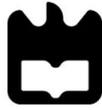




**Nuno Ricardo  
Silva Barraca**

**Aplicação da técnica Georadar à reabilitação de  
património edificado**



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências  
2013

**Nuno Ricardo  
Silva Barraca**

## **Aplicação da técnica Georadar à reabilitação de património edificado**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Doutor Manuel João Senos Matias, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Dedico esta dissertação à minha namorada, Patrícia, e aos meus pais, João e Noémia.

## **o júri**

presidente

**Prof. Jorge Manuel Girão Medina**  
Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

vogais

**Prof. Manuel João Senos Matias**  
Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Humberto Salazar Amorim Varum**  
Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Fernando Ernesto Rocha de Almeida**  
Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas sem as quais este trabalho nunca teria sido possível e pelo qual estou extremamente grato.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Manuel Senos Matias, pela sua orientação, apoio e revisão deste trabalho.

Agradeço à Dryas Octopetala por me acolherem e pela oportunidade que me concederam de realizar este trabalho. Agradeço especialmente ao Miguel Almeida e à Lília Basílio pela orientação e revisão, ao Nuno Cortês pelo trabalho que despendeu na elaboração dos modelos CAD e à Ana Eduarda pelo trabalho de arranjo gráfico na apresentação. Não posso também deixar de agradecer a todos os meus colegas de trabalho pela camaradagem criada dentro da empresa, sem a qual este meu trabalho teria sido muito mais difícil.

Agradeço à associação InovaDomus, pela iniciativa criada que possibilitou a elaboração deste trabalho, por todo o apoio e disponibilidade demonstrados a quando das campanhas de aquisição e pela divulgação do mesmo.

Agradeço ao Professor Doutor Fernando Almeida por todo o apoio dado durante a realização deste trabalho, bem como ao Luís Café pela ajuda indispensável que me prestou durante a aquisição dos dados.

Agradeço à minha namorada, pelo apoio incondicional sem o qual certamente nunca teria concluído este trabalho.

Agradeço ao meu irmão pela amizade, apoio e ajuda, não esquecendo o seu contributo na revisão estrutural deste trabalho.

Por fim, agradeço aos meus Pais. É impossível escrever o agradecimento que tenho ao apoio por eles dado para que fosse possível concluir este trabalho.

A todos um Muito Obrigado.

## palavras-chave

Geofísica, Georadar, Superfície, Reabilitação, Edificado.

## resumo

A reabilitação tem vindo a ganhar importância na construção civil em Portugal. Esta reabilitação, particularmente no caso do património edificado, deve ser feita por forma a garantir a preservação das características do imóvel, preservando assim a identidade da arquitetura das nossas cidades.

Para que a reabilitação de um edifício seja adequadamente efectuada é necessário que o seu estudo seja adequado, nomeadamente no que diz respeito à caracterização dos materiais de construção, alterações ao edifício, estado das fundações, patologias e características do terreno no qual ele assenta. Este estudo irá contribuir para que a reabilitação do edifício seja feita de forma a manter os seus traçados originais e, ao mesmo tempo, proporcionando uma recuperação economicamente viável. Para esse efeito é necessário recorrer à utilização de técnicas não destrutivas, nas quais o Georadar se apresenta com uma relevância particular dada a sua facilidade de aplicação e fiabilidade de resultados.

Neste trabalho foi aplicada a técnica do Georadar num edifício do início do século XX situado em Ílhavo. Este edifício é um excelente exemplo da *Art Déco* tardia em Portugal e tem sido usado pela Associação InovaDomus como um laboratório para experimentação de novas técnicas aplicadas à reabilitação do edificado.

Os resultados da prospecção Geofísica efectuada neste edifício permitiram identificar infraestruturas (tubagens e cablagens eléctricas), paredes removidas, elementos construtivos, diferentes tipos de alvenaria nas paredes, manchas de alteação no interior das paredes e uma caracterização geológica do local. Assim foi possível concluir que a técnica do Georadar é uma mais-valia na caracterização do edificado, tendo devido à sua flexibilidade de aplicação, como à economia de recursos que poderá ser alcançada.

**keywords**

Geophysics, Georadar, Rehabilitation, Rehabilitation, Buildings.

**abstract**

Rehabilitation has been gaining importance in the construction industry in Portugal. This rehabilitation, particularly in the case of the built heritage, should be made to ensure the preservation of its characteristics, thereby preserving the architectural identity of our cities.

For the rehabilitation of a building, it is required that this building is adequately studied, in particular the characteristics of building materials, changes to the original design, foundations state, pathologies and characteristics of the ground on which it rests. This study will ensure that the restoration of the building is taken maintaining the original features and, at the same time providing an economically feasible recovery. For this it is necessary to resort to non-destructive techniques in which the Georadar presents itself with particular relevance given its ease of implementation and reliability of results.

In this work, the Georadar was applied to a building of the beginning of XX century located in Ílhavo. This building is an excellent example of the late *Art Déco* in Portugal and has been used by the InovaDomus Association as a laboratory for the experimentation of new techniques applied to urban rehabilitation.

With the results of this Geophysical campaign it was possible to identify infrastructures (pipes and electrical wiring), removed walls, building elements, different types of masonry in the walls, stains inside the walls and a geological characterization of the site. Thus it was concluded that the Georadar is an asset in building characterization, due to its flexibility of application and by the resource savings that can be achieved.

# Índice

1. Introdução .....	6
2. O Georadar .....	8
3. O Estado da Arte .....	11
4. Trabalho realizado.....	15
4.1. Enquadramento da aquisição.....	15
4.2. Objectivos da Prospecção Geofísica.....	16
4.3. Estratégia, equipamento e métodos utilizados.....	17
4.3.1. Estratégia dos trabalhos de campo.....	17
4.3.1.1. Polígono A1 (Figura 5).....	21
4.3.1.2. Polígono A2 (Figura 5).....	21
4.3.1.3. Polígonos A3 e A4 (Figura 5).....	21
4.3.1.4. Polígonos E1 e E2 (Figura 5).....	22
4.3.1.5. Polígono V1 (Figura 6).....	22
4.3.1.6. Linhas L1 e L2 (Figura 6).....	23
4.3.1.7. Polígono P1 (Figura 9).....	23
4.3.1.8. Polígono P2 (Figura 10).....	24
4.3.1.9. Polígono P3 (Figura 11).....	25
4.3.1.10. Polígono P4 (Figura 12).....	26
4.3.1.11. Polígono P5 (Figura 13).....	27
4.3.1.12. Polígono C1 (Figura 15).....	28
4.3.1.13. Polígono PE1 a PE6 (Figura 5 e Figura 6).....	28
4.3.2. Equipamento e <i>software</i> de processamento de dados.....	29
4.3.3. Metodologia de processamento de dados geofísicos.....	29
4.4. Resultados da prospecção .....	30
4.5. Interpretação dos Resultados .....	31
4.5.1. Polígono A1.....	31
4.5.2. Polígono A2.....	36
4.5.3. Polígono A3.....	39
4.5.4. Polígono A4.....	41
4.5.5. Polígono E1.....	42
4.5.6. Polígono E2.....	45
4.5.7. Polígono V1.....	48
4.5.8. Linhas L1 e L2.....	51

4.5.9.	Polígono P1 .....	51
4.5.10.	Polígono P2.....	53
4.5.11.	Polígono P3.....	54
4.5.12.	Polígono P4.....	55
4.5.13.	Polígono P5.....	56
4.5.14.	Polígono C1.....	57
4.5.15.	Polígono PE1 .....	58
4.5.16.	Polígono PE2.....	59
4.5.17.	Polígono PE3.....	60
4.5.18.	Polígono PE4.....	61
4.5.19.	Polígono PE5.....	62
4.5.20.	Polígono PE6.....	63
5.	Considerações Finais e Conclusões .....	64
6.	Bibliografia.....	65

# Índice de Figuras

Figura 1: Onda directa e a onda emitida/reflectida.....	8
Figura 2: Vários tipos de dispersão: a) reflexão; b)Refracção; c)Difracção; d)Ressonância (adaptado de Daniels, 2000).....	9
Figura 3: Localização do edifício ReabilitaDomus no centro de Ílhavo (Retirado de Google Earth). .....	15
Figura 4: Edifício do projecto ReabilitaDomus .....	16
Figura 5: Polígonos adquiridos no piso térreo do edifício.....	18
Figura 6: Polígonos e perfis adquiridos no segundo piso do edifício. Os perfis L1, L2 (a negro) e o polígono V1 (a azul) foram adquiridos a 800MHz. Os polígonos V1_1 (vermelho) V1_2 (verde) e V1_3 (amarelo) foram adquiridos a 1.6GHz.....	19
Figura 7: Polígonos adquiridos no alçado NE do edifício. (a vermelho: PE1, a azul: PE2, a castanho: PE3, a verde PE4 e a roxo: PE5) .....	20
Figura 8: A amarelo: polígono adquirido no alçado NW do edifício (PE6). .....	20
Figura 9: Parede onde se procedeu à aquisição do polígono P1.....	23
Figura 10: Parede onde se realizou a aquisição do polígono P2. (A cartolina ao centro foi usada para que a antena do GPR pudesse ultrapassar o obstáculo provocado por um fio eléctrico).....	24
Figura 11: Parede onde se procedeu à aquisição do polígono P3.....	25
Figura 12: Aspecto da parede onde se adquiriu o polígono P4.....	26
Figura 13: Polígono de aquisição P5 (ao centro, marcado com a cartolina). .....	27
Figura 14: Polígono de aquisição C1 (marcado com a cartolina). .....	28
Figura 15: Aquisição com antena de 800MHz na configuração de mochila e antena com odómetro acoplada (à esquerda); antena blindada de 1,6GHz montada no MALÀ HF mini-cart (à direita). .....	29
Figura 16: Adaptação de uma hipérbole de difração para uma velocidade de propagação da onda EM de 0,11m/ns.....	31
Figura 17: Time Slice 1,892 (-0,1m) do polígono A1. (a marcados a vermelho são marcados os alinhamentos que deverão corresponder a infraestruturas eléctricas.)	32
Figura 18: Time Slice 3,026 (-0,17m) do polígono A1 (a estão marcados os as infraestruturas eléctricas também registadas na imagem anterior; a vermelho é marcado um alinhamento correspondente a uma canalização).....	33
Figura 19: Time Slice 6,904 (-0,38m) do polígono A1 (a marcadas estão identificadas duas anomalias correspondentes às fundações de uma parede removida).....	34
Figura 20: Time Slice 9,363 (-0,51m) do polígono A1 (no canto inferior direito, a amarelo, está uma anomalia que corresponder às fundações de uma escadaria removida).....	35
Figura 21: Time Slice 7,188 (-0,39m) do polígono A2 (a amarelo: alinhamento que poderá corresponder a uma fundação de uma parede; a laranja: pilar de suporte onde não se procedeu a aquisição).....	36
Figura 22: A amarelo está marcada a hipérbole de direcção originada por uma tubagem no radargrama 4610.....	37
Figura 23: Localização do radargrama 4610 em relação os restantes radargramas do polígono A2.....	37
Figura 24: Time Slice 11,63 (-0,63m) (a vermelho: alinhamento concordante com uma tubagem de saneamento). .....	38

Figura 25: Time Slice 2,459 (-0,13m) do polígono A (marcados a vermelho estão um alinhamento e uma anomalia).....	39
Figura 26: Time Slice 5,013 (-0,28m) do polígono A3 (anomalias marcadas a vermelho e amarelo).....	40
Figura 27: Time Slice 17,31 (-0,86 metros) do polígono A3 (a vermelho está marcada uma anomalia correspondente às fundações do edifício).....	40
Figura 28: Time Slice 16,46 (-0,9m) com os diversos alinhamentos e anomalias.....	41
Figura 29: Adaptação de uma hipérbole de difração para uma velocidade de propagação da onda EM de 0,09m/ns.....	42
Figura 30: Radargrama 4685 do Polígono E1 (neste radargrama está marcado a vermelho um reflector sobreposto a uma hipérbole a qual deverá corresponder a uma estrutura antrópica; a amarelo uma estrutura em forma de vale e a azul uma região com mais atenuação).....	43
Figura 31: Polígono E1 (a castanho) com marcação dos perfis 4685 (a vermelho) e 4690 (a azul). ....	43
Figura 32: Radargrama 4690 da área E1 (a vermelho esta marcado um reflector correspondente à base da laje de cimento; a verde é marcado um nível mais irregular; a azul está marcado um nível com uma maior atenuação possivelmente correspondente ao nível freático ou a um nível mais argiloso).....	44
Figura 33: Time Slice 32,52 (-1,46m) do polígono E2 (à direita é possível identificar um alinhamento possivelmente relacionado com a escadaria removida do edifício). ....	44
Figura 34: Radargrama 4696 (Polígono E2) com a adaptação de hipérboles de difração à velocidade de propagação das ondas EM.....	45
Figura 35: Radargrama 4696 (a vermelho) relativamente ao polígono E2 (a verde). ....	45
Figura 36: Radargrama 4696 (Polígono E2). ....	46
Figura 37: Time Slice 0,985 do polígono E2 (-0,04m). (é possível identificar o efeito provocado pelas tampas metálicas de acesso a infraestruturas a negro).....	46
Figura 38: Time Slice 16,19 (0,81m) do polígono E1 (a vermelho está marcada uma anomalia causada pela escavação de implementação de um sinal luminoso). ....	47
Figura 39: Time Slice 29,42 (-1,47m) do polígono E2 (marcado a vermelho é visível a anomalia causada por uma infraestrutura presente). ....	47
Figura 40: Determinação da velocidade de propagação das ondas EM no polígono V1 através da adaptação de hipérboles de difração. ....	48
Figura 41: Time Slices 3,026 (-0,21m) do polígono V1. Em cima: Time Slice correspondente à aquisição paralela ao alongamento da área. Em baixo: aquisição perpendicular à anterior.....	49
Figura 42: Composição 3D dos Time Slices do polígono V1_1 (é possível verificar que o espaçamento entre barras de aço é de 0,1m).....	49
Figura 43: Composição 3D dos Time Slices do polígono V1_2 (é possível verificar uma maior complexidade na malha de ferro).....	50
Figura 44: Composição 3D dos Time Slices do polígono V1_3 (é possível identificar um maior espaçamento da malha de aço que neste caso é de aproximadamente 0,2m)... ..	50
Figura 45: Radargramas correspondentes ao perfil L1 (em cima) e L2 (em Baixo) (a amarelo estão assinaladas as paredes exteriores do edifício; a azul a área de soalho em madeira e a vermelho a zona correspondente à varanda SE do edifício).....	51
Figura 46: Time Slice 0,9387 (-0,05m) do polígono P1 (a vermelho está marcado um exemplo de um tijolo da alvenaria).....	52

Figura 47: Time Slice 2,619 (-0,13m) do polígono P1 (a negro (A) é apresentada uma anomalia que aparenta estar relacionada com uma infiltração de água na parede)....	52
Figura 48: Time Slice 1,235 (-0,06m) do polígono P2 (identifica-se a disposição e dimensão da alvenaria. O alinhamento vertical representa um fio eléctrico presente à superfície). .....	53
Figura 49: Time Slice 3,360 (-0,17 metros) do polígono P2. (Para além do alinhamento anteriormente identificado, à esquerda é possível verificar um outro alinhamento que corresponderá ao encaixe de uma parede perpendicularmente à aquisição.) .....	54
Figura 50: Time Slice 1,038 (-0,05m) do polígono P3. (É possível verificar dois tipos de alvenaria distintos (separado pela linha a vermelho) bem como, à direita, a presença de um pilar de suporte.) .....	54
Figura 51: Time Slice 1,828 (-0,09m) do polígono P3. (É possível verificar a presença de um alinhamento vertical ao centro correspondente ao encaixe de uma parede.) ..	55
Figura 52: Time Slice 1,285 (-0,06m) do polígono P4, no qual é possível caracterizar a alvenaria.....	55
Figura 53: Time Slice 0,3115 (-0,02m) do polígono P5. (É possível verificar as anomalias causadas pela presença de fracturas na parede.) .....	56
Figura 54: Time Slice 2,668 (-0,13m) do polígono C1. (É possível identificar claramente a alvenaria presente.) .....	57
Figura 55: Time Slice 1,136 (-0,06m) do polígono PE1. (É possível verificar dois tipos distintos de alvenaria, sendo a que se encontra mais à esquerda (a negro) correspondente a alvenaria moderna.) .....	58
Figura 56: Time Slice 1,235 (-0,06m) do polígono PE2.....	59
Figura 57: Time Slice dos 0,988 (-0,05m) do polígono PE3. Neste é apenas possível verificar alguns alinhamentos(a negro) que deverão corresponder ao espaçamento entre a alvenaria.....	60
Figura 58: Time Slice 1,087 (-0,05m) do polígono PE4. (Os resultados evidenciam a presença de alvenaria original do edifício).....	61
Figura 59: Time Slice dos 4,249 (-0,2m) do polígono PE5.....	62
Figura 60: Time Slice 1,285 (-0,06m) do polígono PE6. (É possível verificar a presença de apenas um tipo de alvenaria.) .....	63

# 1. Introdução

A construção civil no nosso país depara-se actualmente com um grande dilema. Por um lado a construção nova está em crise e por outro lado a indústria da reabilitação ainda não está devidamente implementada em Portugal.

Os centros históricos das cidades portuguesas apresentam um grande número de edifícios em grave estado de deterioração. Frequentemente a solução para este problema é a simples demolição e construção de edifícios novos. Assim destruímos património e descaracterizamos as nossas cidades e poderemos estar a optar por uma solução que acaba por ser mais cara.

É neste ponto que a reabilitação do edificado poderá ser uma mais-valia. No entanto esta reabilitação não pode ser uma intervenção cega na tentativa de recuperação do edificado sem uma norma e estudo prévio. A reabilitação tem de ser efectuada seguindo regras e tentando dentro do possível manter a identidade dos edifícios e a possibilidade de reversão das alterações efectuadas. Para isso é necessário um estudo correcto do edifício, das técnicas de construção, estado de conservação, alterações à construção original e utilização pretendida.

É aqui que entra a geofísica como uma mais-valia. Com os métodos geofísicos é possível fazer uma caracterização não destrutiva dos materiais de construção, alterações ao edifício, estado das fundações, patologias e características do terreno no qual ele assenta.

Com este trabalho pretende-se apresentar um caso de estudo em que se aplicou o método geofísico do Georadar (GPR) por forma a caracterizar o edifício do projecto ReabilitaDomus da associação InovaDomus e assim demonstrar a aplicação dos métodos geofísicos neste tipo de monumentos.

Com este método pretendeu-se determinar: a composição das paredes do edifício, elementos construtivos removidos, localização de infraestruturas eléctricas e canalizações, patologias no edificado e o estado das fundações.

Para esse efeito procedeu-se a uma campanha de aquisição Geofísica por Georadar usando várias antenas e diferentes metodologias de aquisição. As antenas aplicadas a cada estudo em particular foram escolhidas consoante o objectivo da aquisição. Para o estudo de infraestruturas eléctricas, canalizações e elementos construtivos removidos no interior do edifício, uma vez que se esperava que estas estruturas estivessem a uma pequena profundidade, aplicou-se uma antena de 800MHz cuja profundidade máxima de investigação nas condições da campanha se estimaram em 2 metros. No caso das aquisições levadas a cabo no exterior do edifício, como o objectivo foi o estudo da geologia, optou-se por uma antena de 500MHz uma vez que a sua capacidade de penetração pode atingir os 4 metros. Para a caracterização mais detalhadas das paredes e de uma varanda aplicou-se uma antena com frequência central de 1.6GHz. Embora esta antena tenha uma penetração máxima que se estima

inferior a 1 metro, permite uma grande resolução na aquisição. Na escolha de antenas de GPR tem sempre de se ter em conta que quanto maior é a frequência central de uma antena maior é a sua precisão, no entanto este aumento da precisão é alcançado em detrimento da sua capacidade de penetração do sinal.

Este trabalho consiste numa introdução ao método do GPR, seguida de um enquadramento histórico e estado actual da arte no que respeita à sua aplicação na reabilitação edificado. Seguidamente será apresentada uma descrição das áreas adquiridas e metodologias aplicadas em cada uma delas. Por últimos serão apresentados e discutidos os resultados desta campanha.

## 2. O Georadar

Neste capítulo serão abordados os princípios básicos do funcionamento do Georadar para melhor compreender o trabalho realizado. Os princípios básicos do método do Georadar de superfície estão sobejamente descritos na literatura (Jol, 2009) e não serão aqui apresentados extensivamente. Por isso este texto baseia-se no trabalho de Daniels (2000) “Ground Penetrating Radar Fundamentals”.

O Georadar, também designado por “Ground Probing Radar” ou “Ground Penetrating Radar” (GPR) é um método que se baseia na emissão de uma onda electromagnética (EM) através de uma antena transmissora e subsequente recepção das reflexões provocadas pelas variações nas propriedades eléctricas do material onde esta se propaga, por uma segunda antena (receptora).

A velocidade de propagação da onda EM depende da permitividade eléctrica do material atravessado. A onda eletromagnética uma vez emitida atravessa meios que podem ter propriedades eléctricas diferentes uns dos outros. Estas diferenças fazem com que parte da energia seja reflectida nas interfaces que separam os meios e volte à superfície, enquanto a restante energia da onda “atravessa” esse dado material. A reflexão originada pelo objecto enterrado é então captada pela antena receptora e registada.

O tempo decorrido desde que a onda EM é emitida pela antena emissora e o momento em que é captada a sua reflexão pela antena receptora é designado por tempo de ida-e-volta (*travel time*), sendo este tempo medido usando a unidade de básica de tempo para GPR que é o nanosegundo (ns). A velocidade máxima de propagação de uma onda EM, no caso do GPR, é a velocidade de propagação desta no ar, ou seja, 0,3m/ns. Assim todas a velocidades captadas no meio serão sempre inferiores a esta.

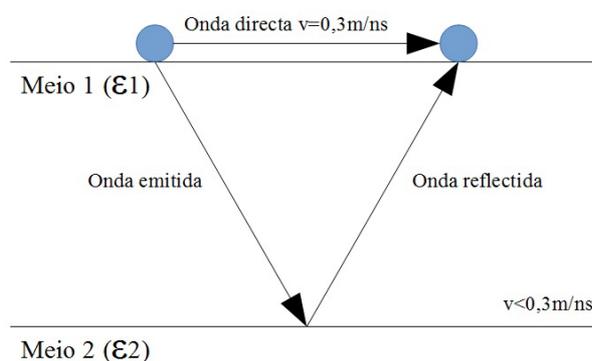


Figura 1: Onda directa e a onda emitida/reflectida.

Uma vez que a velocidade de propagação das ondas EM no ar é sempre superior à velocidade de propagação no meio, quando se procede à emissão de uma onda EM a

antena receptora irá receber dois sinais distintos. Como ilustrado na Figura 1, em primeiro lugar será detectada a onda que viaja através do ar, designada por onda directa, ( $v=0,3\text{m/ns}$ ) e só depois desta se registará uma segunda onda que terá viajado através do meio 1 e cuja velocidade de propagação é sempre inferior a  $0,3\text{m/ns}$ . Esta última velocidade varia de acordo com o valor de permissividade do meio ( $\epsilon$ ).

O registo das diferentes amplitudes identificadas pela antena receptora ao longo de um determinado tempo após a emissão de uma onda EM é designado por traço (*trace*). Este traço corresponde então ao registo de todas as reflexões provocadas pelas variações nas propriedades eléctricas dos materiais atravessados, atendendo que se uma variação de amplitude detectada mais tarde do que outra, esta corresponde a uma variação destas propriedades eléctricas do meio registada a uma maior profundidade. Se for conhecida a velocidade de propagação da onda no meio, este tempo poderá ser convertido em profundidade. Esta profundidade é então referente à profundidade da interface onde se deu a reflexão.

Para melhor visualização, estes traços podem ser convertidos num código de cores de acordo com o valor da amplitude das ondas reflectidas recebidas. Aos resultados desta conversão é dado o nome de *scan*.

Quando uma onda emitida por uma antena de GPR encontra uma zona com características eléctricas díspares do meio envolvente, esta onda poderá ser alvo de diferentes fenómenos que vão alterar a trajetória desta onda. A este processo dá-se o nome de dispersão.

