no caso do salgueiro e o choupo, espécies flexíveis de crescimento rápido presentes junto às linhas de água [5].

## 2 MÉTRICAS

As métricas solicitadas para o ITOMS são o índice de urbanização de cada linha e o índice de crescimento da espécie dominante em cada linha. Porém, atendendo à variação destas métricas observada ao longo de cada linha, optou-se por calcular os índices para cada vão. Com este método, o comprimento da célula de análise passou da extensão média das linhas, cerca de 48km, para a extensão média dos vãos (532m), ou seja houve um aumento de 90 vezes na resolução, tornando a análise muito mais rica e mais próxima da experiência quotidiana da REN. Por enquanto, parece não se justificar uma análise ainda mais fina. Note-se que embora a unidade de medida seja o vão, a distância entre postes (o comprimento do vão) é uma variável considerada no cálculo de grandezas ponderadas.
O **índice de urbanização** foi calculado automaticamente a partir dos seguintes critérios: quando as construções afectam menos de 1% do comprimento do vão, este é classificado como “rural”; quando as construções afectam mais de 5% do comprimento do vão, este é classificado como “urbano”; entre os dois limiares é classificado como misto. Foi implementada uma versão mais sofisticada deste critério que incluía o volume ocupado pelos edifícios mas as diferenças observadas foram insignificantes na maioria dos casos.
O **índice de crescimento das árvores** foi calculado automaticamente a partir da análise dos dados LiDAR. O critério ITOMS define como árvores de crescimento lento aquelas que crescem menos de 0,762m por ano e de crescimento rápido aquelas que crescem acima deste limiar. Na dificuldade de caracterizar todas as espécies nestes dois limiares, foi criado um terceiro limiar, designado de crescimento médio. Assim, são consideradas de crescimento lento as espécies com crescimento esperado até 0,5m/ano, de crescimento rápido as espécies com crescimento esperado superior a 1m/ano, e de crescimento médio as demais.
Foi ainda criada a categoria “vegetação rasteira” para os casos em que a vegetação se limita a plantas arvenses, arbustos (videira, por exemplo) ou árvores de pequeno porte que não pôem em perigo a exploração da RNT (a maioria das fruteiras, por exemplo) e que são ignoradas para estes estudos.
A noção de **vegetação dominante** é essencial para compreender a classificação. Imagine-se um pequeno curso de água atravessado por uma linha da RNT, à beira do qual crescem salgueiros. Se o resto do vão tiver oliveiras, por exemplo, teremos uma vegetação dominante de crescimento lento; porém, se o resto do vão tiver uma plantação de milho, a vegetação dominante será de crescimento rápido pois apenas os salgueiros são relevantes para o cálculo dos índices de vegetação.
A **densidade da vegetação** é outra variável fundamental. Imagine-se um vão que atravessa uma floresta densa de pinheiros bravos. A densidade de ocupação da faixa excede facilmente os 50%. Porém, se a mesma linha sobrevoar uma zona de montado, a vegetação cobre no máximo 20% da superfície do terreno com valores típicos próximos de 10%. Logo, a densidade de ocupação ao longo de um vão deve incluir a extensão de cada vão efectivamente ocupada com a vegetação e também a densidade específica de cada espécie. Assim, uma linha que atravesse um montado de sobreiros, poderá ter densidades de vegetação próximas de 100% embora uma observação de imagem por satélite revele que apenas 15% a 20% da superfície esteja efectivamente coberta por árvores.
Como o **formato ITOMS** apenas aceita dois níveis de crescimento e como o crescimento médio foi definido quase simetricamente (0,5m a 1m) a partir do limiar do ITOMS (0,76m), optou-se por dividir os vãos caracterizados com vegetação dominante de crescimento médio em duas partes iguais: metade de

crescimento lento e metade de crescimento rápido. Foi ainda realizada uma conversão para o nível de ocupação de coberto vegetal de cada região: litoral, montanha e planície.

