

Visualização de Espaços Arqueológicos usando High Dynamic Range

Alexandrino José Marques Gonçalves

Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

alex@estg.ipleiria.pt

Luís Gonzaga Magalhães

João Paulo Moura

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

[\[lmagalha, jpmoura\]@utad.pt](mailto:[lmagalha, jpmoura]@utad.pt)

Alan Chalmers

Universidade de Warwick (Reino Unido)

alan.chalmers@warwick.ac.uk

Resumo

É hoje amplamente reconhecido que os sistemas informáticos desempenham um papel fundamental no estudo e interpretação de espaços arqueológicos. Uma das suas principais áreas de aplicação é, seguramente, a reconstrução virtual de ambientes históricos, em particular os que já não existem. Neste domínio, a forma como visualizamos tais ambientes é particularmente importante para uma correcta interpretação arqueológica do espaço em causa, seja ele qual for. No entanto, a busca pelo perfeccionismo na representação visual de um qualquer cenário, está estritamente relacionada com a tecnologia de visualização usada para o efeito.

O Sistema Visual Humano tem, na realidade, uma capacidade extraordinária e consegue captar valores de intensidade e cromaticidade verdadeiramente astronómicos. No entanto, grande parte dessa amplitude dinâmica não tem representação possível no modelo RGB, usado praticamente na totalidade dos dispositivos de visualização actuais. High Dynamic Range (HDR) é uma área de investigação que se dedica ao estudo de formas e métodos que visam suprir essa lacuna. Para atingir tal intento, têm sido desenvolvidas novas técnicas para a geração, armazenamento e representação de imagens que consigam preservar a (elevada) amplitude dinâmica captada pelo Sistema Visual Humano. Neste artigo apresentamos uma metodologia de trabalho que utiliza este novo paradigma de visualização onde o seu potencial se apropria verdadeiramente, a arqueologia. Desse modo propomo-nos gerar imagens de um dos mais belos e imponentes espaços existente nas ruínas da antiga cidade Romana de Conimbriga, a Casa dos Repuxos. Para tal, iremos simular a visualização, com recurso a imagens HDR, dos frescos e mosaicos lá existentes usando luminárias da época.

1. INTRODUÇÃO

Em 1899, a Rainha D. Amélia deu ordens para iniciar escavações arqueológicas no sítio de Conimbriga, mas foi a partir de 1930 que essas escavações foram complementadas e aprofundadas, de tal modo que acabaram por revelar vestígios inegáveis de uma cidade construída pela civilização romana [Gonçalves03]. A quantidade e qualidade dos achados arqueológicos apresentavam uma riqueza arquitectónica e cultural de tal ordem, que se considerou por bem disponibilizar ao público em geral o contacto com tal realidade, consideravelmente distinta da dos nossos dias. Daqui resultaram as agora bastante apreciadas e famosas, mesmo além fronteiras, Ruínas de Conimbriga.

Um qualquer visitante deste espaço, ao deparar-se com todo o cenário de edifícios em ruínas, pavimentos degradados ou colunas danificadas, acaba por, inevitavelmente, ser transportado numa viagem no tempo, onde tenta recriar todo o ambiente urbanístico, social e arquitectónico daquela época. Dada a distinta capacidade de abstracção de cada ser humano, ainda que fundamentada com desenhos e maquetas, essa tarefa de recriação imaginária estará sempre repleta de imprecisões próprias da interpretação individual de cada um, podendo variar consoante o estado de espírito, idade ou até o nível cultural de cada pessoa.

O trabalho apresentado neste artigo tem por finalidade possibilitar a qualquer pessoa visualizar os frescos e mosaicos outrora existentes num dos locais mais emblemáticos da antiga cidade Romana de Conimbriga, a Casa dos Repuxos (figura 5). Neste tipo de tipo de recriações virtuais é, por vezes, negligenciado o rigor histórico e científico em favor da geração de imagens mais apelativas visualmente [Chalmers02] [Devlin03]. Tal acontece porque nem sempre é tida em consideração, por desinteresse ou impossibilidade física, as condições de iluminação existentes na época que se pretende retratar. Tal facto propicia a geração de simulações erróneas na medida em que a visualização do espaço recriado não é perceptivelmente e fisicamente válida.