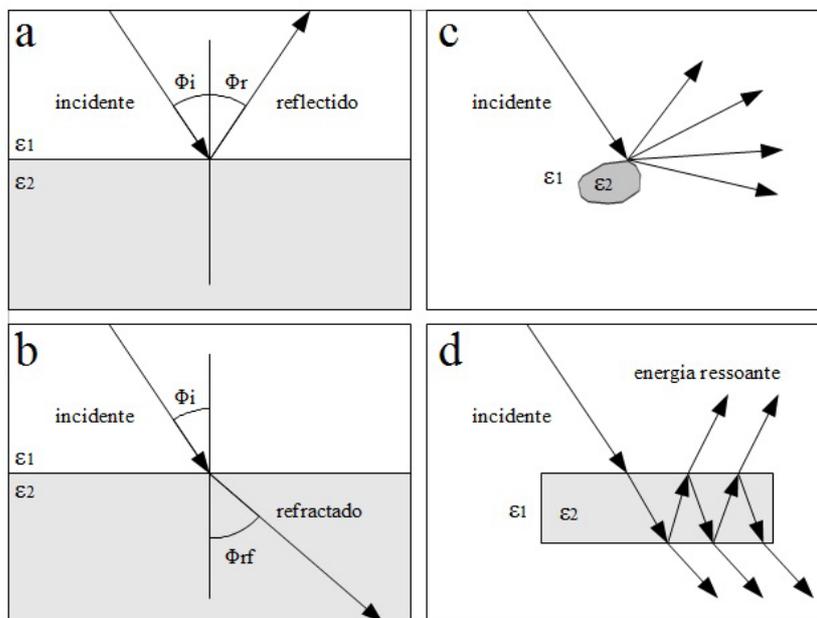


Figura 2: Vários tipos de dispersão: a) reflexão; b) Refracção; c) Difraccção; d) Ressonância (adaptado de Daniels, 2000)

A distância a que a antena receptora deve estar da antena emissora de modo a poder receber a onda refractada (figura 2 b) é denominada de distância crítica. Este fenómeno de refacção é bastante comum no GPR pois a velocidade de propagação das ondas EM tende a diminuir com a profundidade, uma vez que as propriedades eléctricas dos materiais e conseqüente velocidade é influenciada pela presença de água nos materiais e esta normalmente aumenta com a profundidade no caso do solo.

No caso da difracção (figura 2 c), o fenómeno ocorre quando a frente de onda encontra um objecto irregular (“pontagudo”). Assim quando esta frente de onda encontra o alvo, esta é difractada em várias direcções. A natureza desta difracção é dependente da forma do objecto, relativamente ao comprimento de onda EM.

Quando uma onda EM encontra um objecto por exemplo de forma cilíndrica (figura 2 d) , a onda ao penetrar dentro do objecto, resalta nas fronteiras deste. Sempre que isto acontece, parte da energia da onda é refractada para fora do objecto e parte é de novo reflectida para o seu interior. Este fenómeno pode originar uma ressonância denominada de *ringing* e é dependente da dimensão do objecto, das suas propriedades eléctricas e do comprimento de onda emitido.

Quanto à penetração no solo das ondas EM, esta é principalmente condicionada pela frequência da onda. Assim quanto maior é a frequência da onda EM menor é a penetração desta no solo (Neal, 2004). Na Tabela 1 é apresentado um exemplo da penetração máxima de antenas de Georadar de acordo com a frequência das antenas.

Tabela 1:Relação da frequência central das antenas de georadar e a penetração máxima das ondas EM (adaptado de <http://www.geophysical.com/antennas.htm>)

<b>Frequência da Antena</b>	<b>Penetração máxima (m)</b>
<b>2600MHz</b>	0,4
<b>1600MHz</b>	0,5
<b>900MHz</b>	1
<b>400MHz</b>	4
<b>270MHz</b>	6
<b>200MHz</b>	9

### 3. O Estado da Arte

Na reabilitação de um edifício é muito importante uma adequada caracterização dos materiais que constituem o edifício. Normalmente este tipo de caracterização é feita a partir de técnicas destrutivas que, como é evidente, acabam por danificar o edifício e sempre que isto acontece perde-se informação muitas vezes relevante. É por isso que o GPR tem grande importância e têm sido desenvolvidos estudos para utilização desta técnica no edificado, por forma a proceder à sua caracterização não destrutiva.

Seguidamente será apresentada uma breve compilação dos desenvolvimentos que levaram ao estado actual da arte segundo Annan (2002).

El Said (1956) apresenta a primeira tentativa de utilização da reflexão de ondas de rádio para detectar a profundidade do nível freático nos desertos do Egipto.

Na segunda metade da década de 50 procederam-se às primeiras observações de materiais geológicos através de frequências de rádio. Este avanço teve como base o erro detectado nos altímetros por radar dos aviões da Força Aérea dos Estados Unidos, quando estes tentavam aterrar em pistas de gelo na Gronelândia. No artigo de Waite e Schmith (1961) é abordado este assunto, tendo este servido como base para o desenvolvimento de técnicas de sondagem de gelo por reflexão de ondas de rádio.

Cook (1973) apresenta uma das primeiras aplicações do sistema de reflexão de ondas de rádio na indústria mineira, quando aplica este método em minas de carvão. Holser *et al.* (1972), Unterberg (1978) e Thierbach (1973) desenvolveram a mesma técnica, desta vez em minas de sal.

A década de 70 viu também muitos desenvolvimentos nesta área impulsionados pelo decorrer do projecto Apolo. Neste projecto os métodos baseados no trabalho de El Said (1956), bem como métodos baseados nos radares de medição de gelo, foram bastante usados a partir da orbita lunar (Simmons *et al.* (1973) e Ward *et al.* (1973)).

Foi também neste período que se generalizou bastante o conhecimento das propriedades eléctricas dos materiais geológicos com ondas de rádio, como pode ser demonstrado no trabalho de Olhoeft (1975, 1987).

A partir desta altura o método do GPR começou a ter uma aplicação em diversos trabalhos de engenharia nomeadamente em estudos do permafrost e estudos para implementação de oleodutos por parte do Geological Survey of Canada e do United States Geological Survey.

Dolphin *et al.* (1978) apresenta a aplicação em arqueologia da técnica de Radar, a qual foi utilizada para detecção de cavidades no Novo México.

Nesta época foram ainda desenvolvidas várias técnicas aplicadas à indústria mineira (Potássio e Carvão). Nesta altura foi ainda demonstrado um grande interesse pelo Geological Survey of Canada e pelo Atomic Energy of Canada na aplicação do radar

para determinação da qualidade da rocha em locais de deposição de resíduos nucleares, tendo estes trabalhos despertado o interesse comercial nesta técnica.

No entanto o GPR apresentava bastantes desafios devido às suas grandes dimensões, peso e consumo de energia. Estes problemas impossibilitavam a sua utilização em locais de difícil acesso. A crescer a estes problemas, as medições efectuadas não eram registadas em formato digital o que impossibilitava o seu processamento em programas informáticos avançados utilizados na altura no processamento de dados de sísmica de reflexão na indústria petrolífera.

No início da década de 80 o interesse pelo GPR diminuiu um pouco devido à compreensão das limitações desta técnica e falta de financiamento no desenvolvimento da área. Foi nessa altura que a empresa Japonesa OYO, em associação com a Xadar developments, desenvolveu um produto designado “Georadar”, tendo-se também registado uma série de avanços por parte de outras empresas. Muitos dos avanços não comerciais registados à data procuravam uma melhor portabilidade e registo digital dos dados.

Nessa época experimentaram-se diversas aplicações para o GPR, com sucesso limitado, pois tratava-se de uma tecnologia nova, cujas potencialidades e limites ainda não estavam completamente desenvolvidas e estudadas.

Durante a segunda metade da década de 80 o GPR começou a ter uma maior relevância, pois por essa altura começava-se a conhecer as verdadeiras potencialidades e limitações deste método. Foram também desenvolvidas novas aplicações como por exemplo a classificação de solos para agricultura.

Na década de 90 ocorreu um grande aumento do interesse a nível mundial nesta técnica a nível da investigação científica e a nível comercial, tanto com o desenvolvimento das empresas que trabalhavam na área como com o aparecimento de novas empresas.

A nível científico ocorreram desenvolvimentos na aquisição multicanal, processamento digital de sinal e simulação numérica 2D. Quanto à aplicação, entre outros, registaram-se avanços na utilização desta técnica na prospecção arqueológica, estudos ambientais e estratigrafia.

Hoje em dia a técnica do Georadar apresenta uma multitude de aplicações nomeadamente (adaptado de [www.malags.com/solutions](http://www.malags.com/solutions)):

- Indústria Mineira:
  - Mapeamento do leito rochoso;
  - Delimitação de massas minerais;
  - Cálculo de volumes;
  - Estudo de depósitos aluviais;
  - Estudos de Segurança;
  - Análises de fracturação.
  
- Construção Civil e Infraestruturas:
  - Localização e mapeamento de infraestruturas;

- Detecção de vazios;
- Caracterização de pavimentos em asfalto;
- Estudos de armaduras de betão e pré-esforço;
- Investigação de fundações.
- Geotecnia e estudos ambientais:
  - Detecção de infraestruturas;
  - Mapeamento do leito rochoso;
  - Mapeamento de gelo e neve;
  - Estudos Hidrogeológicos;
  - Estudo e monitorização de contaminações no solo;
  - Mapeamento de descargas poluentes.
- Aplicações militares e forenses:
  - Localização de provas;
  - Localização e mapeamento de sepulturas e restos humanos;
  - Localização de armas e depósitos de armamento;
  - Detecção de explosivos;
  - Localização de munições não detonadas;
  - Detecção de túneis e câmaras.
- Arqueologia:
  - Mapeamento geral dos locais de intervenção;
  - Localização de artefactos;
  - Mapeamento de cemitérios
  - Mapeamento de escavações;
  - Caracterização estrutural.

No património edificado, o GPR é usado em diversos casos com resultados bastante promissores. Seguidamente serão apresentados alguns casos de aplicação desta técnica em estudos de estruturas com interesse arquitetónico e cultural.

Masini *et al.* (2010) apresenta um estudo de três casos com vista à identificação das vantagens e desvantagens da aplicação do GPR em edifícios históricos. Neste trabalho o GPR foi aplicado em paredes e colunas com diversas composições em igrejas do Sul de Itália. Demonstrou-se que dada a grande variação de meios presentes nas construções históricas é necessária a aplicação de variadas metodologias e, particularmente, ter atenção à utilização de antenas com diferentes frequências. Este trabalho sugere também que o GPR é uma mais-valia para a melhoria da informação sobre edifícios históricos, permitindo obter dados que não se encontram em registo, por meio de uma técnica não destrutiva.

Leucci *et al.* (2011) apresenta um estudo realizado na catedral de Tricario, em Itália, onde se aplicou o método de GPR e tomografia sísmica na caracterização do estado estrutural dos pilares deste edifício que aparentavam grande deterioração (fissuras). Este estudo pretendia identificar o tipo de danos presentes e se estava a ocorrer um fenómeno de esmagamento nos pilares. Neste trabalho foram efectuados perfis de

GPR com uma antena de frequência central de 900MHz ao longo das quatro faces dos pilares com vista a caracterizar o estado destas estruturas. Do estudo da composição 3D dos radargramas em isosuperfícies e dos radargramas com migração foi possível identificar a grande extensão e gravidade das fissuras nos pilares.

Orlando *et al.* (2009) apresentam um trabalho realizado num edifício construído no final do século XIX, na localidade de Roccapinalveti (Itália). Entre outros, este trabalho teve como objectivo testar a eficácia da aplicação de uma antena de 2GHz na identificação e monitorização de fracturas neste edifício. Para isso realizaram-se cinco aquisições na mesma área ao longo de aproximadamente um ano. Na composição 3D dos radargramas foi possível concluir que muitas das fracturas identificadas na superfície corresponderam a anomalias encontradas no GPR. Devido à pouca variação nas fracturas no espaço de um ano, não foi possível monitorizar a alteração das fracturas neste espaço de tempo.

## 4. Trabalho realizado

### 4.1. Enquadramento da aquisição

Situada no coração de cidade de Ílhavo, o edifício ReabilitaDomus (sede da InovaDomus) encontra-se entre o Jardim Henriqueta Maia e o Centro Cultural de Ílhavo (Figura 3).



Figura 3: Localização do edifício ReabilitaDomus no centro de Ílhavo (Retirado de Google Earth).

Construído na primeira metade do século XX, este edifício, é um caso típico da Art Déco tardia Portuguesa e um marco arquitectónico desta cidade. A fachada do edifício é caracterizada por um torreão que se destaca do restante edifício, todo ele bastante decorado. É de salientar ainda na fachada Norte a presença de uma varanda, remanescente da antiga entrada principal de acesso ao segundo piso. (Figura 4)



*Figura 4: Edifício do projecto ReabilitaDomus*

O rés-do-chão deste edifício é caracterizado por um estilo bastante austero, que se deve ao facto de esta área ter sido ocupada por um espaço comercial numa fase mais recente da história do edifício. Devido a esta utilização, este piso terá sofrido algumas alterações estruturais, o que poderá explicar alguns danos visíveis no primeiro piso.

O primeiro piso da casa corresponde à área habitacional do edifício, caracterizada pela presença de marmoreados e tectos altos decorados, exemplos típicos de Art Déco.

Estruturalmente o piso habitacional apresenta bastantes fissuras, algumas reparadas, que deverão ser o resultado das alterações efectuadas no piso térreo do edifício.

No que diz respeito à Geologia, pouco se sabe em relação às condições sob as quais o edifício foi fundado. Pelos relatos encontrados, a área onde se encontra o edifício deverá corresponder a um antigo leito de ribeira, actualmente encanado. Assim o edifício deverá estar fundado numa área caracterizada por depósitos aluvionares ou aterros, pelo que se terá de contar para este trabalho com possível presença de água nas fundações do edifício.

## **4.2. Objectivos da Prospeção Geofísica**

O principal objectivo deste trabalho foi a caracterização estrutural da casa ReabilitaDomus em Ílhavo. Para isso recorreu-se a variados tipos de aplicação das técnicas de Georadar.

A primeira intervenção Geofísica na casa teve como objectivo a identificação de eventuais infraestruturas do edifício, bem como encontrar vestígios que pudessem revelar elementos construtivos eventualmente removidos ou alterados.

A segunda etapa executada, desta feita no exterior do edifício, teve como objectivo a caracterização do terreno envolvente ao edifício de modo a obter dados que possam informar acerca do estado das fundações deste.

Após estes dois primeiros trabalhos, passou-se para uma terceira etapa, focada na varanda poente do edifício. Este trabalho teve como objectivo a caracterização da estrutura interna da varanda, bem como a identificação dos diversos elementos construtivos que a constituem, de modo a identificar as alterações efectuadas ao desenho inicial da varanda.

Associado ao trabalho anterior, efectuaram-se duas passagens de Georadar no corredor do primeiro piso, entre as varandas poente e nascente. Este trabalho teve como objectivo a caracterização da estrutura do soalho em madeira desta divisão.

A última fase de trabalhos correspondeu a uma campanha de Georadar de alta frequência para identificação da estrutura e aparelho das paredes, tanto interiores como exteriores, e sua caracterização estrutural.

Este trabalho pode ser dividido em duas fases principais. Em primeiro lugar foram prospectadas as paredes interiores do piso térreo por forma a identificar possíveis alterações à estrutura original do edifício. Após este trabalho, aplicou-se a técnica do Georadar a uma parede com fissuras, no primeiro piso do edifício, por forma a testar a possibilidade de identificação deste tipo de danos nas paredes.

Ainda no primeiro piso, adquiriram-se dados de Georadar em duas outras paredes, por forma a identificar a sua estrutura interna.

Finalmente passou-se para a aquisição de dados nas paredes exteriores do edifício. Esta aquisição teve como objectivo a identificação de anomalias que permitissem identificar eventuais alterações do edifício e possíveis elementos construtivos presentes no interior das paredes.

## **4.3. Estratégia, equipamento e métodos utilizados**

### **4.3.1. Estratégia dos trabalhos de campo**

Para este trabalho, a metodologia e as antenas utilizadas variaram bastante consoante o objectivo a que se propunha a aquisição. Assim começou-se por dividir o trabalho em áreas de aquisição nas quais se aplicou um dado método.

A Figura 5 e a Figura 6 apresentam os diversos polígonos e perfis implantados na planta do rés-do-chão e no primeiro andar respectivamente. Os polígonos de A1 a A4

o polígono V1 e os perfis L1 e L2 foram adquiridos usando uma antena de 800MHz e os polígonos E1 e E2 com a antena de 500MHz. Os polígonos V1\_1 a V1\_3 foram adquiridos usando uma antena de 1600MHz.

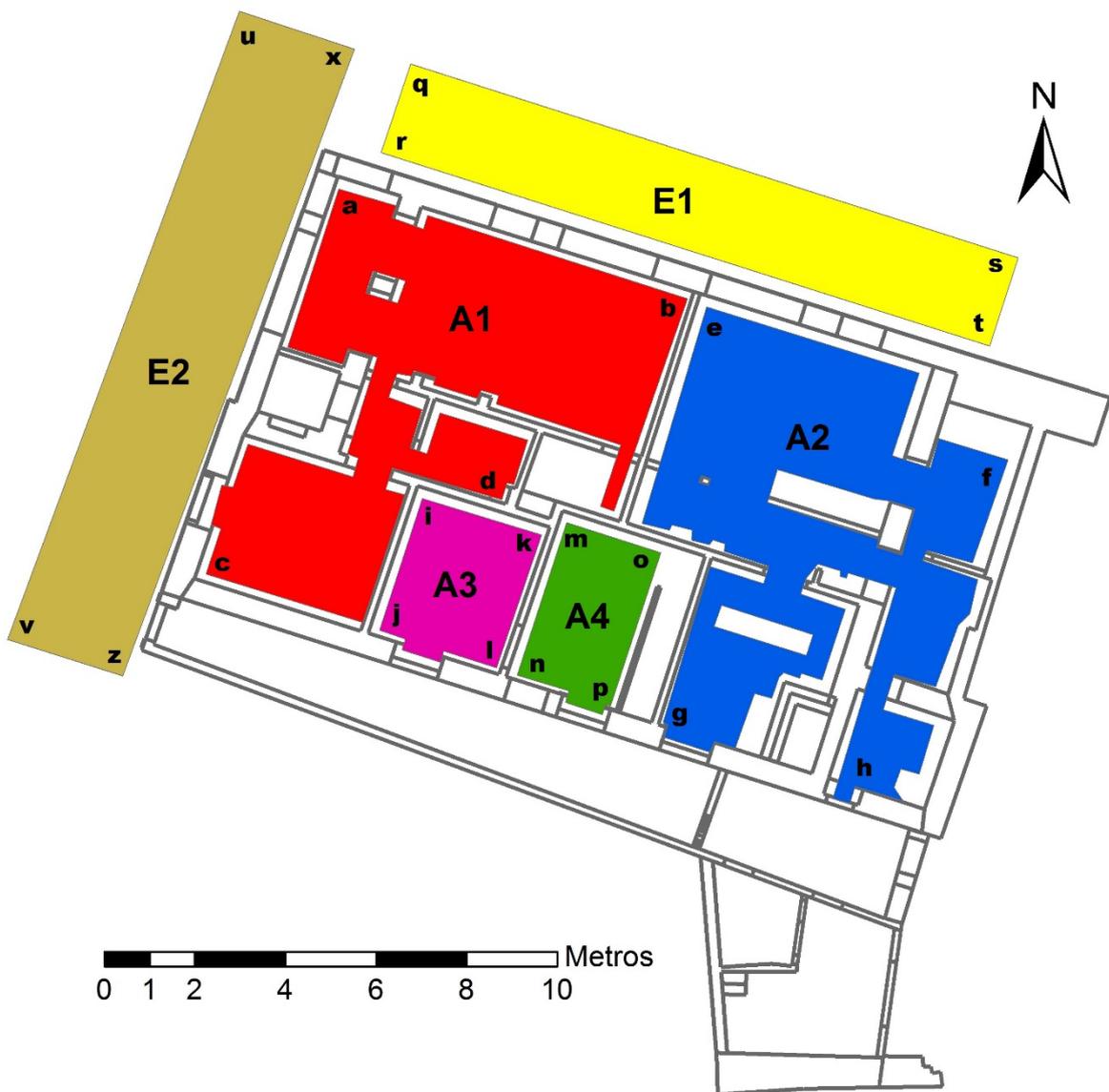


Figura 5: Polígonos adquiridos no piso térreo do edifício.

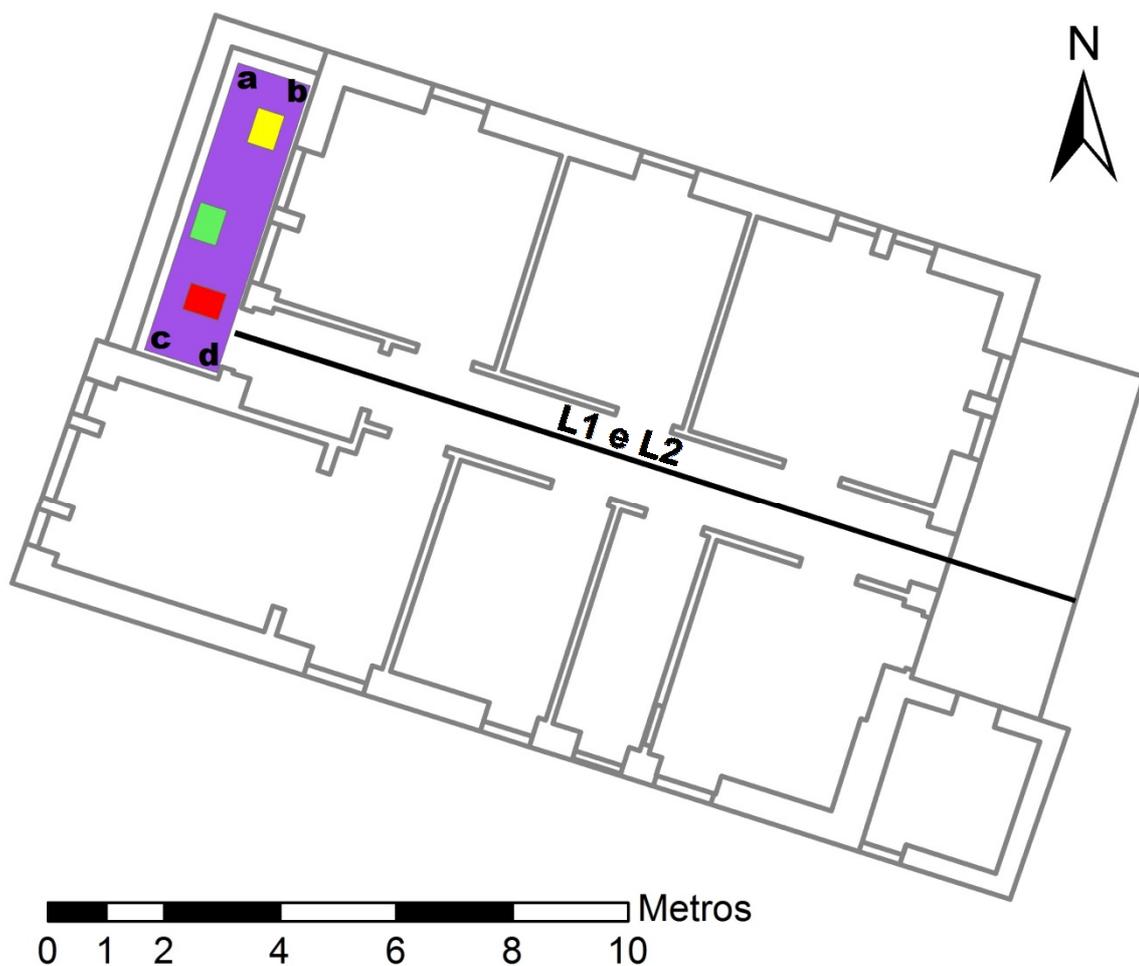


Figura 6: Polígonos e perfis adquiridos no segundo piso do edifício. Os perfis L1, L2 (a negro) e o polígono V1 (a violeta) foram adquiridos a 800MHz. Os polígonos V1\_1 (vermelho) V1\_2 (verde) e V1\_3 (amarelo) foram adquiridos a 1.6GHz

Na Figura 7 e na Figura 8 são apresentados os polígonos de aquisição adquiridos nas paredes das fachadas do edifício. Estes polígonos foram adquiridos usando uma antena com frequência central de 1,6GHz.