## 3 IDENTIFICAÇÃO DE NINHOS DE CEGONHAS EM INSPECÇÕES AMBIENTAIS

As aves, e em especial as cegonhas (e seus excrementos), são um factor de risco relevante para as linhas da RNT. Devido a isso, a REN já montou em vários postes estruturas próprias para nidificação das cegonhas (ver Fig. 2-(a)) em locais onde, à partida, não haverá riscos para a exploração da RNT. No entanto, continuam a surgir ninhos fora dessas estruturas, quer porque os suportes de nidificação estão ocupados quer porque as aves preferiram os outros locais. Em ambos os casos, a boa coexistência entre as linhas e as cegonhas, retratada na iniciativa "o condoninho da RENata" (static.publico.clix.pt/cegonhasnaweb/), requer uma monitorização regular da população de cegonhas e dos seus locais de nidificação para minimizar as consequências nefastas para a rede eléctrica (falhas de energia e perdas de qualidade de serviço) e para as cegonhas (lesões nas asas ou morte por electrocussão). Esta monitorização abrange uma fracção significativa da RNT (entre 20 a 25% da rede) e pode ser feita apenas por anotação em texto ou com recurso a câmaras de vídeo montadas em helicóptero ou a fotografias digitais de alta resolução (como na Fig. 2-(a)). Nesta inspecção, dita "de ninhos", regista-se para cada poste de Muito Alta Tensão (MAT): a) quantos ninhos há; b) se têm suporte ou não; c) se estão ocupados ou não.
Actualmente, tal contagem é feita visualmente por um operador numa inspecção dedicada. Idealmente, devia ser feita de modo automático a partir das imagens vídeo produzidas durante uma inspecção aérea regular às linhas (evitando as inspecções de ninhos), com benefícios económicos e ambientais.
Nesse sentido, a Albatroz iniciou estudos para o desenvolvimento duma ferramenta capaz de identificar ninhos de cegonhas e plataformas de suporte em postes MAT a partir duma sequência vídeo sobre uma linha eléctrica aérea. Estas linhas são apoiadas em postes de diferentes modelos (e.g. Fig. 2), ao longo de Portugal continental, atravessando os mais variados tipos de terreno e de ocupação humana.

Fig. 2–(a). Plataforma e ninho

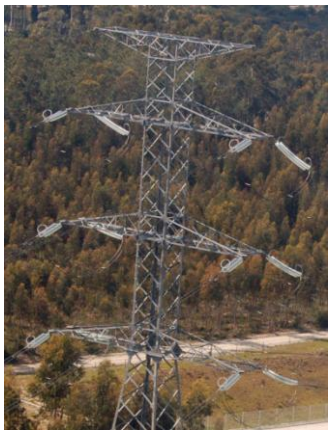
Fig. 2–(b). Torre

Fig. 2–(c). Imagem de vídeo com ninhos

As inspecções regulares são efectuadas por um helicóptero voando a cerca de 70 km/h a aproximadamente 40 metros acima das linhas. O vídeo daí gerado contém 25 imagens coloridas (de 704x576 *pixels*) por segundo (a Fig. 2-(c) mostra um detalhe duma tal imagem).

### 3.1 Implementação

A nossa primeira implementação baseou-se no modelo de torres apresentado na Fig. 2-(c) por ser o mais comum em Portugal e o único para o qual tínhamos amostras de vídeo na altura.
Para a identificação automática de ninhos, começámos por tentar fazê-lo a partir duma só imagem parada extraída dum vídeo. Para tal, aplicámos diferentes técnicas de processamento de imagem para: 1º) localizar a torre; e 2º) identificar ninhos na sua estrutura.
A resolução desta tarefa para as nossas amostras revelou-se longe de trivial, devido à variedade de *a*) tipos de fundo; *b*) ângulos e distância de visão; e *c*) cores, brilho, e nitidez da imagem. Estes factores assumem especial importância, uma vez que as torres não possuem uma superfície simples, sendo antes compostas como que por um conjunto de "tubos" ligados, constituindo uma estrutura fina face às suas dimensões, formando grandes espaços vazios.