O trabalho apresentado neste artigo não é omissivo nessa matéria, em virtude de ser intenção dos autores retratar, no seu modelo virtual, a iluminação usada pelos Romanos no início do primeiro século da nossa era. Permitindo, desse modo, a obtenção de um acentuado grau de rigor histórico que deve sempre estar associado a este tipo de recriações seculares e que possuam algum interesse para o passado cultural da humanidade.

Por si só, este já poderia ser um factor de legitimação deste nosso trabalho. Mas, propomo-nos ir um pouco “mais além”, na medida em que é nossa intenção usar, neste projecto, um novo paradigma da visualização, o *High Dynamic Range* (HDR). O *High Dynamic Range* é uma área de investigação que se dedica ao estudo de formas e métodos que visam suprir as lacunas existentes no mesmo modelo de representação de cor usado em praticamente todos os dispositivos de visualização actuais, desde a longínqua década de cinquenta, o modelo RGB. Contrariamente ao que seria espectável, este modelo é, na realidade, inadequado para representar toda a gama de intensidades e cromaticidade que o Sistema Visual Humano (SVH) consegue captar. Originando, desse modo, que a representação de uma qualquer imagem ou espaço, nunca seja apresentada tal como seria interpretada pelo SVH.

Nesse sentido, propomo-nos gerar imagens HDR que reflectam com exactidão a iluminação de uma civilização dos primórdios da nossa era, a civilização Romana. A fidelidade visual apresentada pelo HDR permite-nos, a nós leigos e principalmente aos arqueólogos, ter uma real percepção de como, aos olhos de um qualquer habitante da época, todo o seu espaço envolvente seria contemplado, algo impossível de aquilatar nos dias de hoje.

2. HIGH DYNAMIC RANGE

O modelo RGB é conhecido por permitir a representação de vários milhões de cores. Esta competência pode indiciar que este modelo seja apropriado para caracterizar toda a faixa do espectro electromagnético visível pelo SVH. No entanto, tal não corresponde à verdade. Existe uma substancial gama de cores e intensidades que nunca poderão ser representadas neste modelo. Na figura 1 é apresentado o diagrama de cromaticidade da *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE), que apresenta o espectro de cores captadas pelo SVH¹.

Nesse diagrama é facilmente perceptível um triângulo. Esse triângulo delimita a gama de cores passíveis de representação nos dispositivos de visualização actuais, ou seja, toda a gama de cores existentes no exterior do mesmo, pura e simplesmente não tem representação possível segundo o modelo RGB. Desse modo, uma qualquer cor fora desse “espectro triangular”, terá sempre de ser mapeada para que possa ter uma correspondência no modelo RGB, originando inevitavelmente uma deturpação visual da cor original. Este processo acaba por resultar numa reprodução “irreal” de uma qualquer cena real, mesmo quando capturada e armazenada em formatos de maior amplitude dinâmica.

A análise, ainda que breve, do diagrama presente na figura 1, evidencia uma realidade incontornável, uma porção substancial do espectro visível por esse “modelo de alta precisão de representação da cor” que é o Sistema Visual Humano, não é passível de representação por intermédio do modelo RGB.

É neste contexto que a descoberta de novos meios de capturar/gerar, armazenar e visualizar toda a amplitude dinâmica do SVH, se torna cada vez mais premente tendo em vista a consecução de um dos

¹ Obviamente adulterado pelas limitações inerentes ao meio de leitura deste artigo: ecrã ou papel.

objectivos primordiais dos sistemas informáticos, uma cada vez maior fidelidade visual na representação de conteúdos.

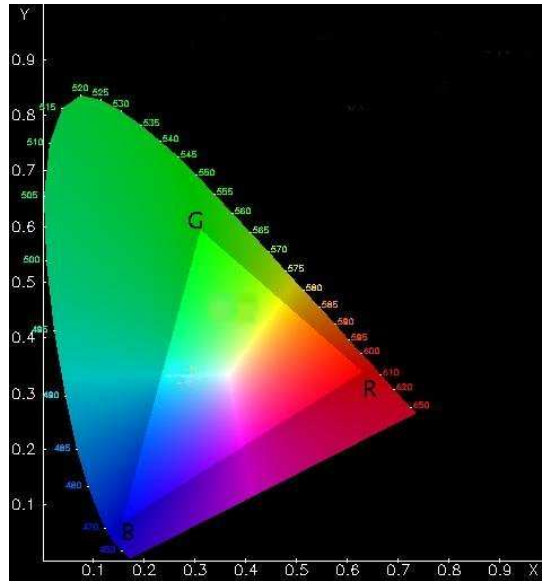


Figura 1: Diagrama de cromaticidade CIE, onde é perceptível a limitação cromática do RGB [Walter96]