Figura 7: Polígonos adquiridos no alçado NE do edifício. (a vermelho: PE1, a azul: PE2, a castanho: PE3, a verde PE4 e a roxo: PE5)



Figura 8: A amarelo: polígono adquirido no alçado NW do edifício (PE6).

#### **4.3.1.1. Polígono A1 (Figura 5)**

Este polígono, com um total de 52m<sup>2</sup>, correspondente à loja mais a oeste do edifício e divisões conexas, é composto por uma área principal com aproximadamente 31m<sup>2</sup> à qual se liga um pequeno arrumo e outras 3 divisões mais pequenas por um corredor.

De todas as divisões apenas não se realizou qualquer aquisição geofísica no arrumo e na casa de banho, uma vez que a estrutura destas divisões não possibilitava um acesso fácil ao Georadar

Nesta área, como o objectivo era a identificação de infraestruturas e elementos construtivos removidos, optou-se pela utilização do Georadar com uma antena de 800MHz, uma vez que esta antena permite uma aquisição até uma profundidade de 2 metros, profundidade a partir da qual não se esperam encontrar mais estruturas desta natureza.

A aquisição foi efectuada recorrendo a passagens em linhas paralelas espaçadas de 0,1 metros em meandro, cruzadas com idêntica aquisição por forma a garantir uma grande resolução de dados. Este espaçamento foi escolhido para que fosse inferior à espessura esperada das estruturas removidas garantindo que mais de uma passagem seria efectuada sobre estas. O espaçamento entre leituras foi de 0,02 metros e a janela de tempo usada foi de 40ns. Estes parâmetros foram usados por forma a permitir a aquisição da maior quantidade de dados possíveis a uma velocidade de aquisição aceitável do ponto de vista prático.

#### **4.3.1.2. Polígono A2 (Figura 5)**

O polígono A2 corresponde à loja situada a Este do edifício. Com aproximadamente 60m<sup>2</sup> esta é caracterizada por uma divisão de maiores dimensões, aparentemente com fins comerciais e outras 4 mais pequenas, sendo um delas uma casa de banho e outra, aparentemente uma antiga cozinha.

Uma vez que os objectivos da aquisição nesta parte do edifício foram os mesmo que no polígono A1 aplicou-se uma metodologia em tudo idêntica.

A antena utilizada foi a antena com 800MHz de frequência central, o espaçamento entre linhas foi de 0,1 metros, o espaçamento entre medidas foi 0,02 metros e a janela de tempo de aquisição foi 40ns.

#### **4.3.1.3. Polígonos A3 e A4 (Figura 5)**

Estes dois polígonos, com um total de 21,20m<sup>2</sup> correspondem às duas divisões anexas ao acesso ao piso superior do edifício.

Mais uma vez, considerando as estruturas a prospectar optou-se pela utilização da antena de 800MHz, espaçamento entre linhas foi de 0,1 metros, espaçamento entre medidas foi 0,02 metros e janela de tempo de aquisição foi 40ns.

#### **4.3.1.4. Polígonos E1 e E2 (Figura 5)**

Os polígonos E1 e E2 foram adquiridos paralelamente à fachada NE e NW do edifício respectivamente. O objectivo da aquisição nestes locais foi o estudo da Geologia das imediações do edifício. Como tal, desta feita, optou-se pela aquisição com uma antena de Georadar que permitisse uma maior penetração no solo para um estudo a maior profundidade. Para isso foi utilizada uma antena com frequência central de 500MHz, antena esta que permite uma aquisição até aos 4 metros de profundidade.

Assim, para esta antena foi usada uma metodologia ligeiramente diferente do efectuado nos polígonos de A1 a A4, tendo sido usado um espaçamento entre aquisições de 0,2 metros, um espaçamento entre medidas de 0,04 metros e uma janela de tempo de 80ns. Tal como nos casos anteriores, esta metodologia permitiu uma boa resolução e uma velocidade de aquisição aceitável do ponto de vista prático.

#### **4.3.1.5. Polígono V1 (Figura 6)**

O polígono V1 corresponde à varanda Noroeste do edifício. Neste local foram aplicados dois tipos de aquisição distintos.

Em primeiro lugar foi efectuada uma aquisição no total da varanda usando uma antena de 800MHz. Para isso foi usada uma metodologia idêntica aos polígonos A1, A2, A3 e A4, com a diferença, de que neste caso não foi usada uma progressão em meandro.

Após a verificação dos dados adquiridos constatou-se que a antena de 800MHz apresenta pouco detalhe para a identificação em pormenor da estrutura em aço da varanda. Assim foram adquiridos três pequenos polígonos com 0,3m<sup>2</sup> cada, usando uma antena de 1,6GHz: V1\_1, V1\_2 e v1\_3.

O polígono V1\_1 foi adquirido por meio de linhas paralelas espaçadas de 0,02 metros cruzadas com linhas de idêntico espaçamento. A distância entre medições foi de 0,004 metros e a janela de tempo de aquisição foi de 10ns. Esta metodologia foi aplicada, mais uma vez, por forma a garantir a maior resolução possível na área prospectada com uma velocidade de aquisição aceitável.

No polígono V1\_2 foi usada uma metodologia um pouco diferente da anterior, tendo sido usada a função de projecto em grelha automático do equipamento de Georadar com antena de alta frequência, por forma a testar esta potencialidade do equipamento em apresentar resultados imediatos em campo.

Assim a aquisição foi efectuada com um espaçamento entre linhas de 0,01 metros, um espaçamento entre medições de 0,005 metros e uma janela de tempo de 10ns.

Para o polígono V1\_3 foi usada uma variação do método anterior, tendo-se utilizado um espaçamento entre linhas de 0,02 metros e um espaçamento entre pontos de medição de 0,004 metros.

#### **4.3.1.6. Linhas L1 e L2 (Figura 6)**

Ao longo do corredor do primeiro piso do edifício, entre as duas varandas, foram realizados dois radargramas usando a antena de 800MHz, por uma extensão de aproximadamente 14,5 metros. Estas duas linhas foram adquiridas ao centro do corredor e sobrepostas (em direcções contrárias). Foi usado um espaçamento entre medições de 0,02 metros e uma janela de tempo de 40ns.

#### **4.3.1.7. Polígono P1 (Figura 9)**

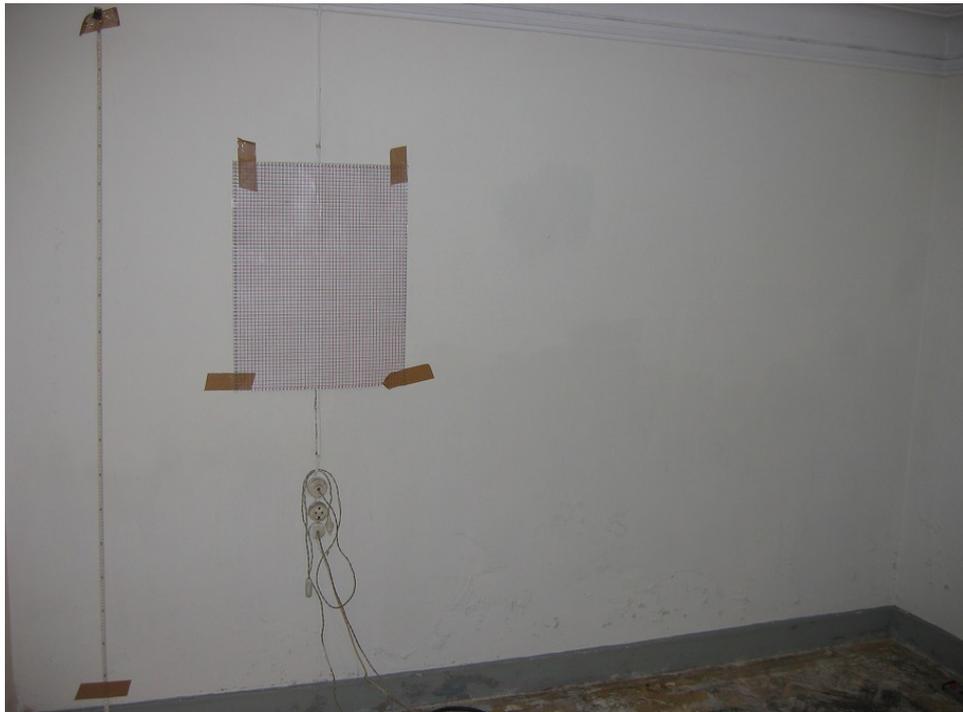
O polígono P1 foi adquirido ao longo da parede NW da sala onde anteriormente se adquiriu o polígono A3 (Figura 9). Este polígono com 2,9 metros na horizontal e 1 metro na vertical foi adquirido a 0,73 metros do solo e a 0,24 metros do início da parede (à esquerda). Tal como nas restantes paredes, estas dimensões foram escolhidas por forma a garantir uma aquisição representativa das mesmas e a facilitar o processo de aquisição dos polígonos. Para a aquisição foram usadas passagens paralelas à base da parede espaçadas de 0,05 metros. O intervalo entre medidas foi de 0,004 metros e a janela de tempo foi de 10ns.



*Figura 9: Parede onde se procedeu à aquisição do polígono P1.*

#### 4.3.1.8. Polígono P2 (Figura 10)

Este polígono foi adquirido ao longo da parede NE da sala onde anteriormente se adquiriu o polígono A3, isto é, perpendicularmente ao polígono P1 (Figura 10). Este polígono com aproximadamente 2,5 metros na horizontal e 0,6 metros na vertical foi adquirido a 1,07 metros do solo e a 0,24 metros do início da parede (à esquerda). Tal como no polígono P1, a aquisição foi efectuada usando passagens horizontais espaçadas de 0,05 metros. O intervalo entre medidas foi de 0,004 metros, a janela de tempo foi de 10ns e a antena de frequência central 1,6GHz.



*Figura 10: Parede onde se realizou a aquisição do polígono P2. (A cartolina ao centro foi usada para que a antena do GPR pudesse ultrapassar o obstáculo provocado por um foi eléctrico)*

#### 4.3.1.9. Polígono P3 (Figura 11)

No caso do polígono P3 a aquisição foi feita na parede NE da divisão onde anteriormente se tinha adquirido o polígono A4 (Figura 11). Nesta aquisição o polígono estava situado a 0,24 metros do início da parede (à esquerda), a 0,68 metros do solo e a 0,3 metros do fim da parede, tendo -se adquirido ao longo de 0,8 metros na vertical.

Nesta aquisição foi usada a antena de frequência central de 1,6GHz em que se aplicou um espaçamento entre linhas de aquisição de 0,05 metros, com uma amostragem a cada 0,004 metros e uma janela de tempo de 10ns.



*Figura 11: Parede onde se procedeu à aquisição do polígono P3.*

#### 4.3.1.10. Polígono P4 (Figura 12)

Este polígono localiza-se na parede SW da divisão de acesso à varanda onde se procedeu à aquisição do polígono V1 (Figura 12). A aquisição foi efectuada com a antena de frequência central de 1,6GHz a 0,24 metros da parede à esquerda e a 0,3 metros da parede à direita. A aquisição iniciou-se a 1 metro do solo e foram usadas linhas de aquisição espaçadas de 0,05 metros até aos 2 metros do solo. Usou-se um passo de amostragem de 0,004 metros e uma janela de tempo de 10ns.



*Figura 12: Aspecto da parede onde se adquiriu o polígono P4.*

#### 4.3.1.11. Polígono P5 (Figura 13)

O polígono P5 (Figura 13) localiza-se na parede NE da sala imediatamente abaixo do torreão, no primeiro piso do edifício. Uma vez que esta aquisição tinha como objectivo a detecção de fissuras no interior da parede, procedeu-se a uma aquisição de pormenor. Ao contrário dos polígonos anteriores, este foi adquirido usando a funcionalidade de Grid Project do Sistema MALÅ Geoscience. A antena utilizada tinha uma frequência central de 1,6GHz, tendo-se utilizado um espaçamento entre linhas de 0,02 metros, um passo de amostragem de 0,002 metros e uma janela de tempo de 10ns.



Figura 13: Polígono de aquisição P5 (ao centro, marcado com a cartolina).

#### 4.3.1.12. Polígono C1 (Figura 15)

Este polígono foi adquirido na parede da cozinha do primeiro piso, imediatamente abaixo do esquentador (Figura 14). A aquisição foi efectuada usando a funcionalidade de Grid Project do Sistema MALÅ Geoscience. A antena utilizada tinha uma frequência central de 1,6GHz, tendo-se utilizado um espaçamento entre linhas de 0,02 metros, um passo de amostragem de 0,004 metros e uma janela de tempo de 10ns.



*Figura 14: Polígono de aquisição C1 (marcado com a cartolina).*

#### 4.3.1.13. Polígono PE1 a PE6 (Figura 5 e Figura 6)

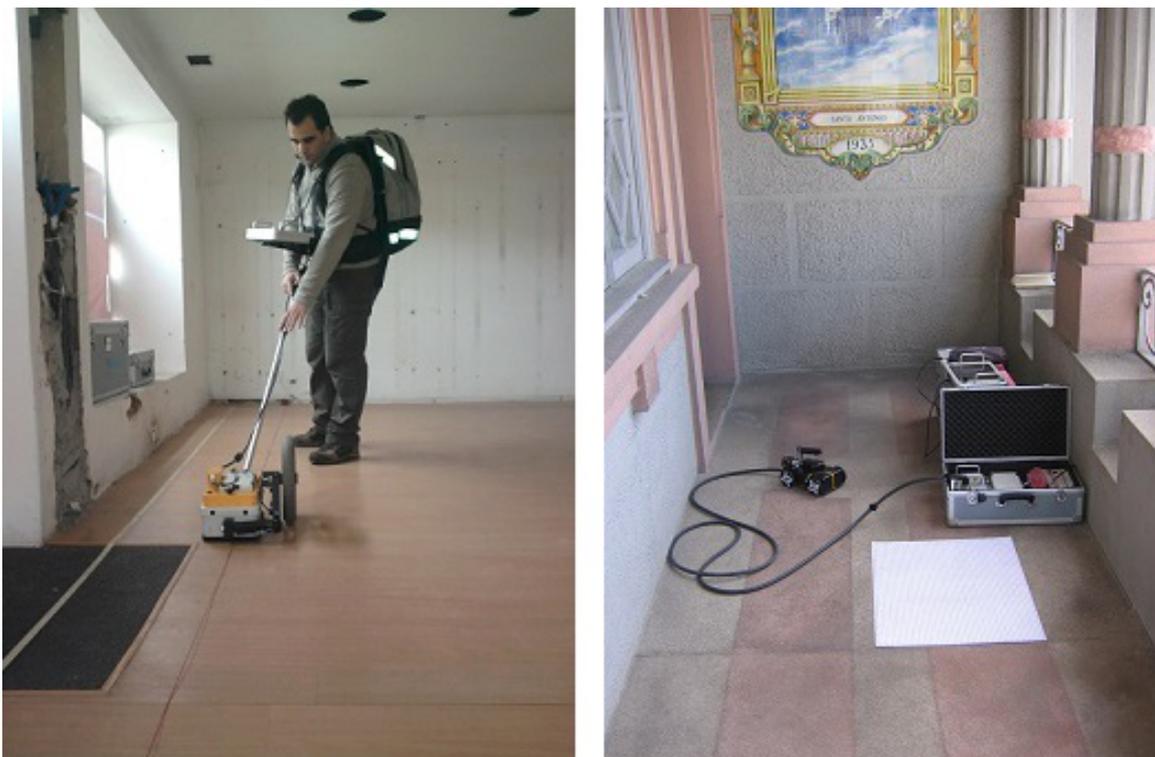
Estes polígonos correspondem às aquisições efectuadas nas paredes exteriores do edifício com a antena de 1,6GHz (Figura 5 e Figura 6). Todos estes polígonos, à excepção dos polígonos P3 e P5 foram adquiridos usando linhas de aquisição horizontais espaçadas de 0,05 metros com um passo de amostragem de 0,004 metros e uma janela de tempo de 10ns. Estes polígonos foram adquiridos a 0,8 metros do solo, ao longo de 1 metro na vertical.

No caso do polígono P3 a aquisição foi efectuada usando a funcionalidade de Grid Project do Sistema MALÅ Geoscience com um espaçamento entre linhas de 0,02 metros, um passo de amostragem de 0,004 metros e uma janela de tempo de 10ns.

O polígono P5 foi adquirido usando um espaçamento entre medições de 0,02 metros, tendo sido usadas linhas de aquisição verticais, com um passo de amostragem de 0,004 metros e uma janela de tempo de 10ns.

### 4.3.2. Equipamento e *software* de processamento de dados

Na aquisição GPR foi usado o sistema ProEx da MALÅ Geoscience com antenas blindadas de 500 MHz e 800MHz na configuração de mochila e antena com odômetro acoplado e uma antena blindada de 1,6GHz montada no MALÅ HF mini-cart (Figura 15).



*Figura 15: Aquisição com antena de 800MHz na configuração de mochila e antena com odômetro acoplada (à esquerda); antena blindada de 1,6GHz montada no MALÅ HF mini-cart (à direita).*

Para levantamento dos polígonos no exterior do edifício usou-se uma Estação Total SOUTH NTS-342R.

Para visualização e processamento dos dados GPR 2D e 3D foi usado o programa informático ReflexWin v7.1 da Sandmeier Scientific Software.

Os dados tratados no ReflexWin foram processados e apresentados através do programa ArcGIS 9.3 da ESRI.

### 4.3.3. Metodologia de processamento de dados geofísicos

O processamento dos dados que não foram adquiridos usando o Grid Project pode ser dividido em duas partes:

Inicialmente foi necessário tratar os dados em duas dimensões (2D), ou seja, tratar a linhas de aquisição individualmente. Para isso, procedeu-se aos seguintes passos:

- Importação dos ficheiros de aquisição para o programa ReflexWin v7.1;
- Filtro de remoção dos ruídos de baixa frequência (Dewow);
- Remoção do ruído de fundo (Background Removal)
- Ajuste do tempo zero;
- Filtro passa-banda;
- Filtro de mediana (xy);
- Migração dos dados;
- Função de ganho;

Após este tratamento, procedeu-se a uma interpretação das linhas em 2D individualmente, registando todas as anomalias encontradas.

Seguidamente ao processamento 2D dos dados adquiridos procedeu-se a um processamento em três dimensões (3D) dos polígonos de aquisição. Para isso usou-se o módulo de integração 3D do programa Reflex-Win no qual se construiu um polígono usando as linhas 2D, nas quais foi aplicado uma interpolação dos dados com uma resolução igual à distância entre linhas de aquisição. Posteriormente à construção deste “cubo” 3D, este foi analisado, por forma a identificar quaisquer anomalias, registando-a e copiando a imagem em planta correspondente para posterior interpretação no programa ArcGIS 9.3.

No caso dos dados adquiridos por meio da funcionalidade Grid Project, o processamento é directamente efectuado no módulo Scan3D do Reflexw 3D data interpretation. Neste módulo é escolhido o método de processamento o qual de seguida é efectuado de forma automática. O processamento escolhido foi:

- Filtro de remoção dos ruídos de baixa frequência (Dewow);
- Ajuste do tempo zero;
- Remoção do ruído de fundo (Background Removal);
- Filtro passa-banda;
- Migração em 3D dos dados.

A restante interpretação e apresentação de dados é feita da mesma forma que no caso da construção “normal” do cubo 3D.

## **4.4. Resultados da prospecção**

Da aquisição no campo resultaram 4.856 ficheiros correspondentes a 888 linhas de aquisição individuais e 6 Grid Projects.

Os dados obtidos foram tratados em conjunto permitindo assim complementar os dados estáticos 2D de cada uma das secções horizontais com uma análise dinâmica 3D dos dados a diferentes profundidades. Este tipo de tratamento e análise é genericamente bastante mais informativo do que a análise de perfis 2D individuais.

A análise dos radargramas obtidos nos trabalhos de prospecção por GPR permitiu identificar áreas onde estão bem definidas algumas anomalias (alinhamentos e reflectores) que serão analisados de seguida.

## 4.5. Interpretação dos Resultados

Devido à grande quantidade de dados adquiridos, a interpretação dos dados será efectuada em cada polígono individualmente.

Esta análise e interpretação serão efectuadas, se conveniente, às linhas de aquisição individuais (radargramas) ou, no caso da interpretação em 3D, aos cortes em planta dos cubos 3D. Estes cortes designam-se Time Slices e correspondem a um dado valor de tempo de ida e volta da onda EM enviada, correspondendo a uma profundidade estimada de acordo com a velocidade estimada.

### 4.5.1. Polígono A1

Em primeiro lugar, da análise em 2D estimou-se a velocidade de propagação da onda EM neste polígono e nos polígonos A2, A3 e A4 em 0,11m/ns (Figura 16). Esta velocidade irá ser usada para calcular a profundidade das anomalias encontradas na interpretação 3D.

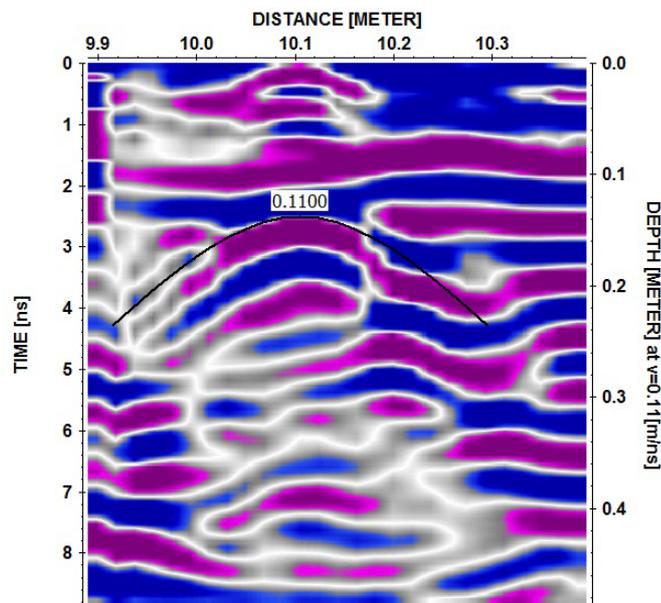


Figura 16: Adaptação de uma hipérbole de difração para uma velocidade de propagação da onda EM de 0,11m/ns.

Uma vez que a o objectivo da prospecção neste polígono é a detecção de estruturas removidas do edifício a interpretação foi feita a partir da interpolação 3D dos radargramas adquiridos.

O primeiro Time Slice a registar anomalias relevantes foi aos 1,892ns (Figura 17). Esta imagem, que corresponde a uma profundidade estimada de 0,1 metros e apresenta alguns alinhamentos (a vermelho) que correspondem à infraestrutura eléctrica moderna da loja.