Assim, recorrendo ao MATLAB® (www.mathworks.com), primeiramente é removido algum "ruído" por filtragem dos pontos, que no sistema de cores HSV (Hue,Saturation,Value) não tenham uma saturação baixa e um valor alto (correspondendo aos intervalos possíveis para os pontos pertencentes a torres nas nossas imagens). Depois a imagem é convertida para níveis de cinzento, aumentando-se a sua nitidez e realçando as arestas, através dos filtros de imagem *sharpen* e *edges*. Procura-se então o topo da torre principal na imagem (poderá ser visível mais do que uma torre, ou nenhuma), assumindo que terá um troço horizontal e (pelo menos) duas linhas verticais que o intersectam simetricamente segundo um ângulo conhecido.
Sem entrar em detalhes, por falta de espaço, usamos a Transformada de Hough [6] para extrair as linhas horizontais e verticais e, com base nas suas intersecções, ângulos, posições, e quantidade, restinge-se o espaço de procura de ninhos à área identificada como o topo da torre. Essa área é ainda dividida em secções (os "braços", a parte horizontal central, as partes verticais, e as de intersecção) e, a partir da imagem original, nessa localização são aplicados novos filtros em cada secção para detecção de regiões, que com base nas suas características (forma, tamanho, orientação) são eventualmente classificadas como ninhos ou plataformas (ou simples parte da torre). Esta classificação depende também das características de cada secção, daí essa divisão.
É importante não repetir este procedimento para cada imagem da sequência vídeo, pois torna-se computacionalmente muito pesado. Há também que ter cuidado para não contabilizar mais do que uma vez os dados relativos a uma mesma torre. Para uma sequência de imagens referentes à mesma torre, há também que escolher uma (ou um subconjunto) para daí decidir que ninhos há nessa torre. Este processo de escolha não foi ainda implementado. Temos assim apenas resultados relativos a processamento de imagens individuais. Adicionalmente, deveria ser verificado, para cada ninho, se está ocupado ou não. No entanto, tal não se mostrou viável perante a qualidade das imagens de vídeo.

### **3.2** Resultados

Os resultados neste momento ainda são escassos e bastante preliminares, sendo melhores na parte de detecção de torres, porventura mais fácil e para a qual maior tempo foi dedicado até agora, nesta fase. Cada torre duma sequência vídeo é, habitualmente, correctamente identificada, e raramente é detectada uma torre numa imagem, se esta a não tiver. No entanto, ainda é possível ocorrer a identificação duma torre inexistente, bem como não identificar uma torre efectivamente presente (em certas condições de visibilidade e ângulo de visão). Para uma só imagem, com uma torre detectada, o processo de detecção de ninhos e plataformas ainda está longe do ideal, e restrito a uma zona limitada da torre, podendo também facilmente obter tanto falsos positivos como falsos negativos. Na Tabela I apresentamos o resultado da identificação automática em 9 imagens diferentes (tiradas da sequência vídeo com intervalos de 10 imagens) duma torre que, na realidade, tem 1 ninho e 3 plataformas (verificado por inspecção visual humana dessas mesmas imagens).

TABELA I. IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE NINHOS E PLATAFORMAS

| | *#1* | *#2* | *#3* | *#4* | *#5* | *#6* | *#7* | *#8* | *#9* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ninhos | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| plataformas | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 |

Eventualmente, a partir deste conjunto de dados, analisados globalmente, poder-se-ia chegar aos valores correctos (1 e 3). Para tal, seria necessário concluir que o ninho extra em #7 se deveu a um erro (não tem suporte nas outras amostras), e que de todas as plataformas identificadas ao longo das imagens haveria de facto 3, por análise das suas localizações. É apenas uma hipótese, havendo ainda muito trabalho por fazer.

## 4 A CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL NO CÁLCULO DOS ÍNDICES DE RISCO

Com o aumento de consumo, a REN Eléctrica irá sendo chamada a aumentar a intensidade de uso dos activos da RNT. Para que se possam reduzir com segurança as folgas em uso, é necessário um conhecimento actual do estado dos activos e um modelo de risco fundamentado, verificado e melhorado ao longo do tempo para cada activo, incluindo a sua relação com a envolvente. O empenho permanente da REN na minimização de avarias tem levado a que os componentes e acessórios dos circuitos de linha e apoios não sejam as principais causas de incidentes ou saídas imprevistas de linhas. Estas resultam, pelo contrário, de fenómenos relacionados com o meio em torno das linhas da RNT. A principal fonte ambiental de interferência na exploração da RNT é a vegetação circundante, em especial as árvores de grande porte. Note-se que nesta

definição de ambiente também se incluem as cegonhas e fenómenos naturais, como as trovoadas, bem como fenómenos de índole humana como as construções, a poluição ou os incêndios.
Registando numa base de dados as características ambientais da faixa ao longo de cada linha, vão a vão, em termos de vegetação (vegetação dominante, e determinação de risco), cegonhas (determinado pelos ninhos identificados), urbanização, risco de incêndio, poluição e índice ceráunico, os riscos (de quebra de serviço) podem ser determinados a partir desses dados.