O SVH tem, na realidade, uma capacidade extraordinária e consegue captar valores de intensidade e cromaticidade verdadeiramente astronómicos. A título de exemplo, um céu estrelado pode apresentar valores da ordem de 10^{-3} cd/m² e um radioso dia de sol, valores superiores a 10^5 cd/m². A capacidade do SVH é tal que facilmente se adapta aos vários cenários que se lhe deparam. Por exemplo, ele consegue captar instantaneamente contrastes na ordem de 10000:1 e diferenciar, numa determinada intensidade, cerca de 10000 cores [Ward98a]. E inclusive, com algum tempo de adaptação, consegue alcançar valores substancialmente superiores. Tal se deve à constituição física do olho humano, particularmente da retina, que é constituída por receptores. Esses consistem em cerca de 120 milhões de bastonetes e 8 milhões de cones [Blake94]. Os primeiros são altamente sensíveis à luz mas, no entanto, são incapazes de distinguir cor, essa tarefa fica a cargo dos cones que, sendo sensíveis aos diversos comprimentos de onda, percebem a cor.

É precisamente esta relação entre valores mínimos e máximos que se designa por amplitude dinâmica e é esta elevada amplitude dinâmica perceptível ao SVH que se designa por *High Dynamic Range* (HDR). O HDR surgiu precisamente para suprir as lacunas inerentes ao modelo de cor indicado anteriormente, o RGB. Ou seja, possibilitar a apresentação de conteúdos, num qualquer meio de visualização, com um grau de fidelidade muito próxima ou igual à que é captada pelo olho humano. Ao ponto de perante uma imagem de uma qualquer cena real não conseguirmos discernir se se trata, de facto, de uma cena real ou de uma imagem sintética gerada artificialmente.

A origem das imagens HDR pode provir de duas fontes: cenas reais ou virtuais. A concepção de imagens HDR a partir de cenários reais foi desenvolvida por Paul Debevec [Debevec97], na qual a imagem HDR é gerada a partir de uma sequência de imagens, de uma mesma cena, obtidas com tempos de exposição diferentes (figura 2). Esse procedimento tem como objectivo produzir uma imagem final, recorrendo a informação relevante presente em todas as restantes, que albergue toda a gama de intensidades e contrastes existente na cena real, mas que muito dificilmente estaria presente unicamente numa só imagem.



Figura 2: Imagem HDR (em cima) obtida a partir das várias fotografias captadas com tempos de exposição distintos (3 fotos em baixo)

Para gerarmos imagens HDR de cenários virtuais, é necessário usar um modelo físico de iluminação (e por isso denominado *Physically-Based Rendering*) que efectue o rendering da cena com base na simulação das propriedades físicas de reflexão, transmissão e refração que a luz tem ao interagir com as diversas superfícies da cena (figura 3). No caso do trabalho apresentado neste artigo, irá ser usado o Radiance [Ward98b], um *package open source* disponível em <http://radsite.lbl.gov> e ainda hoje actualizado e suportado por Greg Ward, o seu autor.