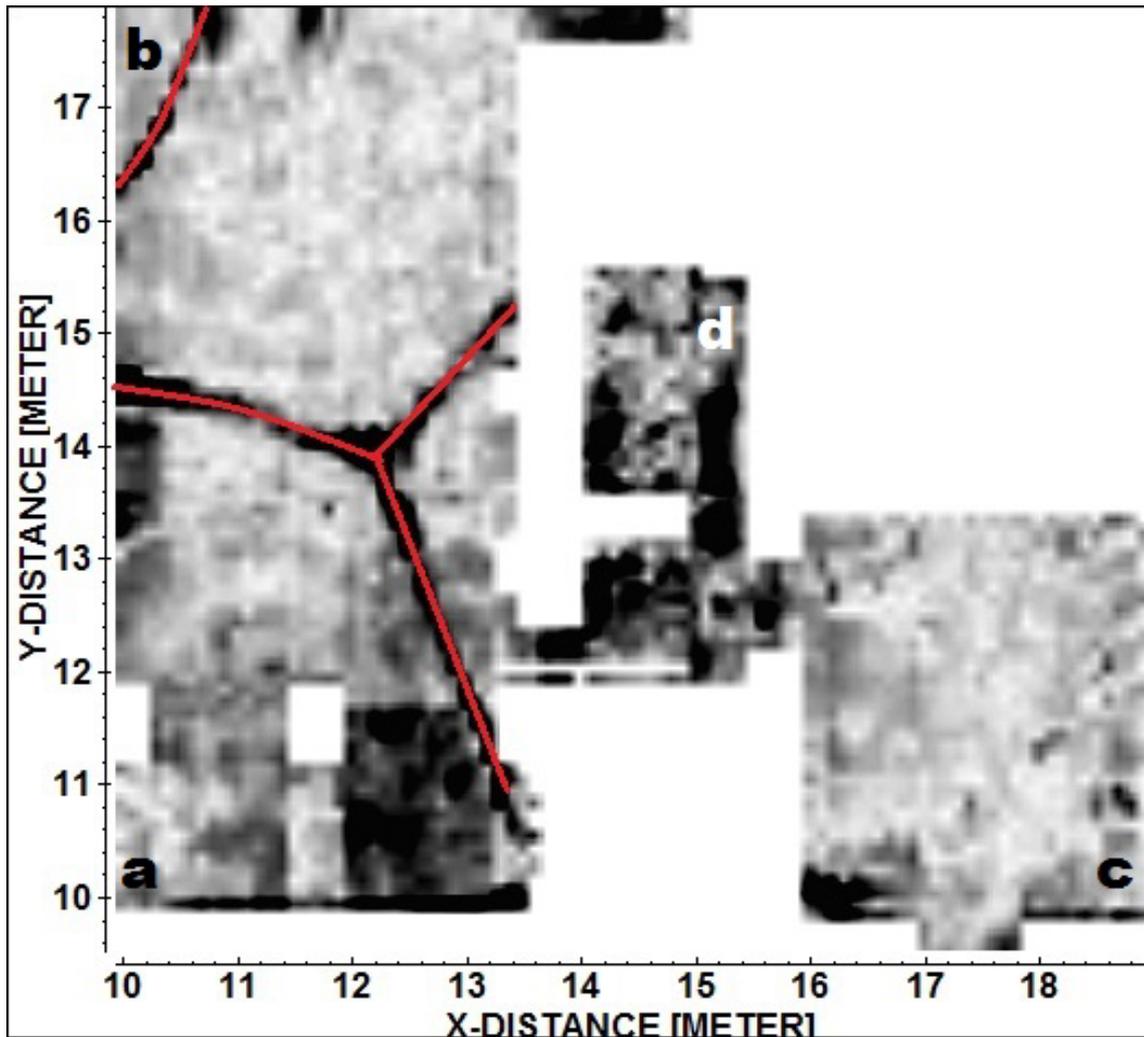


Figura 17: Time Slice 1,892 (-0,1m) do polígono A1. (a marcados a vermelho são marcados os alinhamentos que deverão corresponder a infraestruturas eléctricas.)

Aos 3,026ns (-0,17 metros) ainda é identificável parte da infraestrutura eléctrica presente neste polígono. No entanto este Time Slice apresenta um novo alinhamento (a vermelho na Figura 18) correspondente a uma tubagem, possivelmente de água.

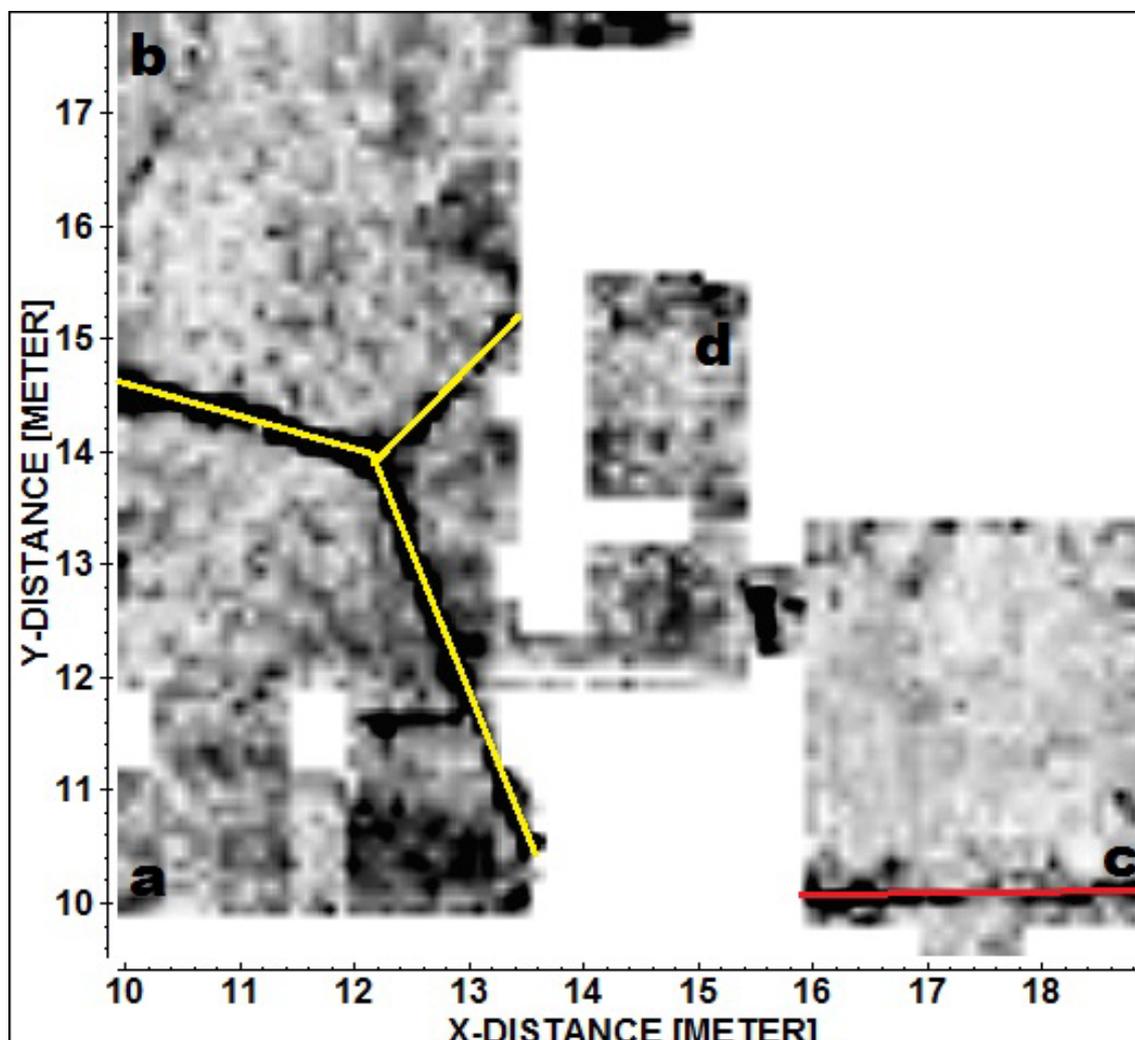


Figura 18: Time Slice 3,026 (-0,17m) do polígono A1 (a estão marcados as infraestruturas eléctricas também registadas na imagem anterior; a vermelho é marcado um alinhamento correspondente a uma canalização).

O Time Slice dos 6,904ns (-0,38 metros) (Figura 19) apresenta, marcadas a amarelo, uma área anômala, que deverá corresponder às fundações de uma parede que foi removida desta divisão. Além dos relatos orais, não existem mais indícios desta parede, pelo que a sua interpretação é somente baseada em dados de Georadar, no entanto, a estrutura da casa leva a crer que esta parede tivesse existido e que o pilar que se encontra na divisão (espaço não adquirido ao centro da área marcada a amarelo) fosse o remanescente dessa estrutura.

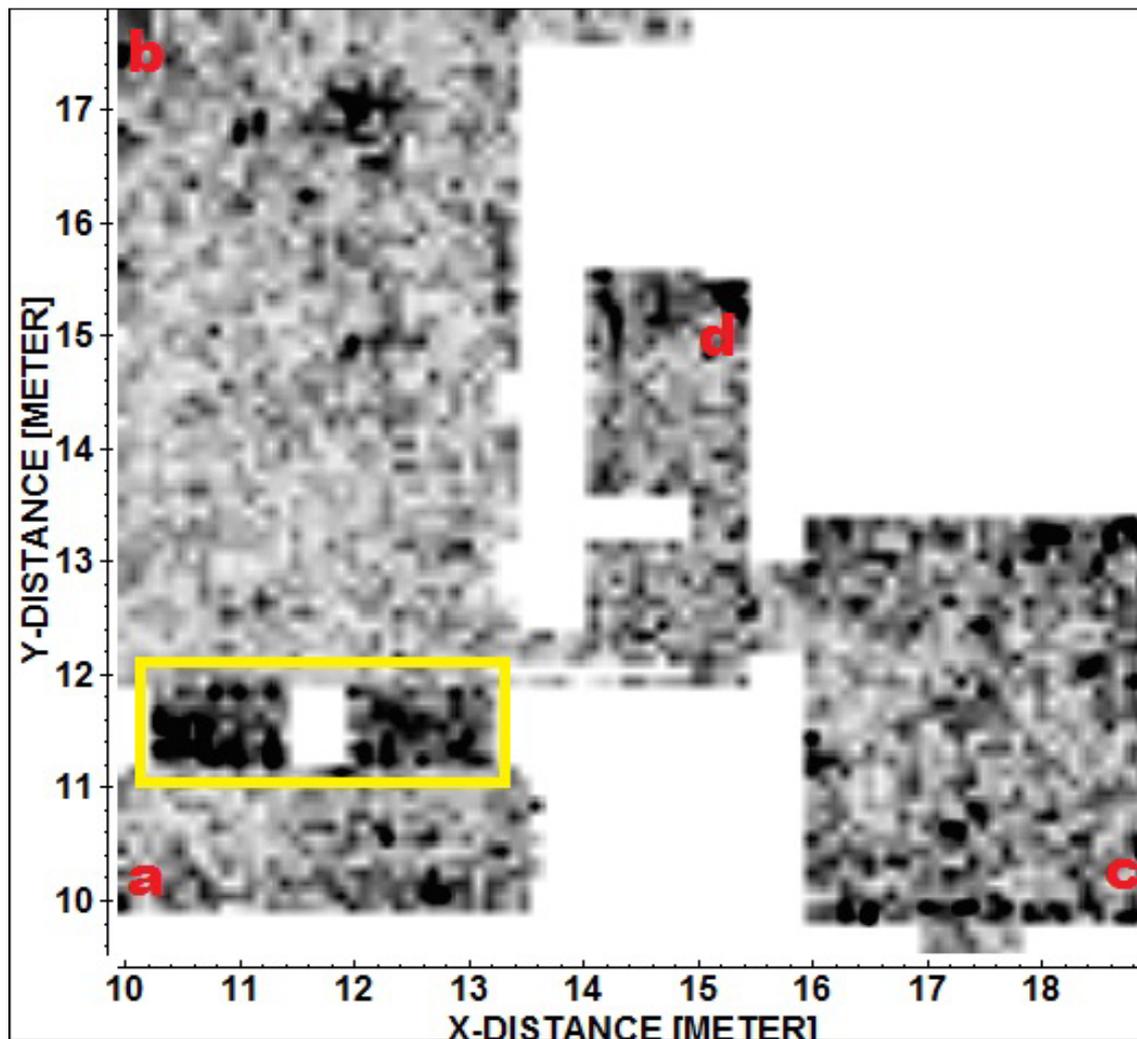


Figura 19: Time Slice 6,904 (-0,38m) do polígono A1 (a marcadas estão identificadas duas anomalias correspondentes às fundações de uma parede removida).

No Time Slice dos 9,363ns (-0,51 metros) é evidente uma grande anomalia que deverá ser concordante com as fundações da escadaria que foi removida do edifício (Figura 20). Tal como no caso anterior, esta interpretação é baseada nos dados do Georadar, uma vez que as únicas evidências desta estrutura, para além dos relatos orais, estão presentes na varanda imediatamente acima da anomalia. Esta varanda apresenta dois momentos distintos de construção detectados também por Georadar e apresentados mais à frente na interpretação dos polígonos V1, V1\_1, V1\_2 e V1\_3. Estes momentos construtivos são concordantes com a existência da dita estrutura.

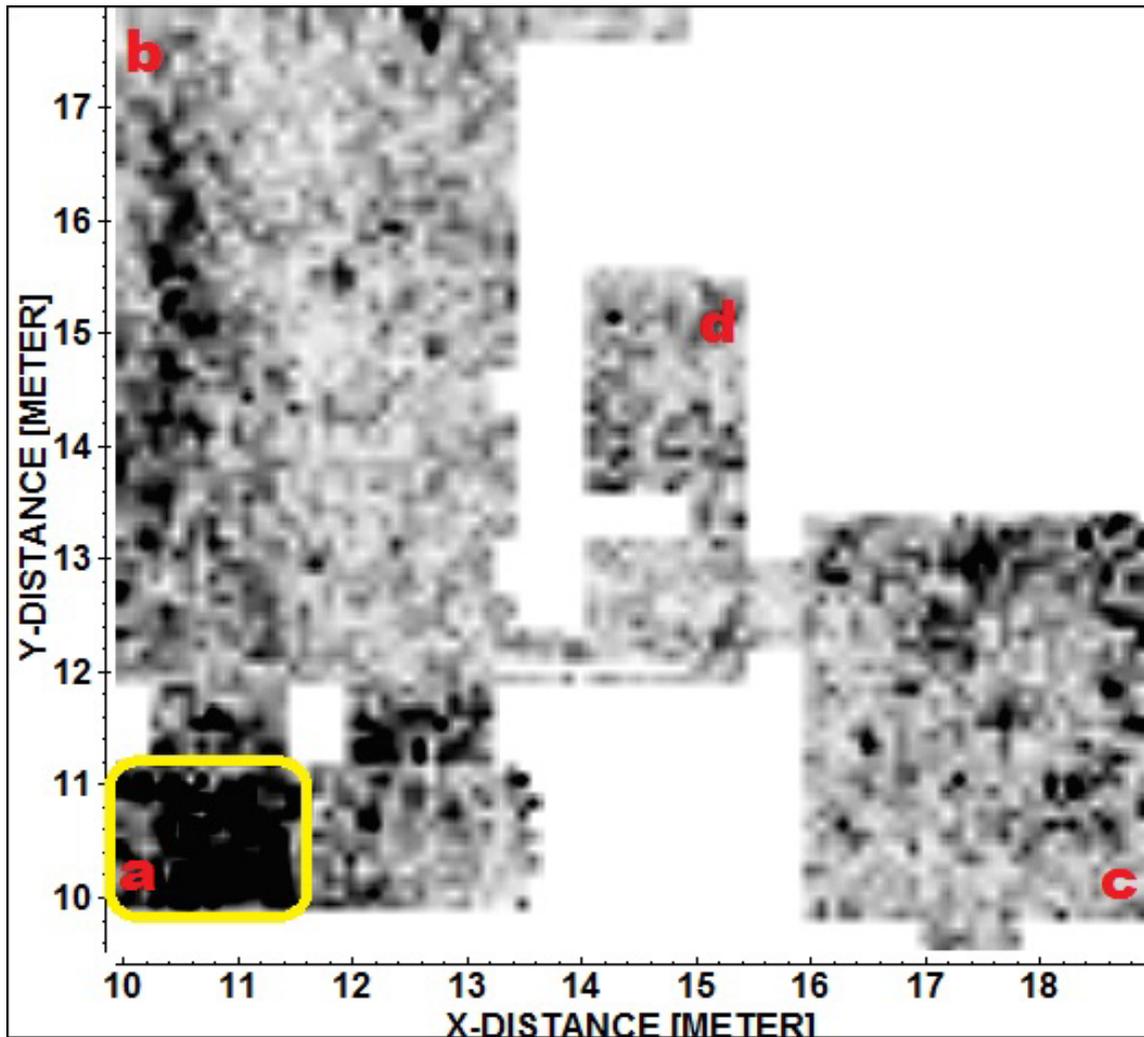


Figura 20: Time Slice 9,363 (-0,51m) do polígono A1 (no canto inferior direito, a amarelo, está uma anomalia que corresponder às fundações de uma escadaria removida).

#### 4.5.2. Polígono A2

No polígono A2 foram apenas detectadas duas anomalias de relevo. A primeira corresponde ao Time Slice dos 7.188ns (-0,39 metros) e apresenta a um alinhamento que poderá ser concordante com a presença das fundações de uma antiga parede (a amarelo na Figura 21). No entanto este alinhamento é pouco marcado e algo indefinido. Embora não haja registos disso, a presença de uma parede neste local seria espectável, não só por estar no alinhamento de uma parede existente na divisão adjacente, mas também pela existência de um pequeno pilar de suporte no local da anomalia que poderá estar a desempenhar as funções de suporte da parede removida (a laranja na Figura 21).

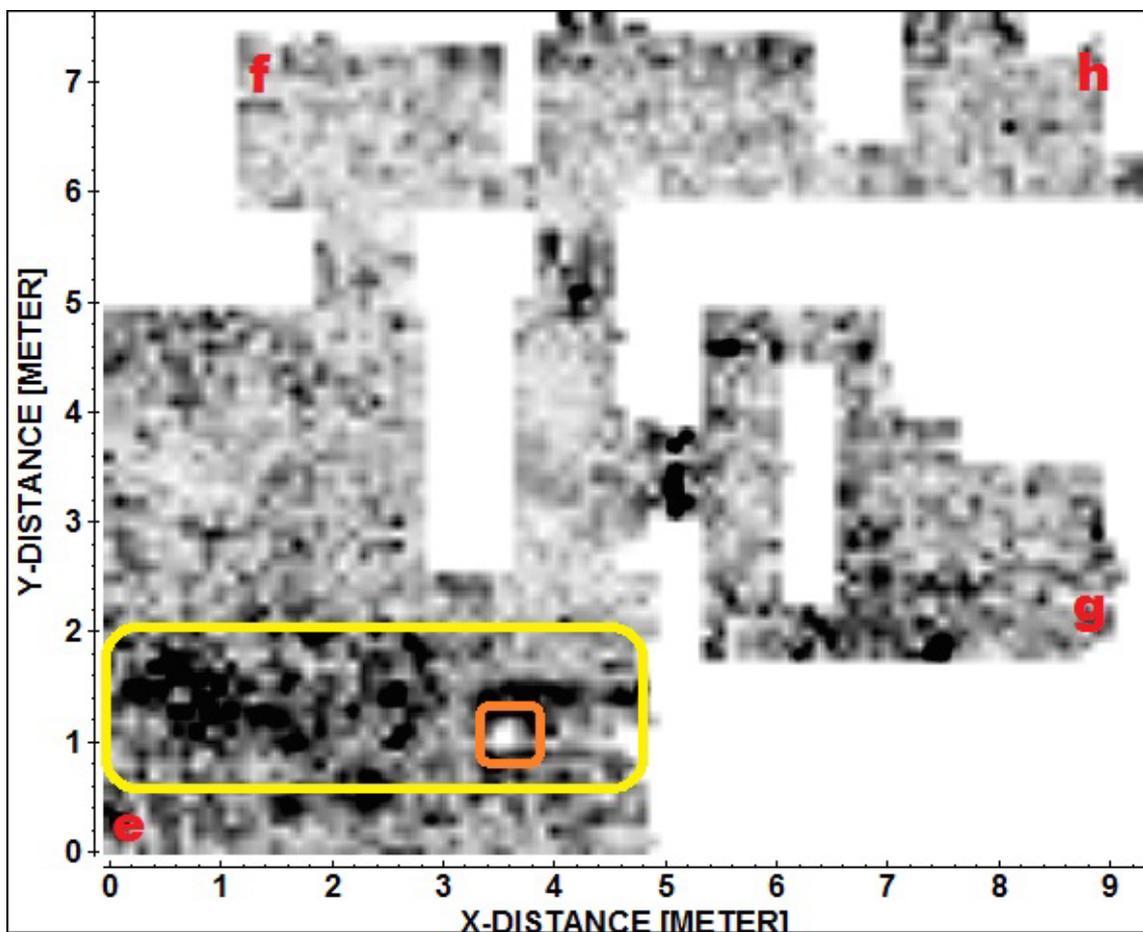


Figura 21: Time Slice 7,188 (-0,39m) do polígono A2 (a amarelo: alinhamento que poderá corresponder a uma fundação de uma parede; a laranja: pilar de suporte onde não se procedeu a aquisição).

No Time Slice 11,63ns (-0,63 metros) é identificável um alinhamento muito bem marcado que em conjunto com a sua análise em 2D (a amarelo no radargrama da Figura 22, localizado a vermelho na Figura 23) é possível concluir que se trata de uma

tubagem de grandes dimensões, possivelmente associada ao saneamento das casas de banho do edifício (Figura 24).

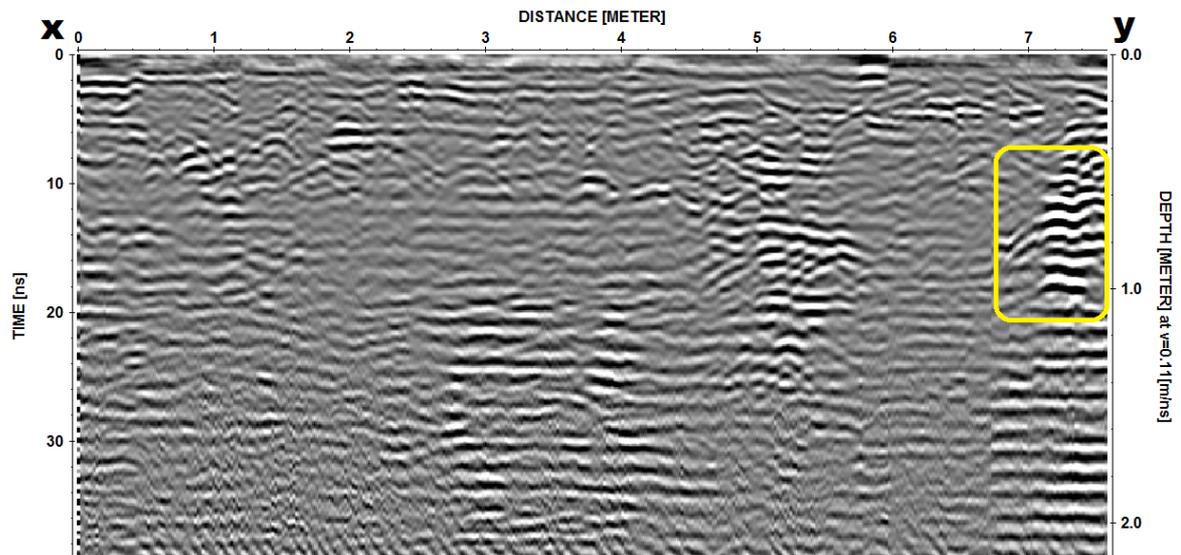


Figura 22: A amarelo está marcada a hipérbole de direcção originada por uma tubagem no radargrama 4610.

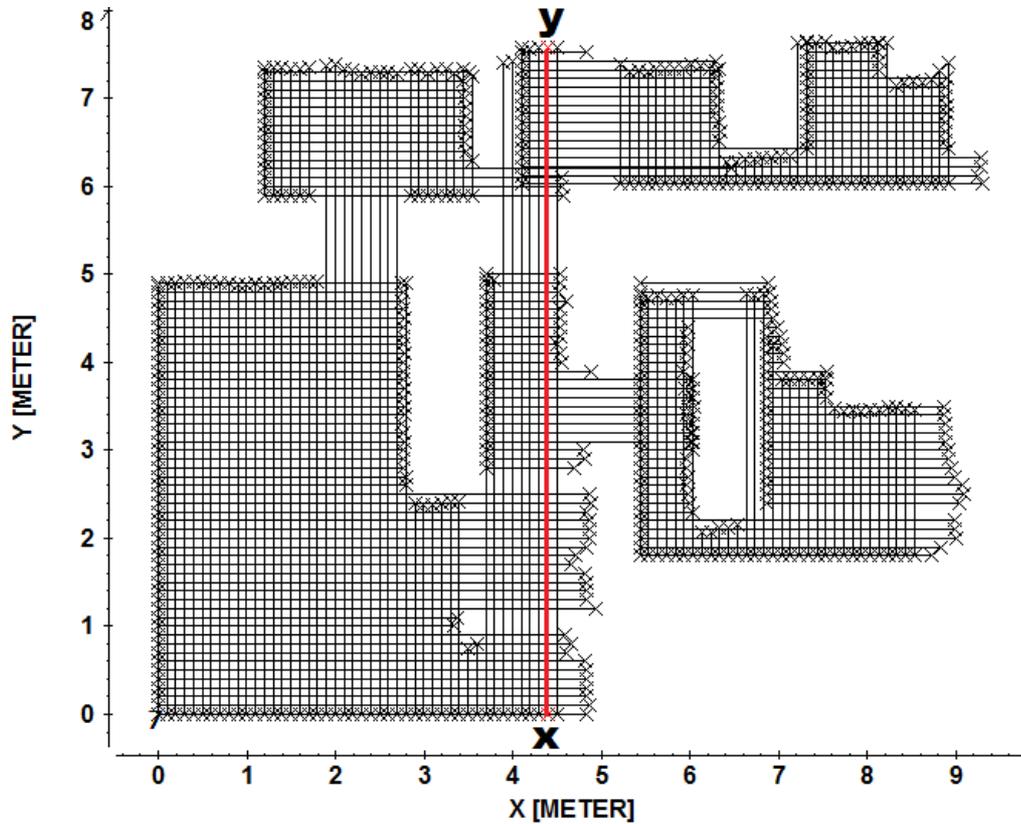


Figura 23: Localização do radargrama 4610 em relação os restantes radargramas do polígono A2.