A REN apontou as cinco causas ambientais que são os principais focos de atenção: o controlo da vegetação e do estado da faixa em geral; as aves que pousam e nidificam nos apoios; a poluição que se deposita nos equipamentos, com destaque para os isoladores; as descargas atmosféricas e os incêndios florestais. O estado de ocupação da faixa, a caracterização e controlo do crescimento da vegetação, virão dos dados ITOMS, juntamente com registos históricos. O caso das aves que nidificam nos apoios foi tratado na secção anterior. Outros três factores (poluição, descargas e incêndios) representam uma área que é muito nova para os envolvidos e na qual há ainda muitas dúvidas nas pistas de I&D a seguir. Para já, procurar-se-á apenas fazer a introdução de dados no sistema de representação de activos.
Com base em todos estes dados ao nível de cada vão, juntamente com as características da linha e da zona, e dos registos históricos, pretende-se determinar a probabilidade de falha nesse vão (com a consequente saída de serviço da linha) ao longo do tempo (na hipótese de ausência de manutenção), e daí inferir a probabilidade de falha da linha no seu todo (agregando todos os seus vãos). As falhas consideradas são devidas à proximidade de obstáculos ou outros factores ambientais, conforme já discutido.
Aqui procura-se tirar partido duma infraestrutura informática de representação de activos, com todos estes dados ambientais e registos históricos, para explorar análises complexas e ricas de correlação de dados. Diferentemente das abordagens típicas dos sistemas de informação geográfica, trata-se de sobrepor camadas com diferente informação, principalmente destinada ao processamento numérico automático intenso.

A análise linha a linha pode ser inspirada na metodologia CBRM [7][8] introduzida pela empresa EA Technology. Um dos nossos objectivos será generalizar as abordagens estatísticas, quer CBRM quer outras que entretanto se usem, à optimização de sub-redes ou até de toda a RNT. A título de exemplo, pode-se sugerir a análise sistemática histórica de anomalias para detecção de padrões comuns de falha e a, partir daí, inferir as suas causas (cf. [5] pág. 7).
Tendo a distribuição temporal da probabilidade de falha (naturalmente varia com o tempo, devido ao crescimento da vegetação, e a variações sazonais), pode ser calculado um índice de risco numérico simples para cada linha. O índice de risco é uma função que combina a probabilidade de falha, valor/prejuízo das ocorrências e tempo de exposição.
A probabilidade de falha (por exemplo, durante o 1º ano) é calculada a partir de dados experimentais ou por modelos indutivos. Para o cálculo da probabilidade de falha ao nível de cada vão, deverá ser desenvolvido um modelo matemático de complexidade crescente: inicialmente considerar-se-á apenas o estado da vegetação, acrescentando-se depois outras variáveis e registos históricos. O modelo será validado e refinado com base também em registos históricos, aplicando-se o cálculo a estados passados e verificando globalmente a precisão das previsões para as falhas que tenham ocorrido (ou não), sempre que aplicável.
O valor/prejuízo das ocorrências é calculado a partir do custo de acidentes pessoais, e prejuízos sobre a propriedade de terceiros, energia não fornecida, penalidades relacionadas com o Tempo de Interrupção Equivalente e clientes especiais. O tempo de exposição é calculado a partir de dados práticos de exploração ou inspecção ou de fontes terceiras (e.g., número de dias de chuva, número de horas de operação das linhas).

## 5 CASOS PRÁTICOS

### 5.1 Descrição geral dos índices

A Fig. 3 apresenta os resultados da metodologia proposta para classificação de uma linha eléctrica de 220kV na Região “Montanhas”. Cada célula colorida representa um vão.
Na primeira linha verifica-se que a linha eléctrica atravessa zonas marcadamente rurais (verde) e no final atravessa zonas mistas (anil) terminando numa zona urbana (azul). Trata-se de uma central à beira do rio Douro, onde existe uma pequena cidade.
A segunda linha representa o ritmo de crescimento; usa uma palete de cores que começa a verde (crescimento lento) e termina em vermelho escuro (crescimento rápido). A linha eléctrica atravessa zonas de

vegetação dominante de crescimento lento ou médio com vãos localizados de crescimento rápido. Estes coincidem normalmente com cursos de água ou com povoações onde se plantam espécies exóticas para satisfazer os cidadãos (parques de lazer, árvores decorativas, *etc.*).
A terceira linha representa a densidade de vegetação e segue um gradiente de cores semelhante ao anterior: verde corresponde a baixa densidade e vermelho à densidade máxima. Nota-se que a maior parte da linha tem uma ocupação elevada para o padrão "Montanhas". As excepções correspondem à transposição de zonas de altitude em que o solo só apresenta vegetação rasteira e algumas zonas mistas ou urbanas em que a vegetação se resume a jardins e hortas com vegetação arbustiva ou de pequeno porte.