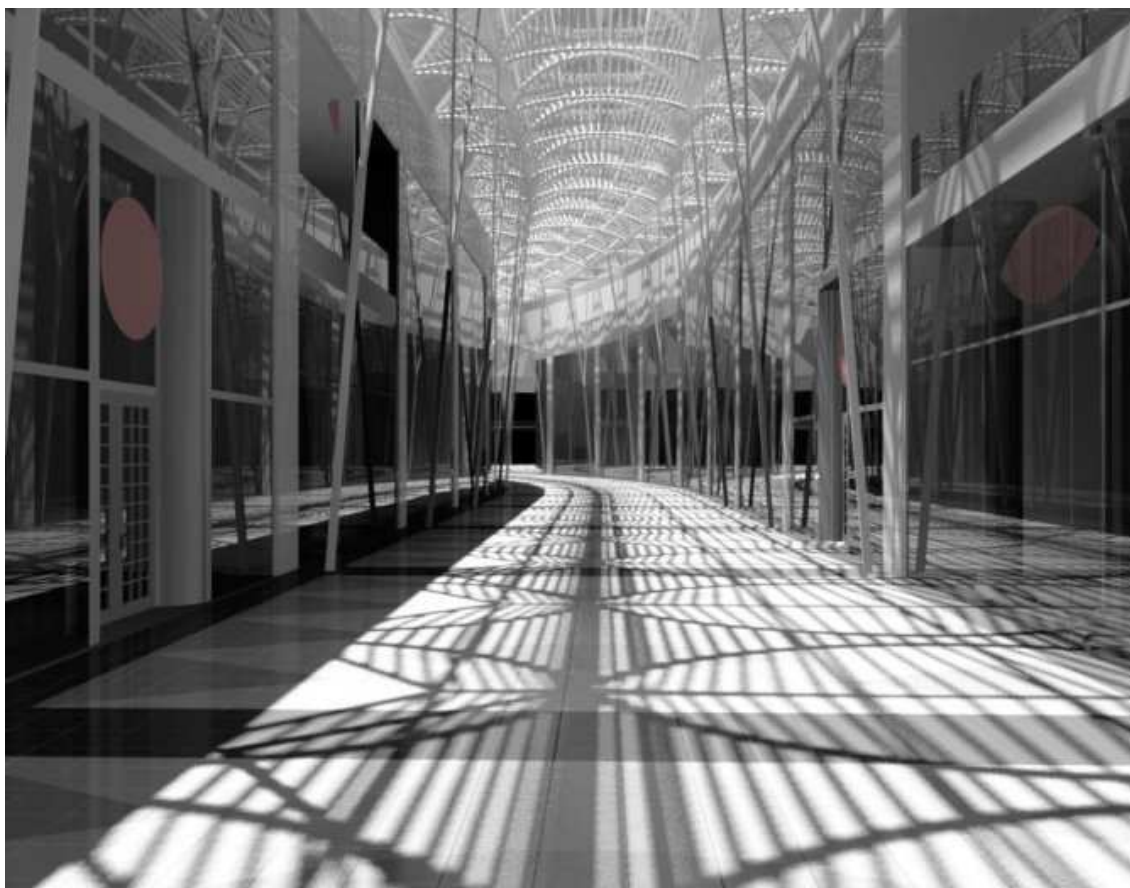


Figura 3: Imagem virtual renderizada com o Radiance (© ArupLighting)

Actualmente ainda nos encontramos na génese da visualização de conteúdos HDR, na medida em que ainda não existe nenhum equipamento capaz de reproduzir fielmente toda a amplitude dinâmica do SVH. Há, no entanto, um equipamento que está bastante próximo de alcançar tal intento e como tal, considerado o primeiro display verdadeiramente HDR. Desenvolvido pela *Brightside Technologies*, recentemente adquirida pela *Dolby Laboratories, Inc.*, este dispendioso equipamento apresenta valores de contraste e brilho absolutamente extraordinários. Este ecrã de 37'' tem um contraste superior a 200000:1 e valores de brilho que variam entre os 0 cd/m^2 (valor que nenhum outro equipamento consegue obter) e 4000 cd/m^2 .



Figura 4: Ecrã HDR da Brightside Technologies. Modelo DR37-P

3. CASO DE ESTUDO

3.1 Casa dos Repuxos

A Casa dos Repuxos é um grande edifício residencial romano cuja construção original, datada dos incios do séc. I, se estendia por dois pisos, fazendo dessa forma o aproveitamento de um declive natural da zona da cidade onde se implantou. O peristilo central era a peça essencial da casa, decorado por caixotões ajardinados construídos no implúvio, bordados de mosaicos e repuxos [Conimbriga]. É precisamente este magnífico jardim central que dá origem ao nome da casa. Ainda hoje grande parte do original lajeado de mosaicos está presente no local e em bom estado de conservação, como é visível nas figuras 5.b e 6.b.