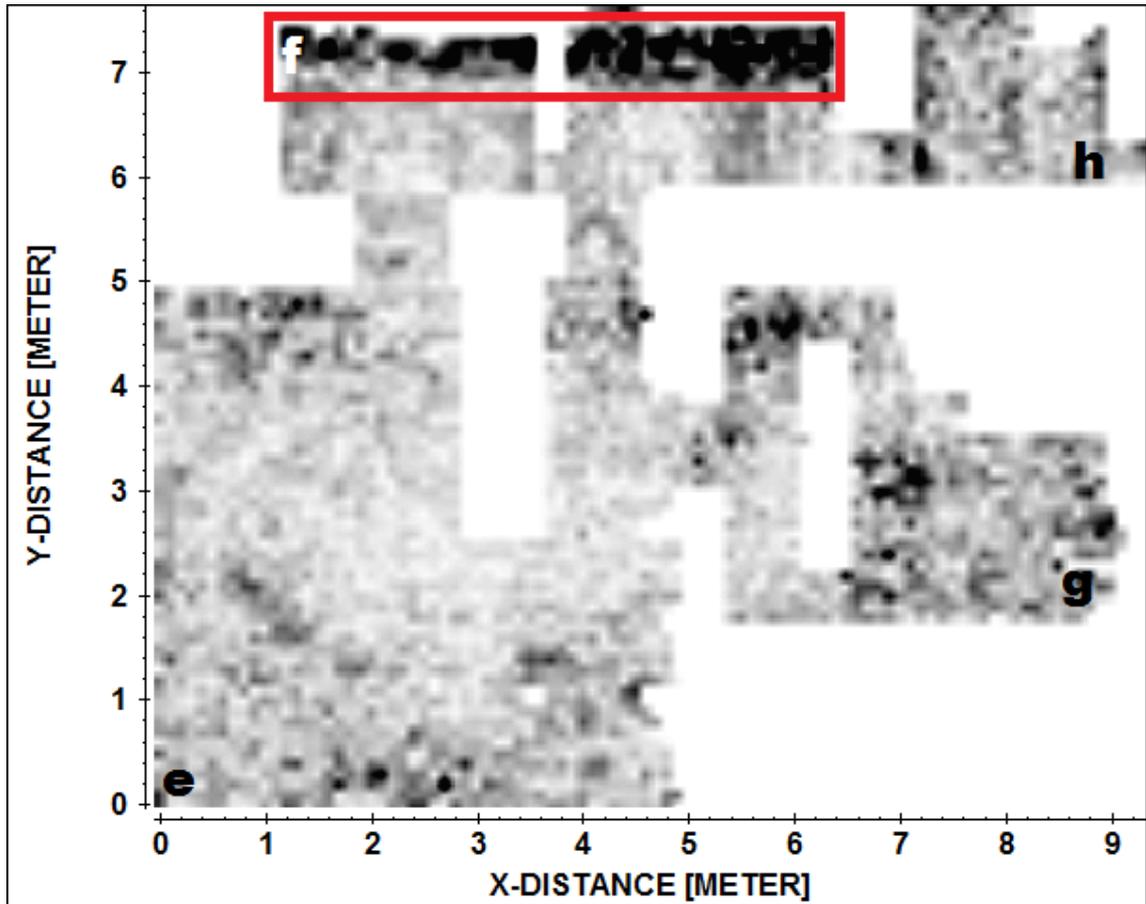


Figura 24: Time Slice 11,63 (-0,63m) (a vermelho: alinhamento concordante com uma tubagem de saneamento).

### 4.5.3. Polígono A3

Neste polígono foram registados três Time Slices com informação relevante:

No Time Slice dos 2,459ns (Figura 25), correspondente a uma profundidade estimada de 0,13 metros, identifica-se um alinhamento possivelmente relacionado com a infraestrutura eléctrica do edifício. No canto superior esquerdo da imagem existe uma outra anomalia que devido à sua localização e características poderá corresponder ao mesmo tipo de estrutura.

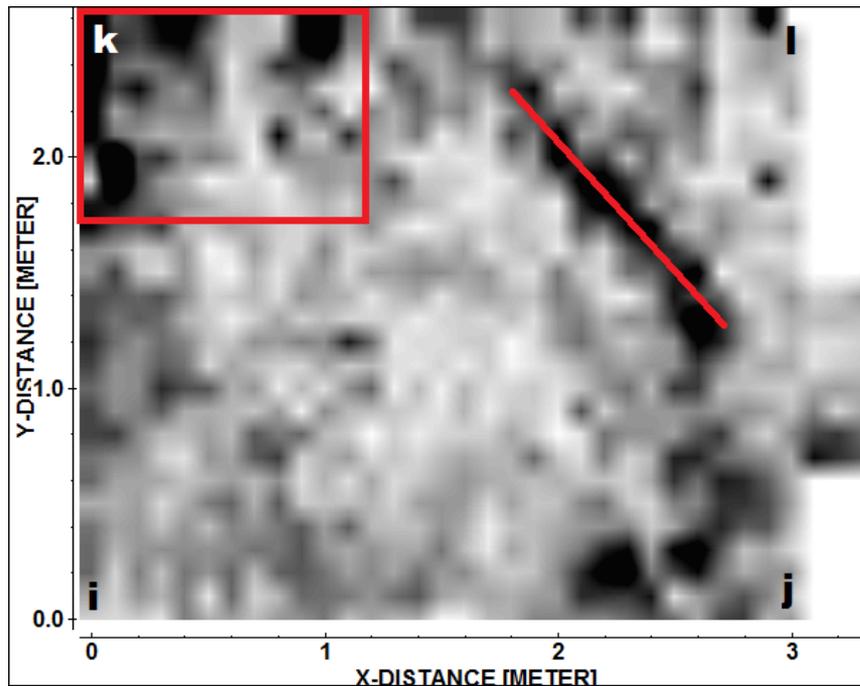


Figura 25: Time Slice 2,459 (-0,13m) do polígono A (marcados a vermelho estão um alinhamento e uma anomalia).

O Time Slice dos 5.013ns (-0.28 metros) (Figura 26) identifica-se duas anomalias: a vermelho está realçada uma anomalia que possivelmente representa as fundações do edifício na reentrância da janela; já a amarelo é apresentada uma anomalia provavelmente ainda relacionada com a anomalia registada no Time Slice anterior e que pode ser um efeito de uma fundação do edifício.

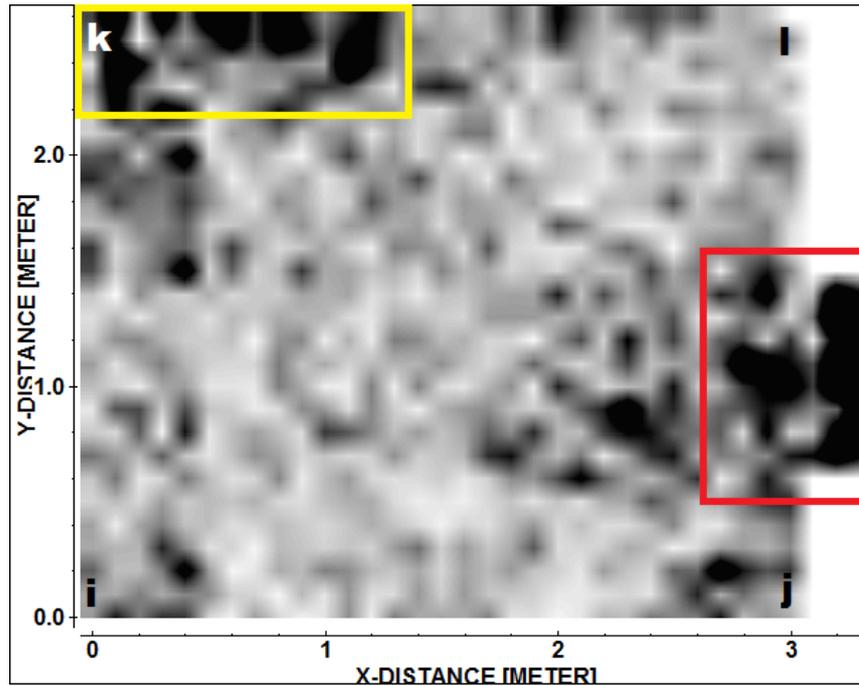


Figura 26: Time Slice 5,013 (-0,28m) do polígono A3 (anomalias marcadas a vermelho e amarelo).

Por último, no Time Slice dos 17,31ns (-0,86 metros) (Figura 27) encontramos ainda o efeito das fundações do edifício na janela desta divisão. Identifica-se também um alinhamento que poderá estar relacionado com as fundações da parede.

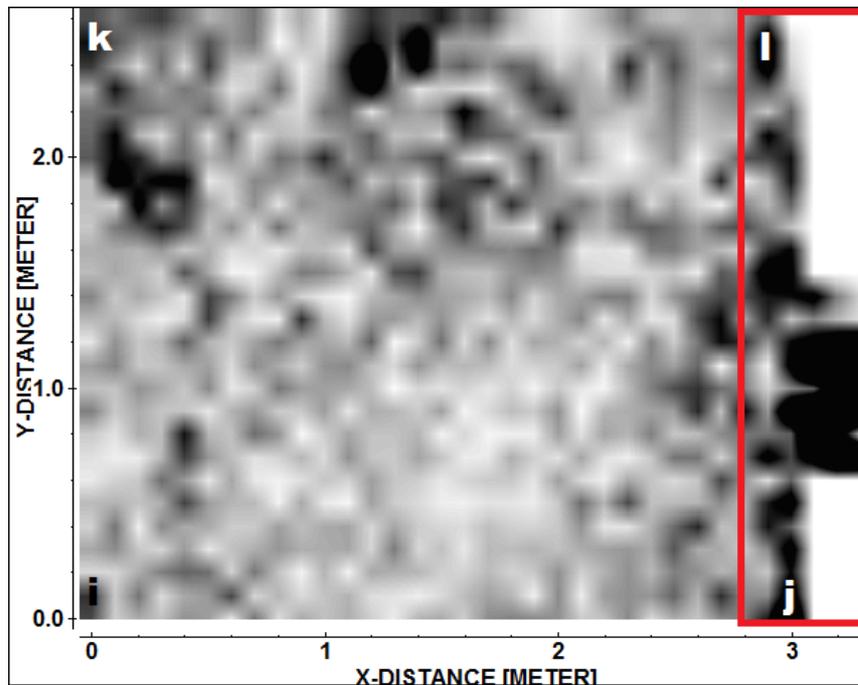


Figura 27: Time Slice 17,31 (-0,86 metros) do polígono A3 (a vermelho está marcada uma anomalia correspondente às fundações do edifício).

#### 4.5.4. Polígono A4

O polígono P4 apresenta apenas informação relevante no Time Slice dos 16,46ns (-0,9 metros) (Figura 28). Neste são identificados 3 conjuntos de anomalias: o primeiro, a vermelho na figura, parece representar as fundações do edifício na área da janela tal como no caso do polígono A3; a verde aparece uma pequena anomalia de origem desconhecida; finalmente, a amarelo, está realçado um alinhamento que aparenta estar no seguimento da parede que divide as áreas A1 e A2. Esta última anomalia poderá estar relacionada com a presença das fundações de uma parede de pequena espessura actualmente demolida. No entanto todas estas anomalias aparecem apenas neste Time Slice, o que poderá indicar que se não se trate realmente deste tipo de estruturas mas sim apenas anomalias de reduzida expressão e pouco significativas que conjuntamente surgem alinhadas.

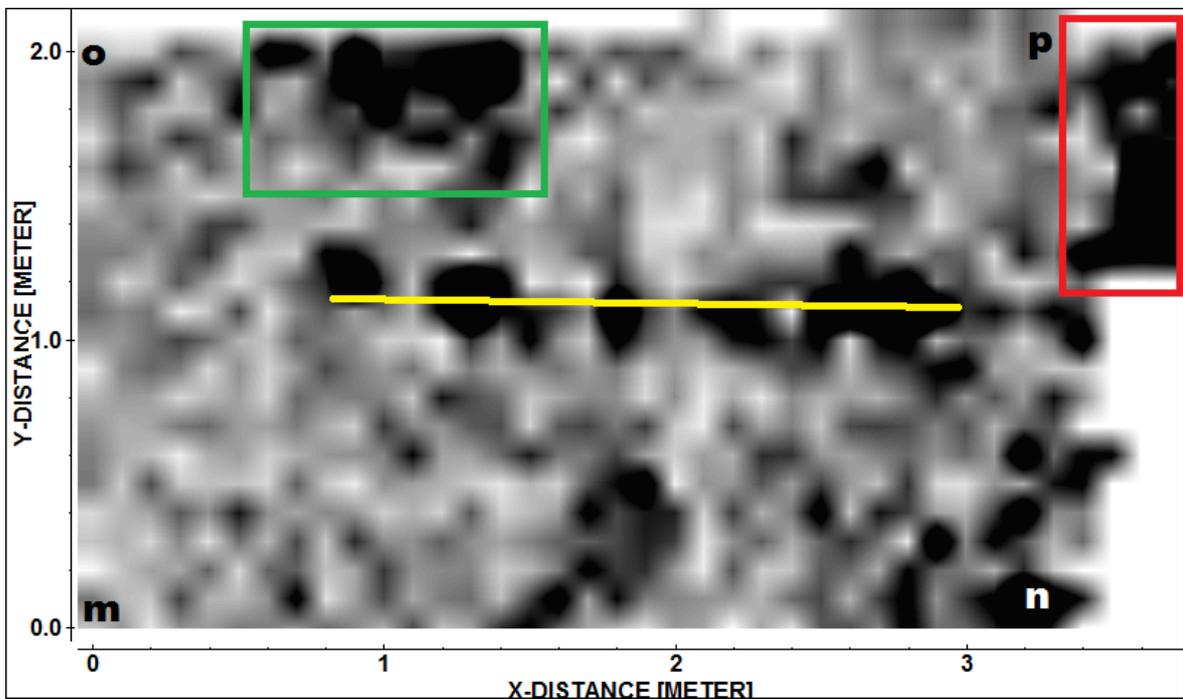


Figura 28: Time Slice 16,46 (-0,9m) com os diversos alinhamentos e anomalias.

#### 4.5.5. Polígono E1

Neste polígono, devido aos objectivos da prospecção, a principal informação será tratada sobre os perfis 2D.

Em primeiro lugar, determinou-se a velocidade de propagação das ondas EM no meio, de modo a ter uma estimativa correcta da profundidade e possibilitando a migração dos dados. Esta velocidade foi estimada em 0,09m/ns (Figura 29).

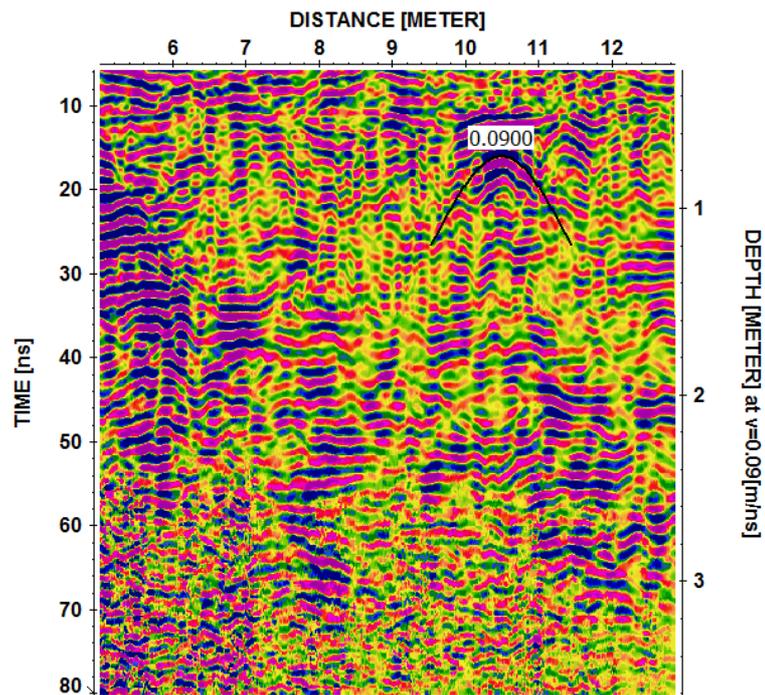


Figura 29: Adaptação de uma hipérbole de difracção para uma velocidade de propagação da onda EM de 0,09m/ns.

Na Figura 30 é apresentado o radargrama 4685 deste polígono. Este radargrama representa o perfil adquirido mais a norte neste polígono estando orientado de Este para Oeste (Figura 31). Neste radargrama é possível identificar, a vermelho, um reflector muito bem marcado com uma hipérbole de difracção logo a baixo. Este sinal poderá corresponder a uma estrutura antrópica, como uma laje de cimento, com uma tubagem logo abaixo. É ainda relevante descrever a presença de diversas hipérboles de difracção neste radargrama, cuja presença é também identificável nos restantes radargramas, uma vez que estas estruturas podem estar relacionadas com o enchimento deste local por aterro. Marcado a amarelo na imagem é visível uma estrutura em forma de “vale”, estrutura esta que poderá estar também relacionada com a perturbação antrópica do local. Finalmente é relevante identificar a presença de uma grande atenuação do sinal aos 40/50ns (a azul na figura), que poderá indiciar a presença de uma maior quantidade de água no solo ou mesmo a presença de uma camada argilosa. Esta camada inicia-se entre os 1,8 e os 2,2 metros de profundidade.

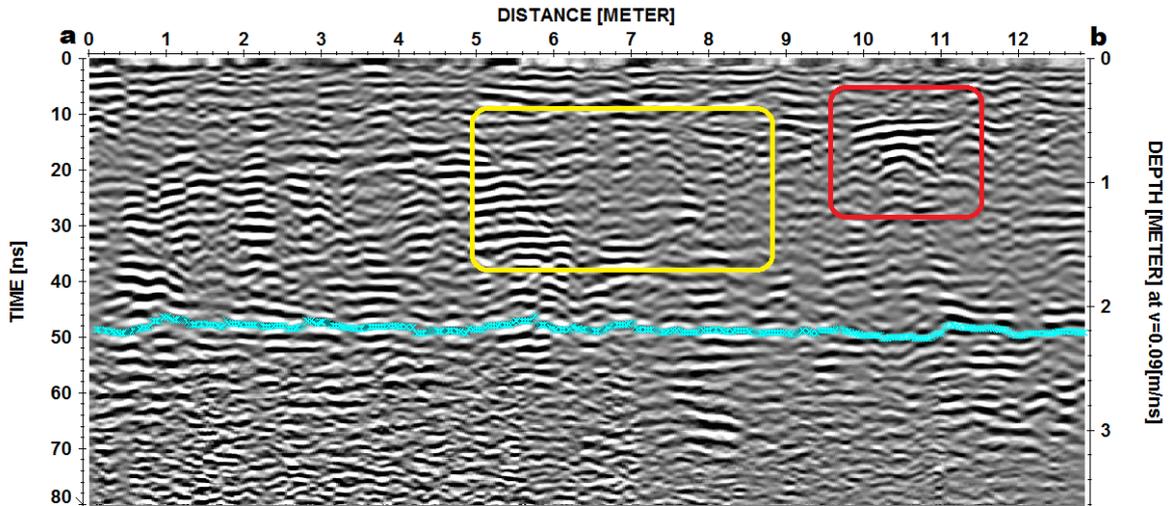


Figura 30: Radargrama 4685 do Polígono E1 (neste radargrama está marcado a vermelho um reflector sobreposto a uma hipérbole a qual deverá corresponder a uma estrutura antrópica; a amarelo uma estrutura em forma de vale e a azul uma região com mais atenuação).

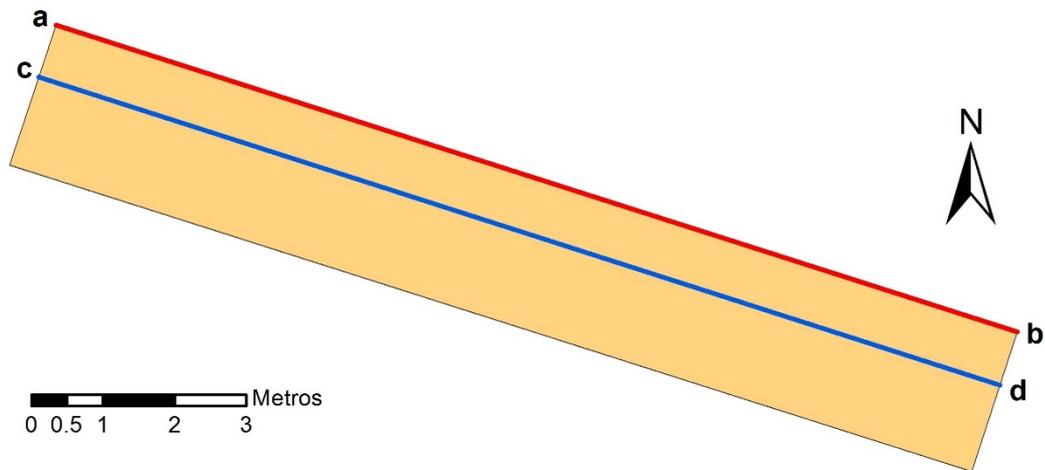


Figura 31: Polígono E1 (a castanho) com marcação dos perfis 4685 (a vermelho) e 4690 (a azul).

A Figura 32 apresenta o radargrama 4690 da área E1. Neste radargrama orientado de Este para Oeste (Figura 31) estão marcados os principais eventos estratigráficos registados. A linha a vermelho marca a base de uma estrutura praticamente paralela à superfície. Com uma espessura de aproximadamente 0,40 metros esta estrutura aparenta ser uma laje de cimento e o seu substrato. Mais a baixo, a verde, encontra-se reflector que, devida à sua regularidade poderá corresponder a um antigo piso. Este reflector delimita a base de uma sucessão de materiais menos uniformes que poderá corresponder ao enchimento por aterro da área. A azul está marcada a zona em que

se encontra uma grande atenuação. Esta poderá representar o nível freático na área do polígono ou então a presença de um nível de argilas que provoque este tipo de perda de sinal.

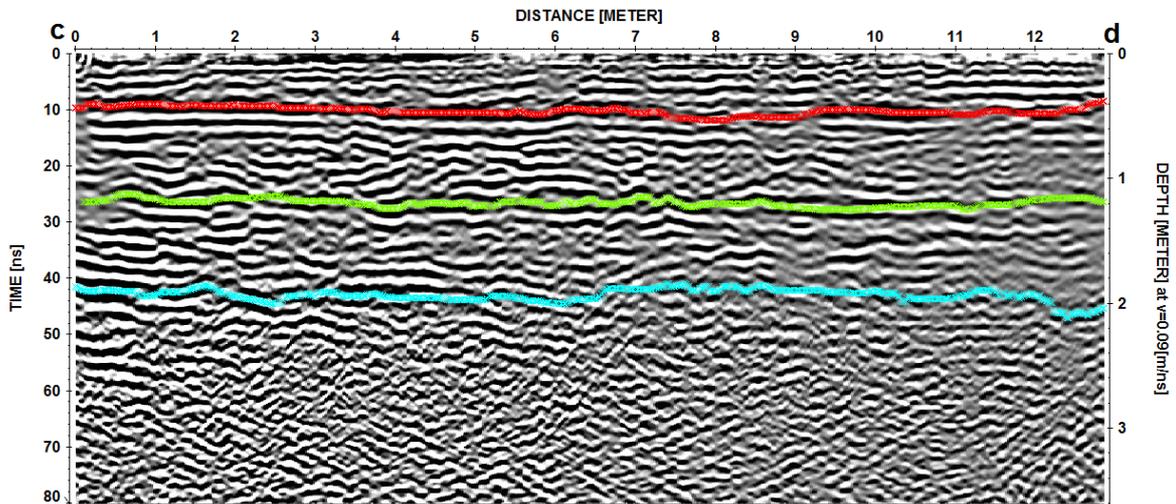


Figura 32: Radargrama 4690 da área E1 (a vermelho esta marcado um reflector correspondente à base da laje de cimento; a verde é marcado um nível mais irregular; a azul está marcado um nível com uma maior atenuação possivelmente correspondente ao nível freático ou a um nível mais argiloso).