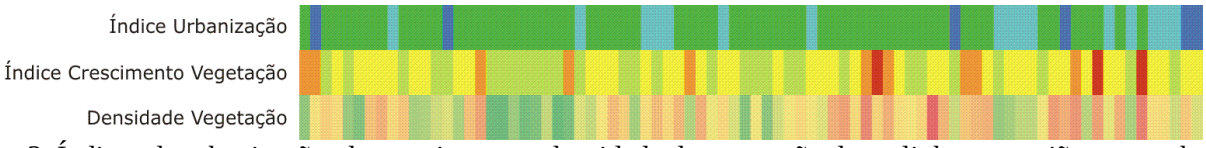

Fig. 3. Índices de urbanização, de crescimento e densidade da vegetação duma linha em região montanhosa

### 5.2 Validação dos modelos de taxa de crescimento

Os autores procurarão tirar partido de futuros levantamentos – para fins de ITOMS, por exemplo – para validarem os modelos de crescimento da vegetação. Para tal, pode usar-se um método exaustivo designado por Digital Surface Model em que se compara as superfícies de copa da vegetação em dois levantamentos consecutivos ou, tirando partido do facto destes dados serem adquiridos para manutenção da vegetação das linhas, usar um método por amostragem, medindo apenas as taxas de variação de distância à vegetação referidas nos relatórios de inspecção de anos diferentes. Esta solução é numericamente mais leve e responde directamente às necessidades de exploração das linhas.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

É de realçar que os trabalhos se basearam em dados adquiridos em inspecções de linhas destinadas à manutenção da rede eléctrica o que, se por um lado condiciona os parâmetros de aquisição, por outro reduz os custos económicos e ambientais do processo ao dispensar novos trabalhos no campo. Este princípio de reutilização de dados ao longo do tempo, do espaço, e para várias finalidades, tem sido seguido pelos autores e empresas com eles envolvidas com ganhos importantes na redução da "pegada ambiental" da inspecção e melhoria da eficiência económica e na profundidade do conhecimento do estado das infraestruturas [1].

### 6.1 Conclusões

Através da introdução da tecnologia LiDAR foi possivel obter em 2008, de forma precisa, a caracterização da zona arborizada, com base no crescimento das espécies no corredor das linhas. Na Fig. 4 mostra-se a comparação com os resultados obtidos em 2006 (com processos tradicionais).

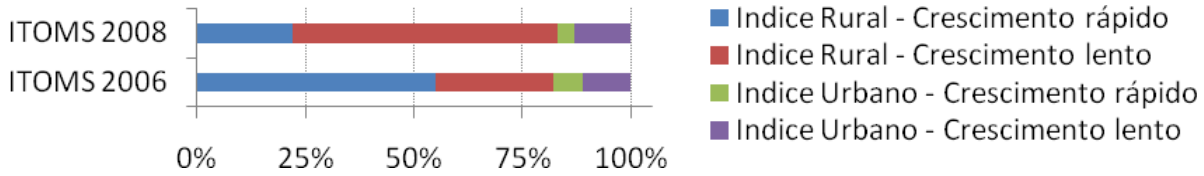

Fig. 4. Comparação entre caracterização da faixa efectuada para o ITOMS 2006 e 2008, tendo em conta os indices de urbanização e de crescimento da vegetação

No que respeita ao benchmarking ITOMS, com a introdução desta nova tecnologia, a REN passou a usufruir de informação com uma maior exactidão e rigor do que possuía anteriormente, autenticando assim o processo comparativo em que assenta o benchmarking.
Por outro lado, este método permite à REN optimizar os seus processos de políticas de inspecções, dando assim um passo em frente na busca por medidas que visem a redução do impacto da vegetação nas linhas de transporte de energía eléctrica, nomeadamente na adopção de práticas de corte selectivo da vegetação, sendo alvo de intervenção apenas as árvores e os ramos que se encontrem na zona de proximidade crítica da linha. Desta forma são obtidos resultados mais eficazes (maior fiabilidade) e mais eficientes (menor custo).