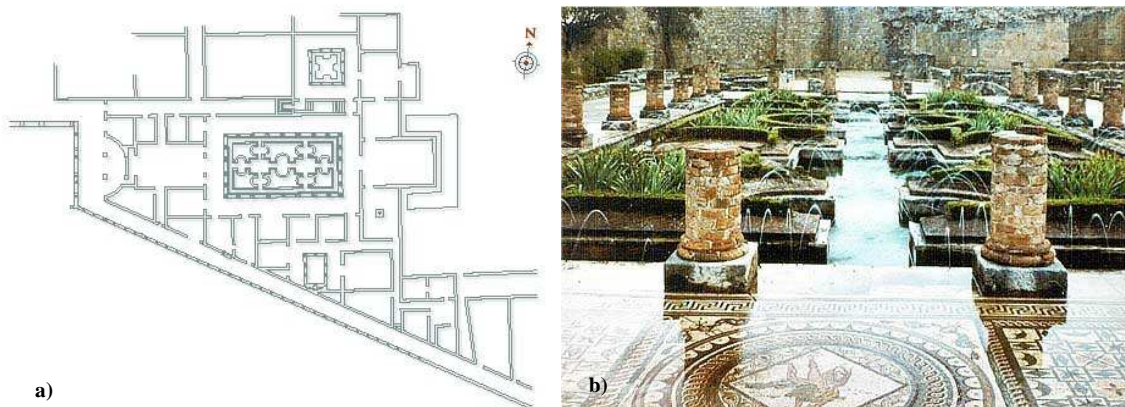


Figura 5: Planta e jardim central da Casa dos Repuxos

Além dos já mencionados mosaicos, a casa dos Repuxos dispunha de alguns frescos nas paredes de algumas divisões. Foi precisamente esse facto que despertou o nosso interesse numa divisão em particular, a Sala da Caçada. Esta era a única que, além de um mosaico integralmente intacto e em excelente estado de conservação, ainda apresenta alguns vestígios dos frescos que lá existiram.



Figura 6: Exemplo de um dos degradados frescos e mosaico do pavimento da Sala da Caçada

3.2 Iluminação Romana

Até há cerca de um século atrás apenas dois tipos de iluminação eram usados; luz natural, por via do sol, estrelas ou luar e artificial por intermédio de fogo/chama (lâmparas, candeeiros, tochas, etc.) [Forbs66] [Bridault06]. De facto, está perfeitamente bem documentado, por achados arqueológicos, que estes seriam os métodos usados na iluminação artificial por grandes civilizações já desaparecidas, nomeadamente e particularmente a civilização Romana. Uma das maiores evidências desse facto pode-se inferir por não ser comum a existência de janelas nas habitações Romanas [Chalmers02] [Forbs66]. Logo, a iluminação das divisões interiores teria de ser inevitavelmente consumada com recurso a iluminação artificial, dado que a iluminação natural, proveniente das portas, seria sempre bastante restrita e limitada.

Desse modo, na iluminação de interiores eram essencialmente usadas lucernas ou velas, devido a estas serem mais estáveis, móveis e fáceis de manusear. Este facto é perfeitamente comprovado no nosso caso de estudo, onde durante os diversos períodos de escavações, ocorridos em Conimbriga, foram descobertas várias dezenas de lucernas (figura 7.a).

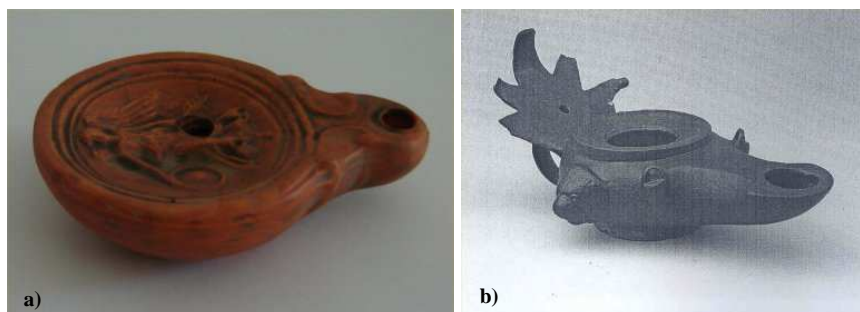


Figura 7: Lucernas Romanas em argila (a.) e em bronze (b.)