Quanto à interpretação em 3D do polígono E1, não foram identificadas outras anomalias relevantes. Apenas de notar o Time Slice 32,52 (-1,46 metros) (Figura 33), que apresenta um alinhamento concordante com a antiga entrada em escadaria para o primeiro piso do edifício.

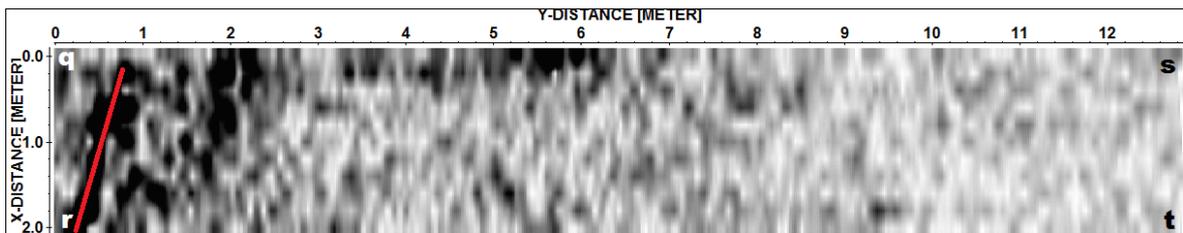


Figura 33: Time Slice 32,52 (-1,46m) do polígono E2 (à direita é possível identificar um alinhamento possivelmente relacionado com a escadaria removida do edifício).

#### 4.5.6. Polígono E2

Neste polígono, quando se procedeu à determinação da velocidade de propagação das ondas EM, como pode ser verificado no radargrama 4696 (Figura 36), notou-se uma grande variação desta ao longo do radargrama. Assim assumiu-se que 0,1m/ns seria uma velocidade que se poderia ajustar a todo este radargrama.

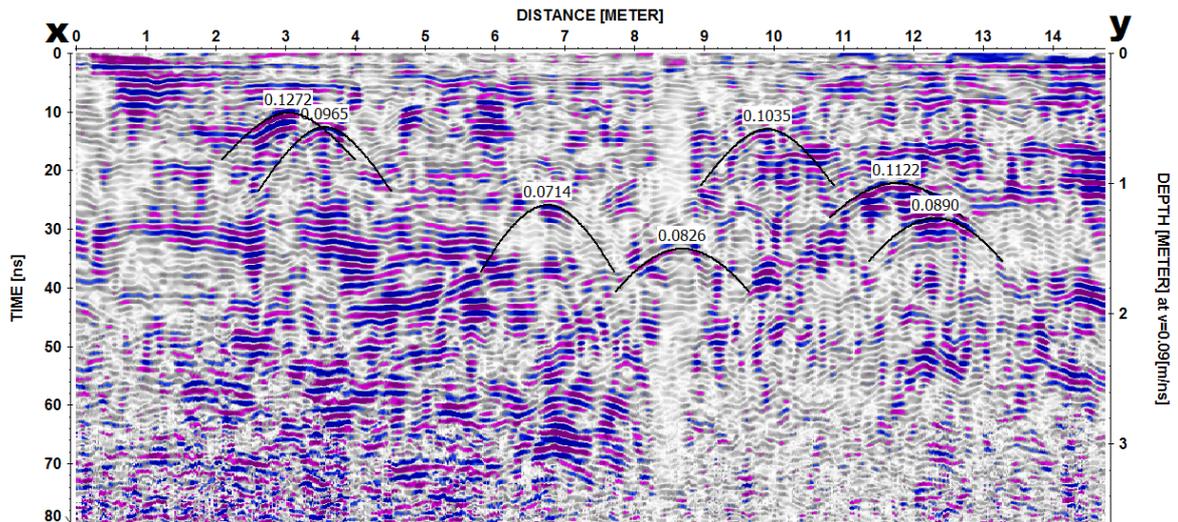


Figura 34: Radargrama 4696 (Polígono E2) com a adaptação de hipérboles de difração à velocidade de propagação das ondas EM.

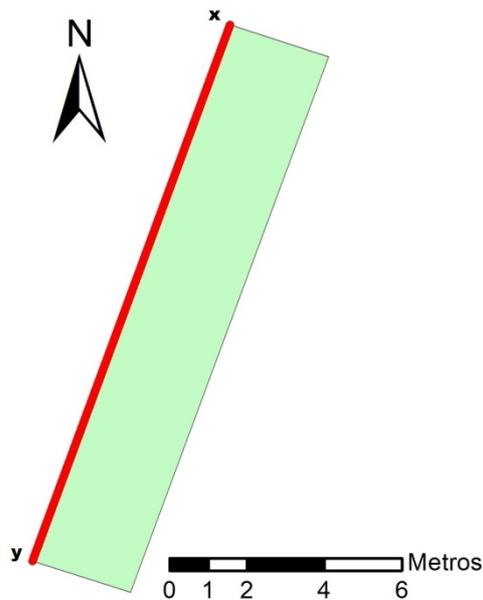


Figura 35: Radargrama 4696 (a vermelho) relativamente ao polígono E2 (a verde)

A interpretação 2D deste polígono revelou uma perturbação antrópica intensa nesta área. É possível verificar no radargrama 4696 (Figura 36) inúmeras hipérboles de difracção, o que poderá ser facilmente explicado pela presença de muitas infraestruturas enterradas (por exemplo canalizações e cablagens eléctricas). Ainda de notar que neste radargrama a atenuação de sinal é registada um pouco mais abaixo que no caso do polígono E1. Isto poderá ser explicado pela perturbação antrópica da área, pela diferente constituição do solo assim provocada e, principalmente, pela cota ligeiramente superior a que se localiza este polígono relativamente ao primeiro.

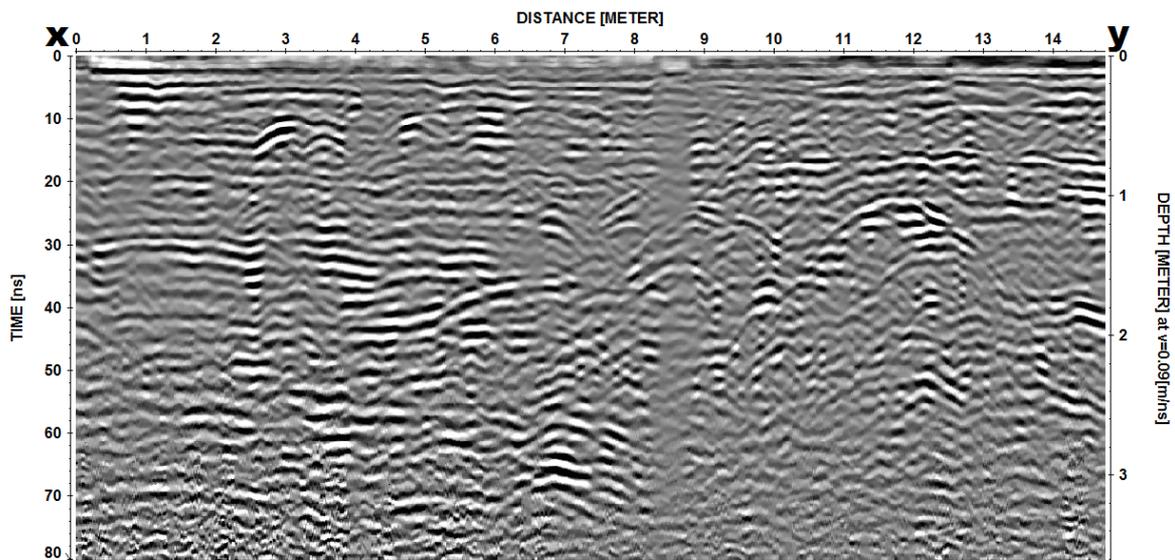


Figura 36: Radargrama 4696 (Polígono E2).

Quanto à interpretação dos dados em 3D, é possível identificar diversas estruturas:

O primeiro Time Slice (Figura 37), que representa a superfície do solo (ou a área imediatamente abaixo desta) apresenta um conjunto de anomalias quadrangulares que representam as tampas de acesso a infraestruturas. Estas tampas metálicas poderão perturbar a captação de sinal abaixo destas.

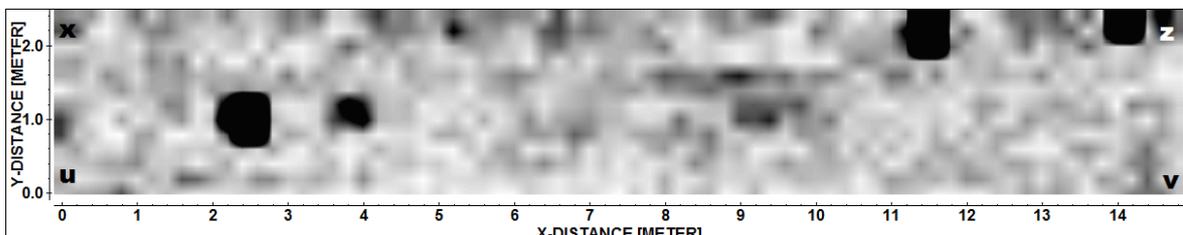


Figura 37: Time Slice 0,985 do polígono E2 (-0.04m). (é possível identificar o efeito provocado pelas tampas metálicas de acesso a infraestruturas a negro).

No Time Slice dos 19,19ns (-0,81 metros) (Figura 38) é possível identificar a presença de uma anomalia que aparenta corresponder à estrutura escavada para implantação de um sinal luminoso de regulação de trânsito.

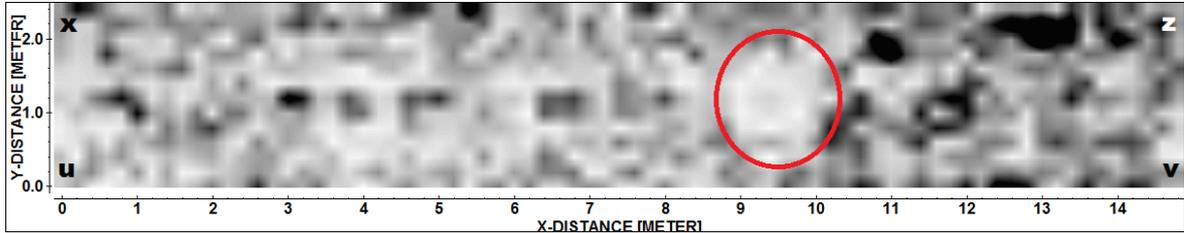


Figura 38: Time Slice 16,19 (0,81m) do polígono E1 (a vermelho está marcada uma anomalia causada pela escavação de implementação de um sinal luminoso).

No Time Slice 29,42 (-1,47 metros) é possível identificar a presença de uma conduta de grandes dimensões que aparenta estar orientado com o passeio (Figura 39).

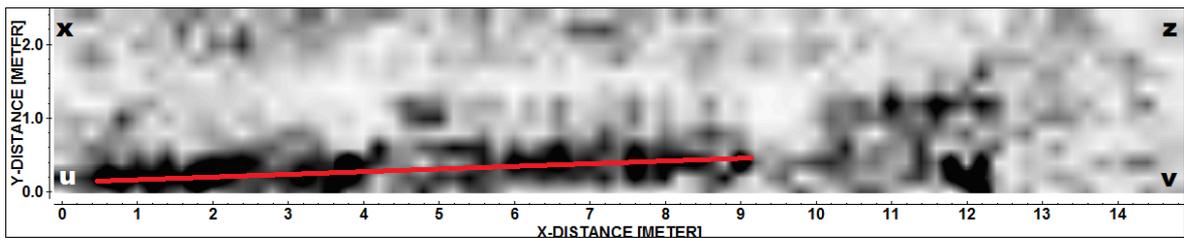


Figura 39: Time Slice 29,42 (-1,47m) do polígono E2 (marcado a vermelho é visível a anomalia causada por uma infraestrutura presente).

#### 4.5.7. Polígono V1

Neste polígono a velocidade de propagação das ondas EM estimada foi de 0,14m/ns. Esta determinação da velocidade das ondas EM foi baseada numa aquisição efectuada com a antena de 1.6GHz, uma vez que a antena de 800MHz apresentou pouca definição neste trabalho (Figura 40).

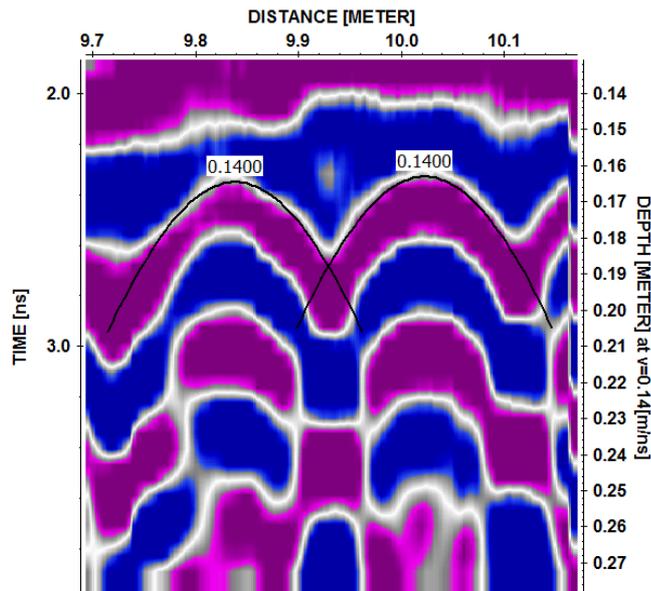


Figura 40: Determinação da velocidade de propagação das ondas EM no polígono V1 através da adaptação de hipérbolas de difracção.

Da aquisição efectuada com a antena de 800 MHz na varanda é possível verificar que esta é reforçada com uma malha de aço disposta em grelha (Figura 41). No entanto a antena usada nesta aquisição não permitiu maior detalhe na caracterização desta estrutura.

Nos Time Slices da Figura 41 são identificáveis duas direcções de aço de reforço e é possível verificar as diferenças entre duas malhas de aço diferentes, uma mais espaçada (0,2 metros), à esquerda das imagens e outra menos espaçada (0,1 metros) à direita das imagens.

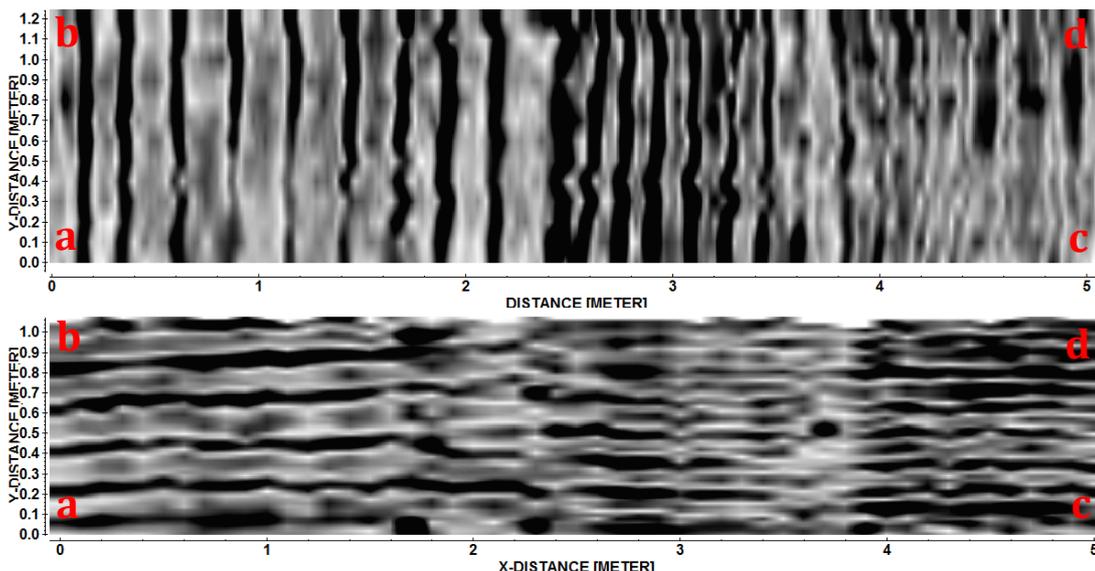


Figura 41: Time Slices 3,026 (-0,21m) do polígono V1. Em cima: Time Slice correspondente à aquisição paralela ao alongamento da área. Em baixo: aquisição perpendicular à anterior.

Na Figura 42 é apresentada uma representação em isosuperfícies da estrutura em aço da varanda, junto da porta de acesso ao interior da casa. Nesta é possível verificar uma direcção principal do aço com um espaçamento de 0,1 metros.

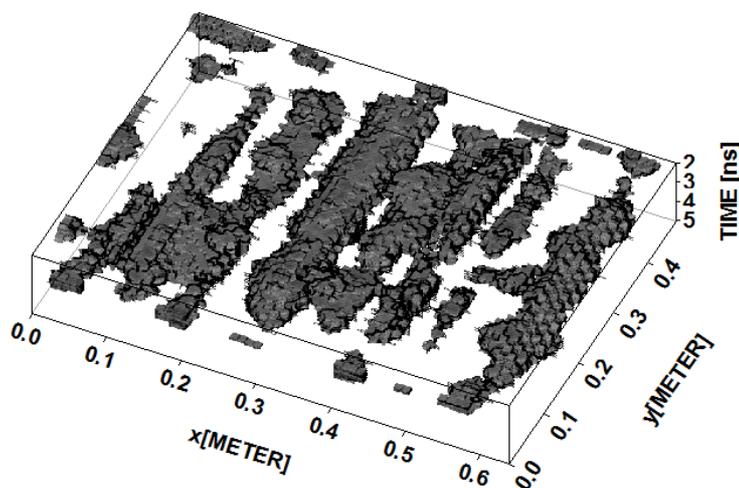


Figura 42: Composição 3D dos Time Slices do polígono V1\_1 (é possível verificar que o espaçamento entre barras de aço é de 0,1m).

A imagem da Figura 43 representa, por meio de isosuperfícies, a estrutura em aço no polígono V1\_2. Nesta imagem é possível verificar a maior complexidade da estrutura em relação ao polígono V1\_1. Isto pode ser explicado pelo facto de este polígono ter sido adquirido na zona de transição entre a área original da varanda e a área acrescentada posteriormente. Assim nesta zona ter-se-á a presença das duas malhas de ferro interligadas.

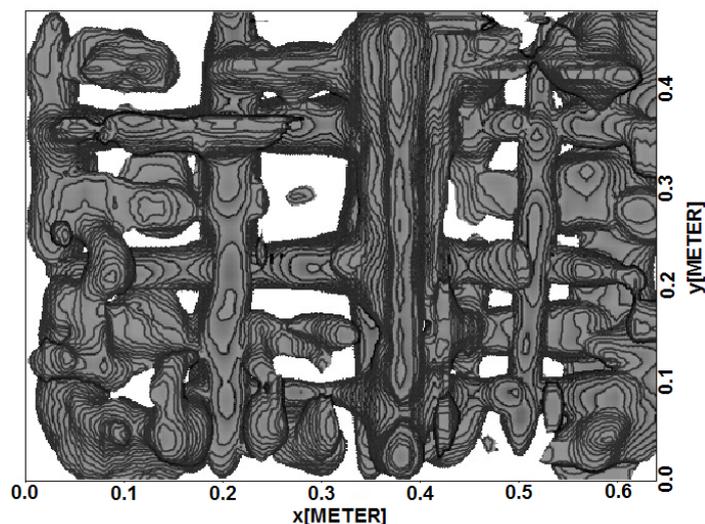


Figura 43: Composição 3D dos Time Slices do polígono V1\_2 (é possível verificar uma maior complexidade na malha de ferro).

O polígono V1\_3 está representado na Figura 44 por meio de isosuperfícies. Neste caso, mais uma vez, é possível verificar a presença de uma malha de aço, tendo esta um espaçamento mais largo que nos anteriores casos (0,2 metros). Este facto poderá ser concordante com uma estrutura em aço diferente entre a área antiga da varanda e área onde este polígono foi adquirido.

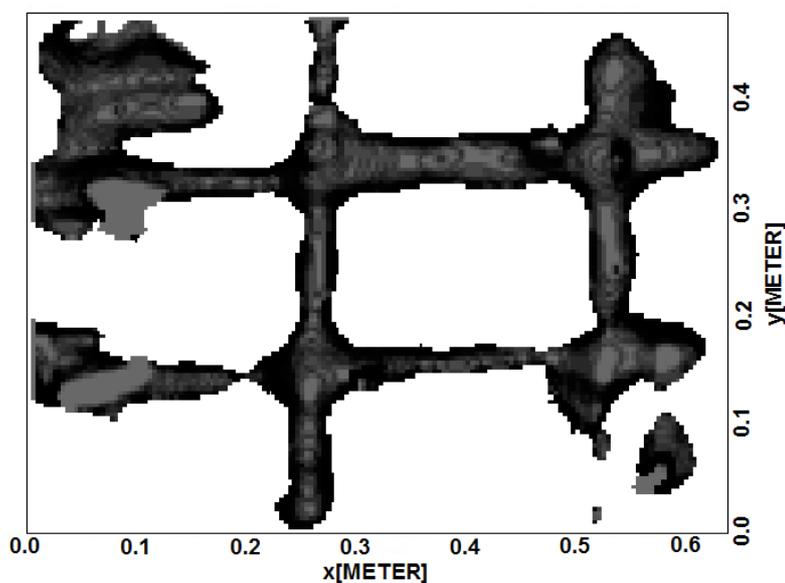


Figura 44: Composição 3D dos Time Slices do polígono V1\_3 (é possível identificar um maior espaçamento da malha de aço que neste caso é de aproximadamente 0,2m).

#### 4.5.8. Linhas L1 e L2

Na análise 2D (Figura 45) das linhas de aquisição efectuadas ao longo do corredor foi possível tirar as seguintes conclusões:

A varanda nascente do edifício aparenta ter uma estrutura em aço idêntica à estrutura original da varanda onde foi adquirida o polígono V1. A vermelho na imagem está marcada uma zona que se detectaram uma sucessão hipérbolés de difracção espaçadas de 0,1 metros o que indica a presença nesta área de ferro com o mesmo espaçamento;

Ema vez que a distância medida entre o topo do radargrama e o início das hipérbolés de difracção é de 0,06 metros, o soalho em madeira do edifício deverá ter essa espessura;

Na zona marcada a azul é possível verificar a presença das várias vigas de suporte do soalho bem como em alguns pontos a sua ligação às paredes de suporte. A amarelo estão marcadas as paredes exteriores do edifício.