### 6.2 Pistas de investigação

Uma das maiores incertezas na caracterização do coberto vegetal reside na classificação entre crescimento lento, médio e rápido. Os métodos utilizados em 2008/09 baseiam-se primordialmente na identificação da espécie, ignorando a possibilidade de uma mesma espécie apresentar diferentes ritmos de crescimento em diferentes ambientes. Como a recolha de dados sensoriais é feita a intervalos regulares, deverá ser possível aferir o crescimento real das populações de cada espécie em cada local e a sua variação em função do clima anual, o que produzirá resultados mais fiáveis e interessantes até para estudos de silvicultura.

A descrição ambiental das faixas de servidão criada para o ITOMS, combinada com outros elementos de manutenção da vegetação e de exploração da rede permitirá criar modelos de risco para optimização da exploração da RNT. Estas ferramentas, que podem usar-se apenas com as variáveis de vegetação ou combinar descritores do estado "eléctrico" dos activos serão posteriormente usadas para dirigir os recursos de manutenção de forma óptima, para calcular os pontos da rede que constrangem a capacidade de transmissão de energia e para calcular os graus de robustez da linha [9].
Neste modelo, são consideradas cinco principais causas ambientais (em sentido lato) como factores de risco:

1. o controlo da vegetação e do estado da faixa em geral;
2. as aves que pousam e nidificam nos apoios;
3. a poluição que se deposita nos equipamentos (com destaque para os isoladores);
4. as descargas atmosféricas (trovoadas, dadas por índice ceráunico);
5. os incêndios florestais

A informação referente a (1), com vegetação dominante e ritmo de crescimento, para cada vão, virá dos dados ITOMS, juntamente com registos históricos. Para (2), procuramos caracterizar a população de cegonhas nas linhas, através da identificação automática de ninhos nos apoios, por processamento duma sequência de vídeo, proveniente duma inspecção aérea regular. Aqui há que continuar a investigação nos trabalhos preliminares já efectuados, para obtenção de resultados suficientemente fiáveis e eficientes. Para os pontos 3, 4, e 5, haverá muitas possibilidades de investigação, mas começaremos apenas por introduzir dados disponíveis.
Ainda para o controlo da vegetação, há também mais trablho e investigação a fazer para refinar a identificação de espécies, e a automatização do cálculo dos índices. A modelação do risco de exploração de rede será mais desenvolvida, bem como a determinação do efeito das cegonhas, o que permitirá por sua vez desenvolver ferramentas de optimização a vários níveis para a exploração da rede de transporte de energia eléctrica.

## 7 REFERÊNCIAS


[1] J. Gomes-Mota, A. Vale, A. Matos-André, M. I. Ribeiro, "Taking Accurate Measurements of High Voltage Installations with Laser Range Scanners and GPS", CE B2 CIGRÉ, Paris, Agosto 2006.

[2] J. Gomes-Mota, "Integrated, Flexible and Real Time Inspection of Overhead Lines", *Power Industry International*, Vol. 2 – Número 1, pp. 67-69, ISSN: 1754-6141, Touch Briefings Ltd. 2010.

[3] ITOMS, http://www.umsgroup.com/ums_static/itoms.asp, último acesso: Out.2010.

[4] Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão, Lei 1/1992, 18.Jan.

[5] J. Gomes-Mota, Miguel Ramos, A. Matos-André, "Geographical Information Tools for Overhead Lines Preventive Maintenance", CE B2 CIGRÉ, Paris, Agosto 2008.

[6] Duda, R. O. and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Comm. ACM*, Vol. 15, pp. 11–15, Jan. 1972

[7] David Hughes, "Control Based Risk Management (CBRM) - Enabling Asset Condition Information to be central to Corporate Decision Making", *CIRED2005*, Turim, Jun. 2005.

[8] Graham Earp, "Condition Based Risk Assessment of Electricity Towers using High Resolution Images from a Helicopter", *CIRED2005- 18th International Conf. on Electricity Distribution*, Turim, Jun. 2005.

[9] F. Azevedo, J. Gomes-Mota, "A Time and Space Framework for Overhead Grid Maintenance Optimisation", *Modern Energy Review*, Vol. 2 – Número 1, pp. 95-99, ISSN 2041-9570, 2010.