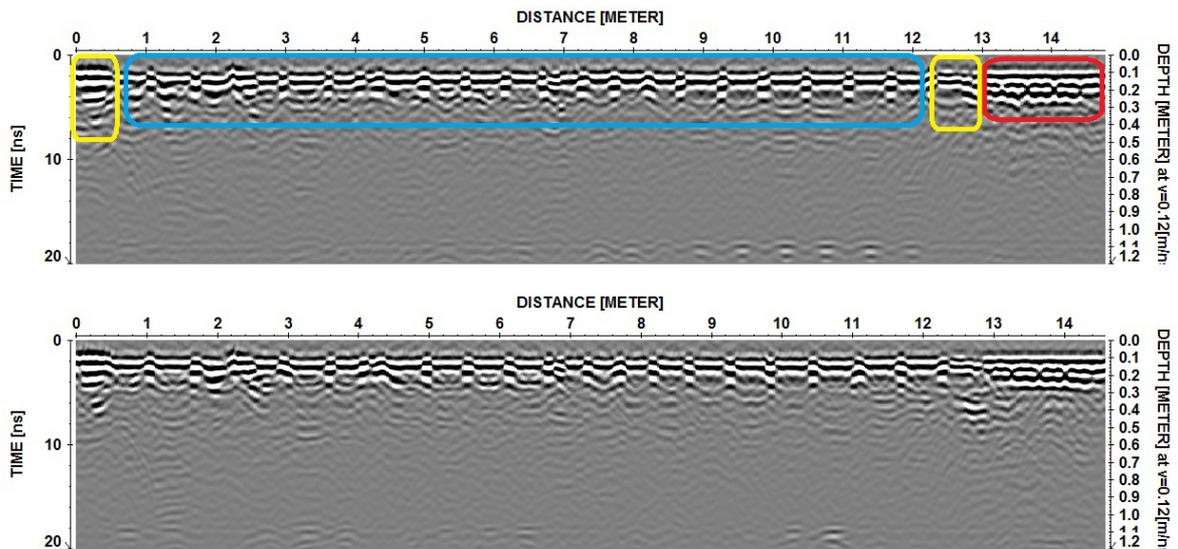


Figura 45: Radargramas correspondentes ao perfil L1 (em cima) e L2 (em Baixo) (a amarelo estão assinaladas as paredes exteriores do edifício; a azul a área de soalho em madeira e a vermelho a zona correspondente à varanda SE do edifício).

#### 4.5.9. Polígono P1

No caso dos polígonos P1 a P5 foi usada uma velocidade de propagação da onda EM de 0,1m/ns. Esta velocidade foi usada uma vez que não foram detectadas hipérbolés de difracção que possibilitassem estimar a velocidade de propagação destas ondas. Assim foi usada uma velocidade “Standard” do software de processamento.

Neste polígono de aquisição, através da interpretação 3D dos resultados foi possível identificar duas situações relevantes:

Em primeiro lugar, no Time Slice dos 0,9387ns (-0,05 metros) (Figura 46) é possível identificar os materiais que constituem esta parede. Neste Time Slice é possível verificar que a parede é uniforme e não aparenta ter diferentes fases construtivas, uma vez que toda ela é constituída pelo mesmo tipo de alvenaria e não aparentam existir interrupções na construção. No que respeita à alvenaria esta apresenta dimensões de 0,26 metros de comprimento por 0,05 metros de altura.

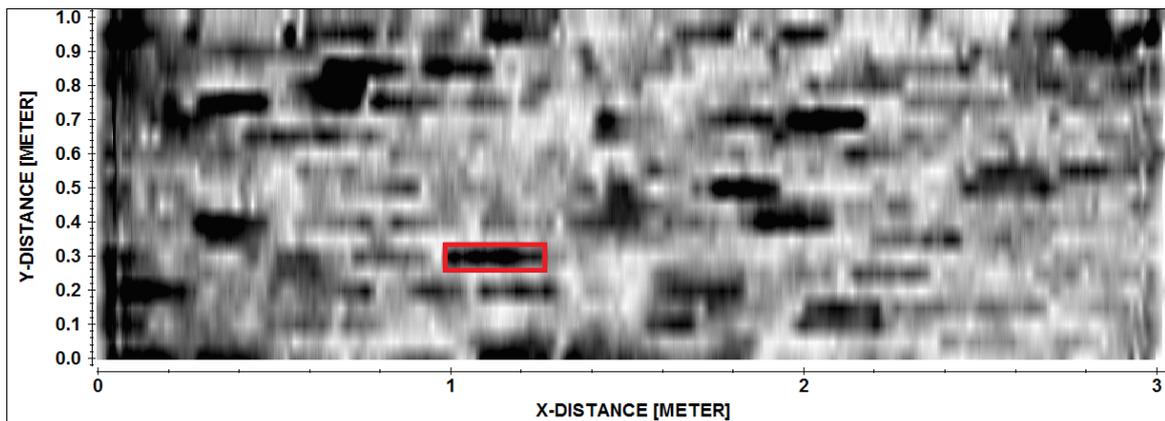


Figura 46: Time Slice 0,9387 (-0,05m) do polígono P1 (a vermelho está marcado um exemplo de um tijolo da alvenaria).

Em segundo lugar, no Time Slice dos 2,619ns (-0,13 metros) (Figura 47) é possível identificar uma grande anomalia junto ao limite esquerdo da parede. Esta anomalia poderá representar uma patologia no interior da parede, uma vez que a alvenaria anteriormente descrita ainda se encontra presente, tanto na área da anomalia como fora desta, embora com menos definição devida à atenuação do sinal.

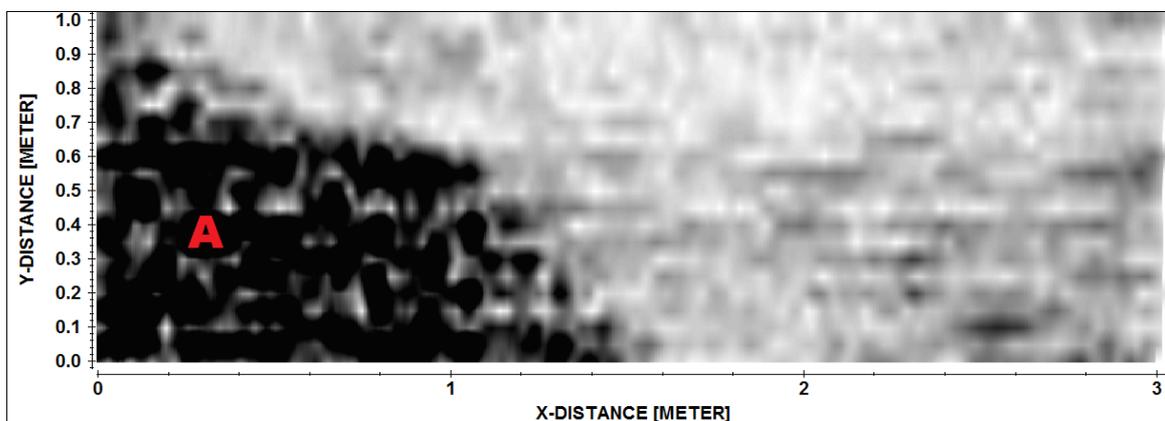


Figura 47: Time Slice 2,619 (-0,13m) do polígono P1 (a negro (A) é apresentada uma anomalia que aparenta estar relacionada com uma infiltração de água na parede).

#### 4.5.10. Polígono P2

No Time Slice dos 1,235ns (-0,06 metros) (Figura 48) é possível verificar a presença de alvenaria na parede com 0,1 metros por 0,3 metros. Esta alvenaria aparenta ser consistente em toda a parede, o que leva a crer que esta parede não sofreu alterações após a sua construção. De notar que neste mesmo Time Slice se verifica a presença de um alinhamento. Este alinhamento é consequência da presença de um fio eléctrico na superfície da parede. Uma vez que não foi possível remover este fio eléctrico para proceder à aquisição, este foi coberto com uma cartolina para que fosse possível a passagem da antena. Esta cartolina fez com que a presença de ar abaixo desta, em conjunto com o metal do fio, fica-se registada no Time Slice por esta anomalia bem definida.

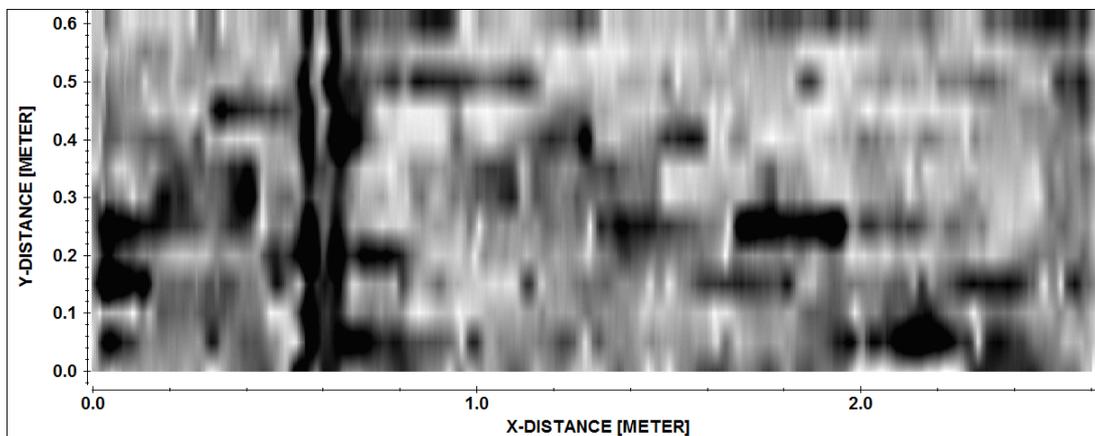


Figura 48: Time Slice 1,235 (-0,06m) do polígono P2 (identifica-se a disposição e dimensão da alvenaria. O alinhamento vertical representa um fio eléctrico presente à superfície).

No Time Slice dos 3,360ns (-0,17 metros) (Figura 49) ainda é possível verificar a existência da anomalia causada pelo fio eléctrico à superfície. Assim é apenas relevante, neste Time Slice, a presença de uma nova anomalia vertical, mais à direita. Esta anomalia deverá corresponder à existência de um pilar ou do encaixe de uma parede perpendicular à parede aonde se adquiriu o polígono P2.

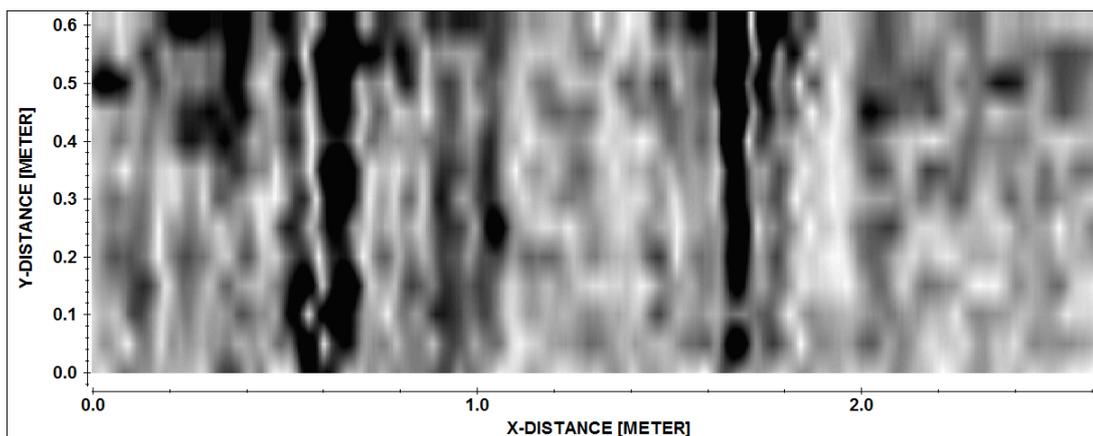


Figura 49: Time Slice 3,360 (-0,17 metros) do polígono P2. (Para além do alinhamento anteriormente identificado, à esquerda é possível verificar um outro alinhamento que corresponderá ao encaixe de uma parede perpendicularmente à aquisição.)

#### 4.5.11. Polígono P3

No que respeita ao polígono P3, na Figura 50 é apresentado Time Slice dos 1,038 (-0,05 metros). Neste é possível verificar a presença de três eventos construtivos distintos. Em primeiro lugar é possível verificar que, da esquerda para a direita, dos 0 aos 0,12 metros, a alvenaria presente exibe características idênticas à apresentada no polígono P2. Isto leva a crer que ambas as áreas são constituídas pelo mesmo tipo de material. Dos 1,2 metros aos 2,4 metros, o material de construção varia, sendo que apresenta o maior contraste, possivelmente explicado por um maior teor em ferro na argila da alvenaria, ou por uma maior presença de ar no interior desta. Esta segunda alvenaria apresenta também dimensões diferentes da primeira (0,3 metros por 0,2 metros). Por último é possível verificar que, dos 2,4 metros até ao final da imagem, não parece existir alvenaria, mas sim uma estrutura vertical concordante com um pilar de suporte.

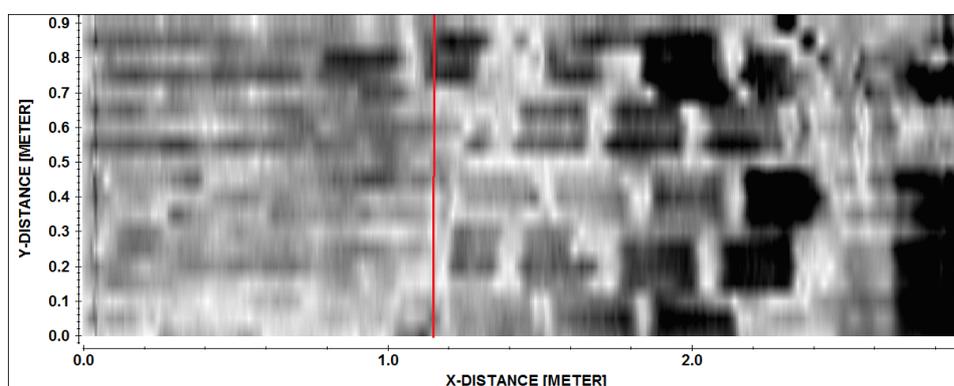


Figura 50: Time Slice 1,038 (-0,05m) do polígono P3. (É possível verificar dois tipos de alvenaria distintos (separado pela linha a vermelho) bem como, à direita, a presença de um pilar de suporte.)

No Time Slice 1,828 (-0,09 metros) (Figura 51) é possível verificar aos 2,6 metros a presença de uma anomalia (a vermelho). Esta anomalia aparenta ser consistente a armação em ferro presente no interior de um eventual pilar. Ainda neste Time Slice é possível identificar também um alinhamento entre os 1 e 1,2 metros (a azul). Este alinhamento é consistente com o encaixe de uma parede perpendicularmente à parede prospectada, bem como com a presença de uma estrutura delimitadora entre as duas áreas construtivas.

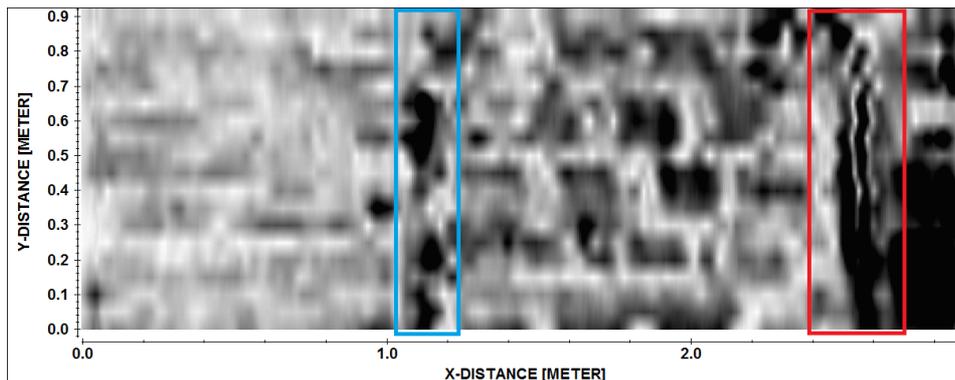


Figura 51: Time Slice 1,828 (-0,09m) do polígono P3. (É possível verificar a presença de um alinhamento vertical ao centro correspondente ao encaixe de uma parede.)

#### 4.5.12. Polígono P4

No Time Slice dos 1,285ns (-0,06 metros) (Figura 52) é identificável a presença de alvenaria idêntica à presente no polígono P2 (0,1 por 0,3 metros). Nesta figura é ainda possível concluir que a parede é, toda ela, construída com o mesmo tipo de material, o que leva a crer que se trata de uma parede original do edifício.

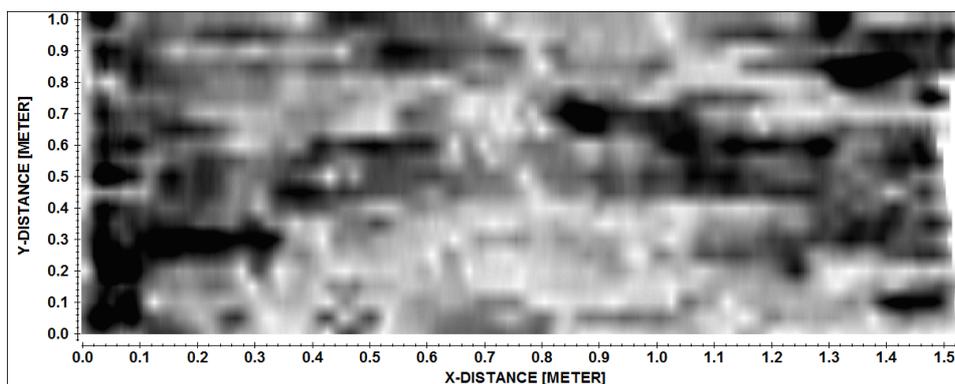


Figura 52: Time Slice 1,285 (-0,06m) do polígono P4, no qual é possível caracterizar a alvenaria.

#### 4.5.13. Polígono P5

Da interpretação 3D do polígono P5 foi possível identificar na Figura 53 (Time Slice dos 0,3115ns) a presença de dois alinhamentos paralelos, dispostos diagonalmente em relação ao polígono de aquisição (do canto Superior esquerdo para o inferior direito). Estes dois alinhamentos coincidem com a presença de duas fissuras na parede com a mesma configuração, sendo que, a primeira (mais a cima) foi entretanto reparada e a segunda persiste aberta. Desta aquisição é possível concluir que este método poderá ser viável na detecção de fissuras, mesmo “escondidas” uma vez que estas aparentam ter um comportamento idêntico quando analisadas por GPR.

Quando aos tipos de material de construção, neste polígono os dados não foram conclusivos no que respeita à sua caracterização, uma que não foram detectados alinhamentos que fossem concordantes com efeitos de alvenaria ou qualquer outro tipo de material de construção.

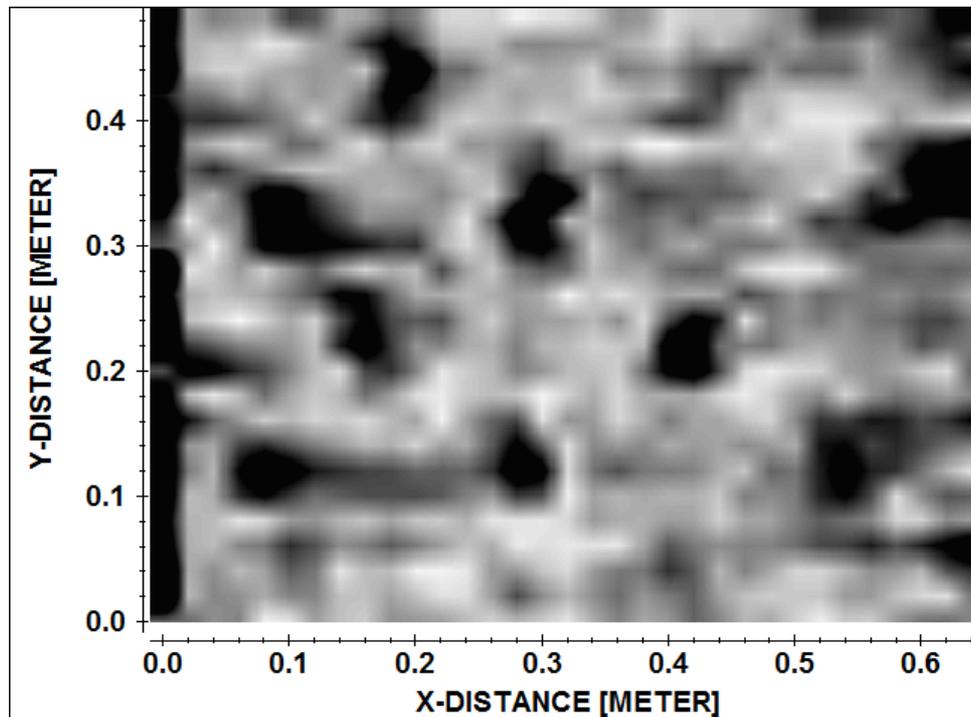


Figura 53: Time Slice 0,3115 (-0,02m) do polígono P5. (É possível verificar as anomalias causadas pela presença de fracturas na parede.)

#### 4.5.14. Polígono C1

Na Figura 54, corresponde ao Time Slice dos 2,668ns (-0,13 metros), é possível verificar a existência, bem evidente, de blocos de alvenaria nesta parede. Estes blocos apresentam um comprimento de 0,3 metros por 0,12 metros de altura.

Além da alvenaria nenhuma outra estrutura foi revelada nesta parede.

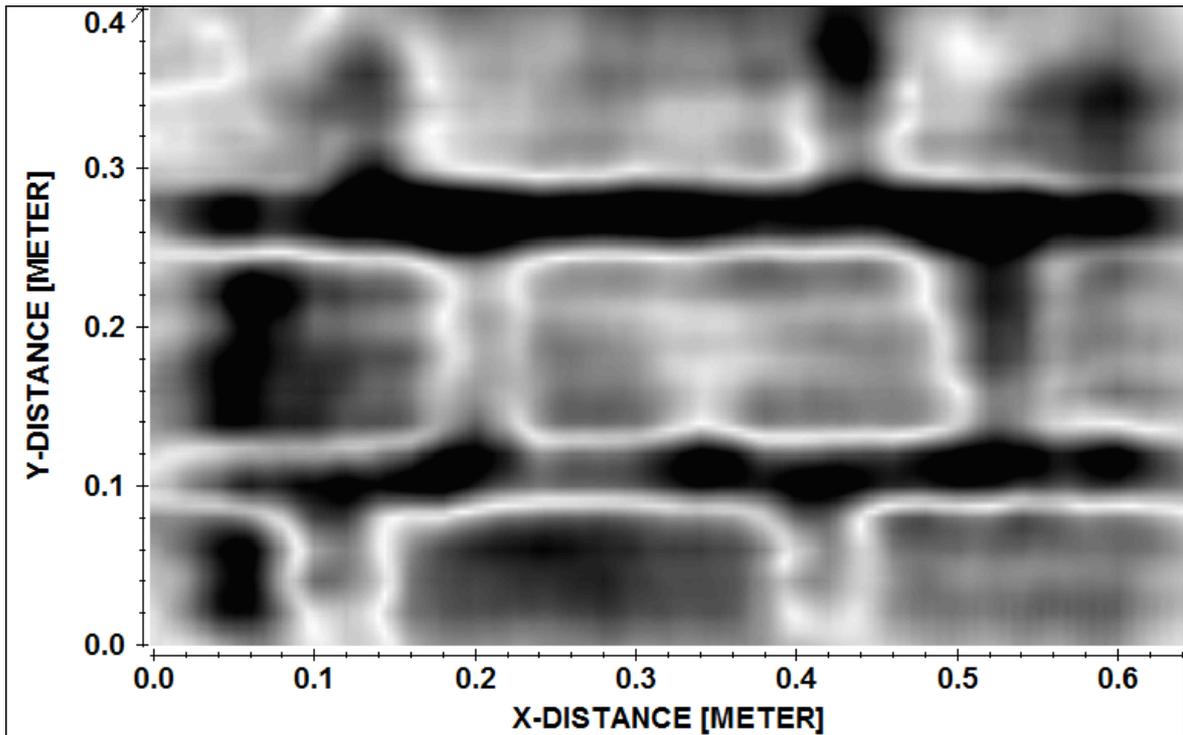


Figura 54: Time Slice 2,668 (-0,13m) do polígono C1. (É possível identificar claramente a alvenaria presente.)

#### 4.5.15. Polígono PE1

O Time Slice dos 1,136ns (-0,06 metros) do polígono PE1 (Figura 55) apresenta uma grande anomalia (à direita da imagem) consistente com o que foi registado anteriormente como sendo alvenaria moderna. Todo o restante Time Slice apresenta indícios de blocos de alvenaria com 0,3 metros por 0,1 metros, concordante com as alvenarias encontradas em áreas do edifício não alteradas.

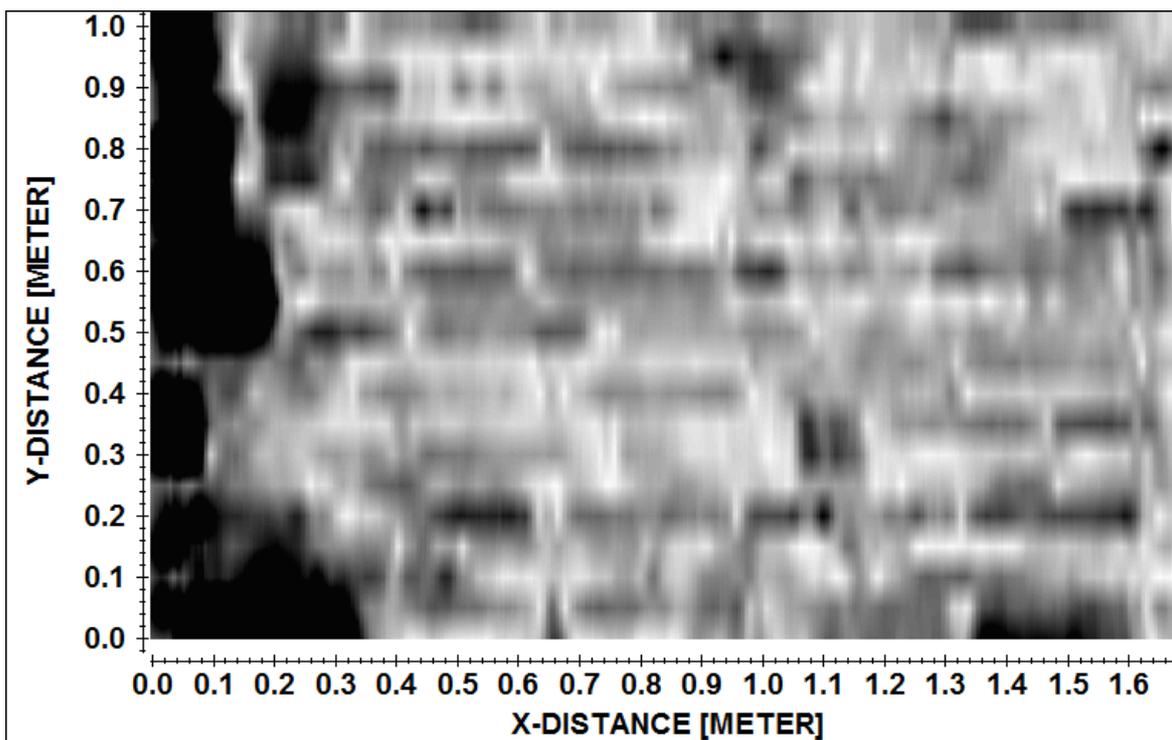
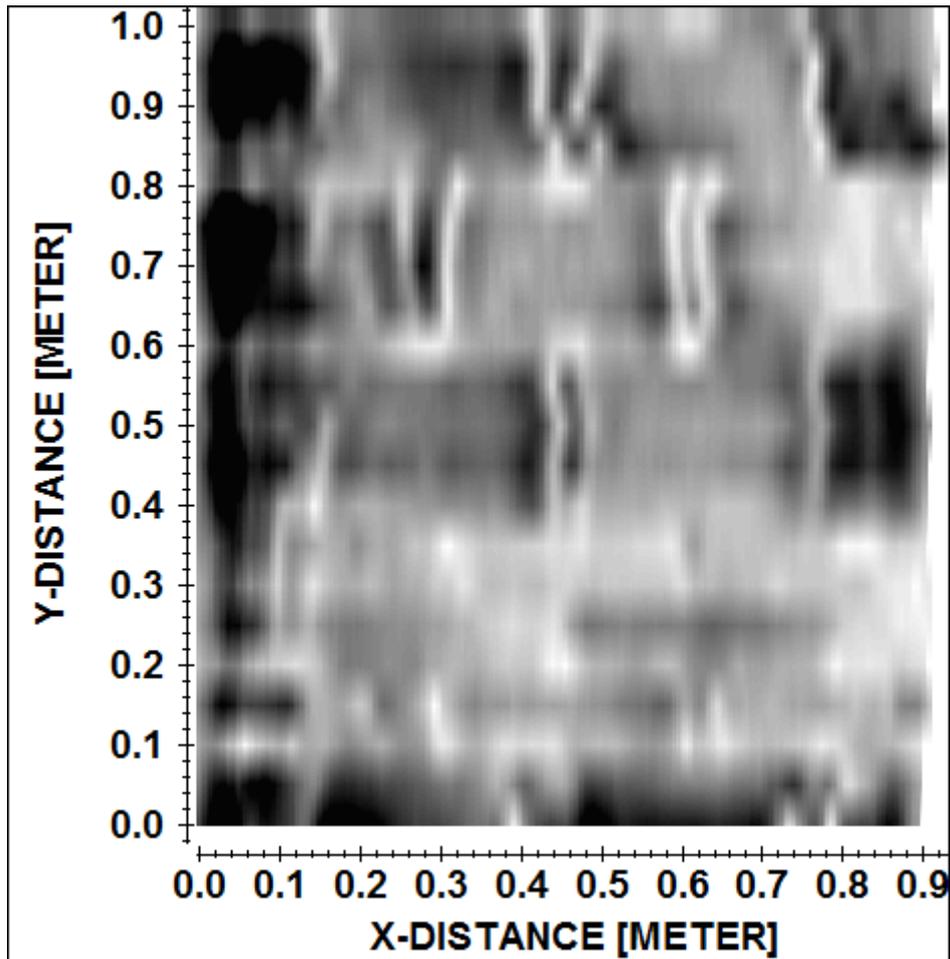


Figura 55: Time Slice 1,136 (-0,06m) do polígono PE1. (É possível verificar dois tipos distintos de alvenaria, sendo a que se encontra mais à esquerda (a negro) correspondente a alvenaria moderna.)

#### 4.5.16. Polígono PE2

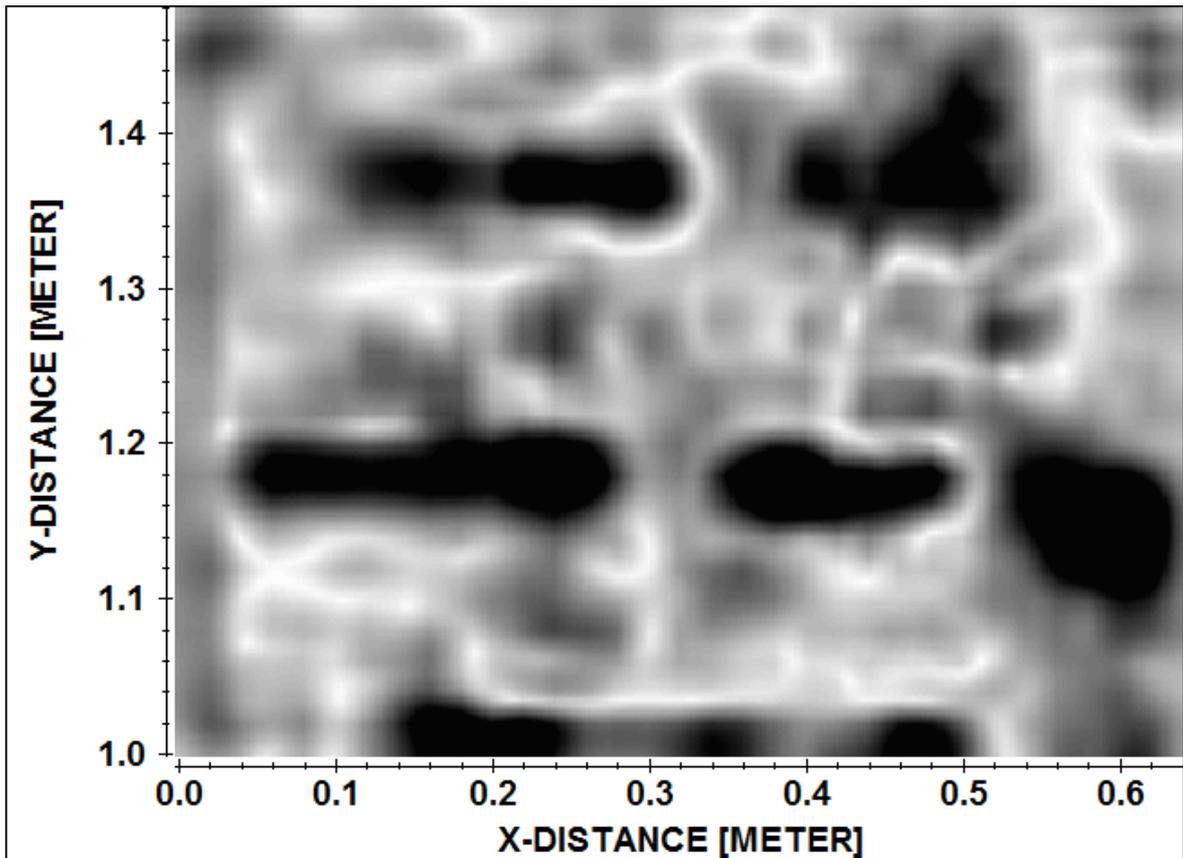
A Figura 56 apresenta uma imagem do Time Slice dos 1,235ns (-0,06 metros) do polígono PE2. Nesta figura é possível verificar a existência de um único tipo de blocos de alvenaria presente com 0,3 metros por 0,2 metros. Este tipo de alvenaria leva a concluir que o local onde foi adquirido este polígono corresponde a uma área, toda ela, construída mais tarde.



*Figura 56: Time Slice 1,235 (-0,06m) do polígono PE2.*

#### 4.5.17. Polígono PE3

Deste polígono de aquisição não foi possível tirar qualquer tipo de conclusão quanto à constituição da parede, possivelmente devido às reduzidas dimensões do polígono adquirido. Apenas se registou nesta aquisição a presença de alinhamentos que deverão corresponder às juntas entre a alvenaria presente na parede (Figura 57). No entanto não foi possível medir com precisão a dimensão da alvenaria presente.



*Figura 57: Time Slice dos 0,988 (-0.05m) do polígono PE3. Neste é apenas possível verificar alguns alinhamentos (a negro) que deverão corresponder ao espaçamento entre a alvenaria.*

#### 4.5.18. Polígono PE4

A Figura 58 representa o Time Slice 1,087 (-0,05m) do polígono PE4. Os resultados apresentados nesta figura levam a concluir que esta parede é na sua maioria constituída por alvenaria original do edifício. É apenas de salientar a presença de uma pequena anomalia presente à direita da imagem, concordante com eventuais alterações efectuadas na porta imediatamente à direita da área de aquisição.

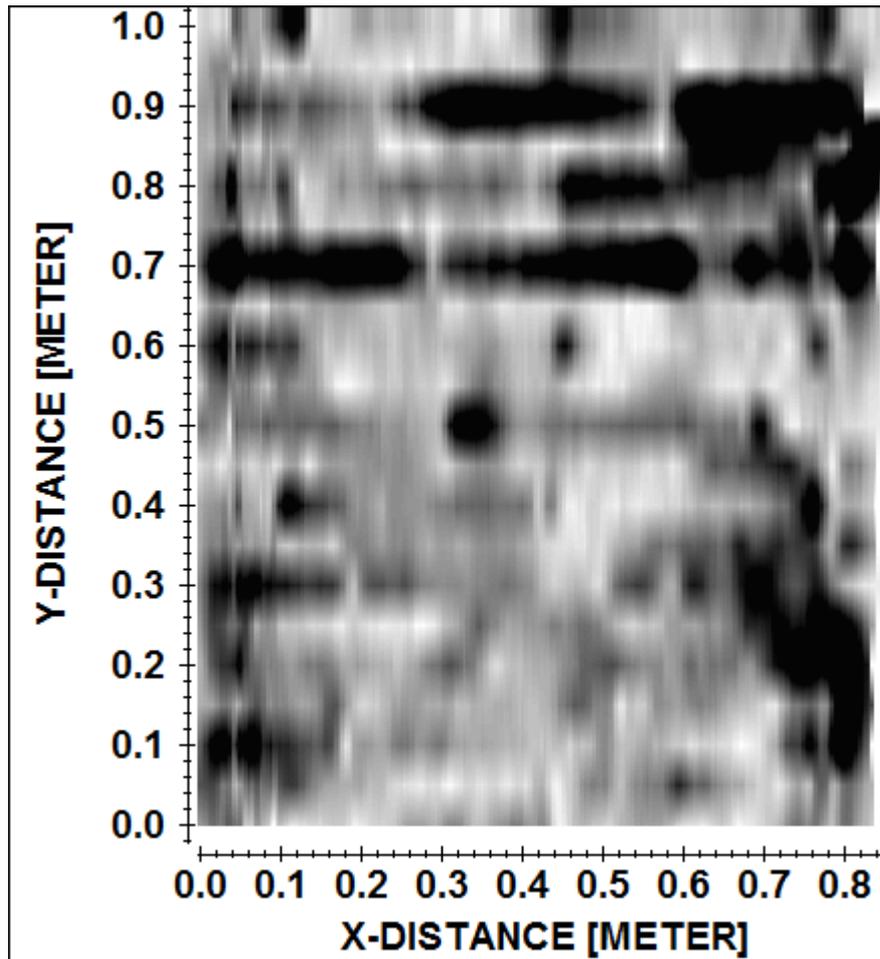


Figura 58: Time Slice 1,087 (-0,05m) do polígono PE4. (Os resultados evidenciam a presença de alvenaria original do edifício).

#### 4.5.19. Polígono PE5

Tal como no caso do polígono PE3, devido às reduzidas dimensões deste polígono não foi possível tirar qualquer tipo de conclusão quanto à presença de uma eventual coluna no interior desta parede. Na Figura 59 é apresentado um Time Slice do polígono P5 no qual não é identificável qualquer anomalia relevante.

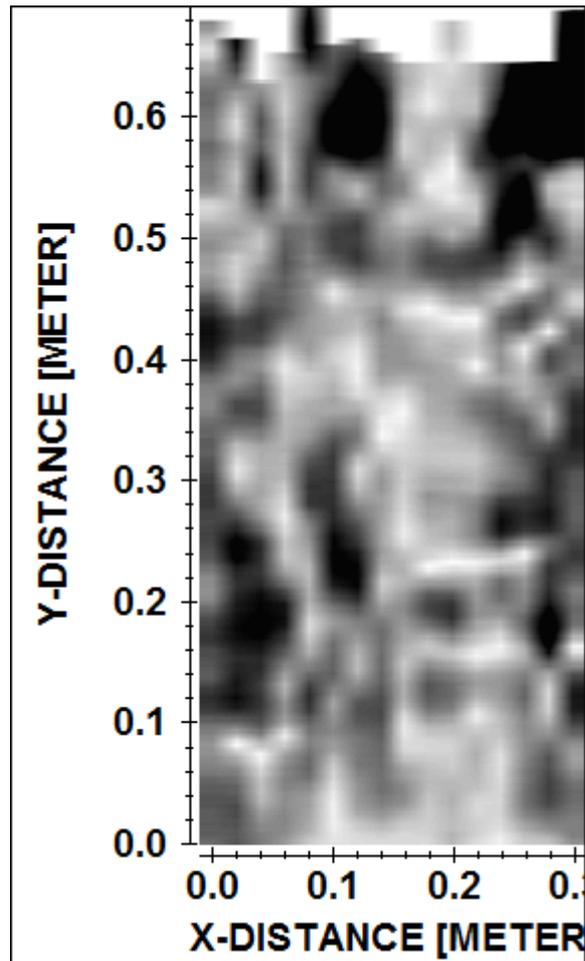


Figura 59: Time Slice dos 4,249 (-0,2m) do polígono PE5.

#### 4.5.20. Polígono PE6

Os resultados da aquisição deste polígono, apresentado no Time Slice dos 1,285ns (-0,06 metros) (Figura 60) indiciam que esta parede é constituída inteiramente por alvenaria original, não tendo sofrido qualquer alteração ao longo da vida do edifício.

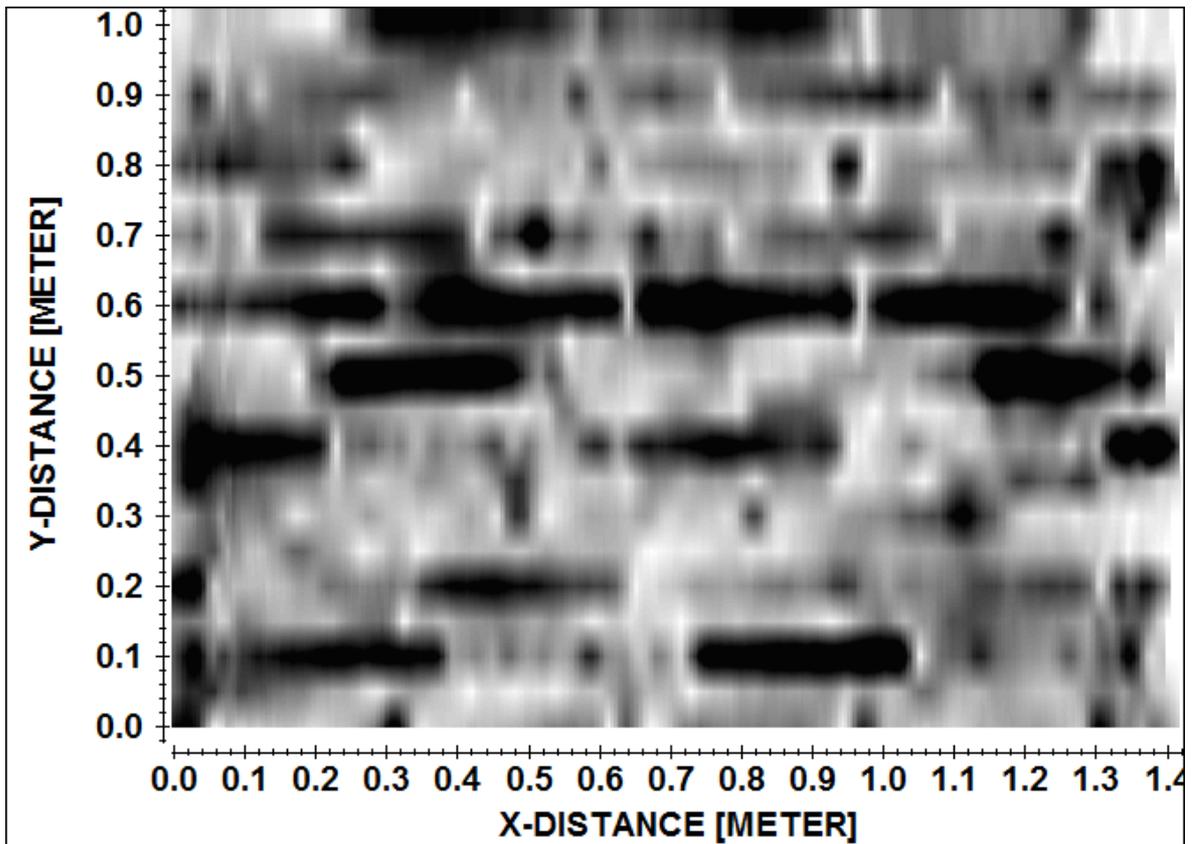


Figura 60: Time Slice 1,285 (-0,06m) do polígono PE6. (É possível verificar a presença de apenas um tipo de alvenaria.)

## 5. Considerações Finais e Conclusões

Neste trabalho, em primeiro lugar, foi possível verificar que o método do Georadar apresentou resultados bastante satisfatórios no que respeita à identificação de infraestruturas e elementos construtivos removidos no património edificado.

Assim foi possível identificar:

- Infraestruturas como tubagens e cablagens eléctricas;
- Assinaturas referentes a construções removidas;
- Diferentes tipos de elementos construtivos (malha de aço);
- Diferentes configurações das paredes (diferentes tipos de alvenaria);
- Manchas de alteração no interior das paredes;
- Elementos da Geologia local, em particular, nível freático, níveis de argila, etc.

Foi possível verificar que em diferentes materiais a velocidade pode variar de forma considerável (0,11m/ns nos polígonos A1 a A4, 0,09m/ns no polígono E1, entre 0,07 e 0,12m/ns no polígono E2 e 0,14m/ns em V1). Esta variação é justificável, uma vez que a perturbação humana no solo e a presença de materiais muito distintos nas paredes com diferentes permitividades eléctricas pode provocar um grande contraste entre velocidades de propagação das ondas EM mesmo dentro do mesmo polígono de aquisição. Este factor é de grande importância e é necessária uma correcta determinação desta velocidade para que a profundidade dos alvos detectados seja exacta.

O método do Georadar demonstrou uma enorme potencialidade na sua aplicação na reabilitação, não só por se tratar de um método não destrutivo mas também por apresentar resultados com uma precisão bastante satisfatória e conclusivos.

Deste trabalho poderão ser tirados normas e procedimento a usar noutras aplicações em reabilitação por forma a melhorar esta área com bastante potencial.

Independentemente de possíveis trabalhos posteriores mais focalizados no edifício de um modo mais geral futuramente poderão ser desenvolvidos trabalhos com vista a:

- Aplicar o Georadar na caracterização de outros tipos de construção, por exemplo paredes em pedra;
- Testar a aplicação de diferentes metodologias de aquisição por forma a melhorar a eficácia deste método nas diferentes aplicações;
- Conjuguar a técnica do Georadar com outros métodos geofísicos, nomeadamente resistividade eléctrica e tomografia sísmica (ultrassons).

## 6. Bibliografia

Annan, A. 2002. GPR - History, trends, and future developments. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 3(4), 253–270.

Cook, J.C. 1973. Radar exploration through rock in advance of mining: Trans. Society Mining Engineers, AIME, v. 254, 140–146.

Daniels, J. 2000. Ground penetrating radar fundamentals. *Prepared as an Appendix to a report to the US EPA*, 1–21.

Dolphin, L.T., et al. 1978, Radar Probing of Victorio Peak, New Mexico: *Geophysics*, Dec., v. 43, no. 7, 1441–1448.

El Said, M.A.H. 1956. Geophysical prospection of underground water in the desert by means of electromagnetic interference fringes: *Pro. I.R.E.*, v. 44, 24–30 e 940.

Holser, W.T., et al. 1972. Radar logging of a salt dome: *Geophysics*, v. 37, 889–906.

Leucci, G., et al. 2011. GPR and sonic tomography for structural restoration: the case of the cathedral of Tricarico. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8(3), S76–S92.

Jol, H. 2009. *Ground penetrating radar theory and applications*, Amesterdão, H. M. Jol, Ed.

Masini, N., et al. 2010. Some examples of GPR prospecting for monitoring of the monumental heritage. *Journal of Geophysics and Engineering*, 7(2), 190–199.

Neal, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66(3-4), 261–330.

Olhoeft, G.R. 1975. The electrical properties of permafrost, Ph.D. Thesis, University of Toronto., 172 pages.

Olhoeft, G.R. 1987. Electrical properties from  $10^{-3}$  to  $10^{+9}$  Hz—physics and chemistry: Proceedings of the 2nd International Symposium on the Physics and Chemistry of Porous Media, American Institute of Physics Conference Proceedings, v. 154, p. 281–298.

Orlando, L., & Slob, E. 2009. Using multicomponent GPR to monitor cracks in a historical building. *Journal of Applied Geophysics*, 67(4), 327–334.

Simmons, G., et al. 1973. Surface Electrical Properties Experiment, in Apollo 17: Preliminary Science Report, Scientific and Technical Office, NASA, Washington D.C., p. 15-1-15-14.

Thierbach, R. 1973. Electromagnetic reflections in salt deposits: J. Geophys. (1974) v. 40, p. 633-637.

Unterberger, R.R. 1978. Radar propagation in rock salt: Geophys. Prosp., v. 26, p. 312-328.

Waite, A.H., et al. 1961. Gross errors in height indication from pulsed radar altimeters operating over thick ice or snow, IRE International Convention Record, Part 5, p. 38-54.

Ward, S.H., et al. 1973. Apollo lunar sounder experiment, in Apollo 17: Preliminary Science Report, Scientific and Technical Office, NASA, Washington, D.C., p. 22-1-22-26.

Sítios da Internet:

Our Past, Present and Future: GPR Antennas.

<http://www.geophysical.com/antennas.htm>, consultado em 30 de Outubro de 2013.

MALÅ GPR (Ground Penetrating Radar) Equipment.

<http://www.malags.com/solutions>, consultado em 31 de Outubro de 2013.

Sandmeier Scientific Software Reflexw ver. 7.1.

<http://www.sandmeier-geo.de/reflexw.html>, consultado em 31 de Outubro de 2013.