Questão fulcral neste método ancestral de iluminação, é o combustível usado para providir as lucernas, na medida em que, diferentes tipos de combustível afectam de forma clara e inequívoca a percepção que nós temos de uma qualquer cena que se deseje recriar e isso poderia adulterar os resultados que desejamos alcançar.

Apesar de ser um componente essencial na cadeia alimentar e desse modo a sua utilização para outros fins, como a iluminação artificial, ser devidamente ponderada, o azeite era o combustível mais usado nas luminárias a óleo [Chalmers02] [Devlin01] [Forbs66]. Tal se deve não só à facilidade de obtenção da matéria-prima, comprovada pela existência milenar de oliveiras em toda a região, como igualmente ao facto deste combustível vegetal produzir uma chama de melhor qualidade, quando comparado com outros de origem animal. Por vezes, tal como era feito na civilização egípcia, era adicionado sal ao azeite não só porque aumentava o tempo de vida do combustível, mas também porque produzia uma chama amarelada mais apurada e de maior intensidade [Devlin01] [Forbs66].

4. TRABALHO A DESENVOLVER

4.1 Metodologia

A Casa dos Repuxos é um dos exemplares mais sublimes de Conimbriga. O facto de ter servido para habitação de uma personalidade de elevado estrato social, faz com que toda a sua ambiência arquitectónica seja verdadeiramente impressionante. A Sala da Caçada da Casa dos Repuxos vai servir de caso de estudo para uma simulação realista da iluminação existente nos primórdios da nossa era. Esse intento dará a um leigo ou um arqueólogo a possibilidade de ter uma real percepção de como aos olhos de um possível antepassado nosso, da outrora próspera cidade de Conimbriga, aqueles frescos e mosaicos em particular seriam vistos.

Identificados os objectivos e o alvo do nosso estudo, o passo seguinte passa por definir uma metodologia que possibilite a consecução de tais objectivos. Primeiramente será necessário obter, com o apoio dos especialistas, um modelo tridimensional da sala da caçada. Com base nos degradados frescos existentes nas semi-destruídas paredes, é fulcral efectuar uma reconstrução (digital) de uma textura a usar no modelo virtual. A questão mais problemática no nosso processo de execução é a iluminação, que, em virtude dos objectivos idealizados, se apresenta como factor crítico de sucesso. Como é que se caracteriza virtualmente uma entidade volátil e inexistente nos nossos dias? Só existe uma solução para este problema: reconstruir fisicamente luminárias da época e extrair a sua composição e distribuição espectral, de modo a que possamos usar os valores obtidos nos cálculos de iluminação a efectuar no rendering final da cena. Este é, sem dúvida, um dos maiores desafios deste trabalho.

Nesse sentido, procedeu-se à recolha de informação arqueológica que nos permitisse alcançar tal intento. Foi consultada diversa bibliografia que complementada com o parecer do Director do Museu Monográfico de Conimbriga, Dr. Virgílio Correia, nos permitiu responder a algumas das nossas questões:

1. Que tipo de luminárias eram usadas?

Tal como já foi indicado na secção anterior, durante as várias etapas de escavações ocorridas em Conimbriga, largas dezenas de lucernas foram encontradas. Desse modo, foram-nos disponibilizadas pelo Museu Monográfico de Conimbriga alguns exemplares de lucernas em argila (figura 7.a e 8).

2. Qual seria o combustível que as provia?

A opinião dos especialistas corrobora a informação da secção 3.2, seria certamente azeite o combustível mais usado na época e área geográfica em estudo, validada pelas evidências históricas da existência milenar de oliveiras na região. Nesse sentido, foram obtidas diversas amostras de azeite. Para uma aproximação, o mais fidedigna possível, das propriedades do azeite usado na época, tivemos o cuidado de todas as amostras, vindas directamente do lugar, serem produzidas por métodos ainda tradicionais, sem qualquer tipo de aditivo e de oliveiras geograficamente próximas de Conimbriga (inclusive uma das amostras provém de oliveiras precisamente de Conimbriga).

3. Será que eram adicionados aditivos ao combustível?

Mais uma vez, este tema foi abordado em 3.2 e as várias referências confirmam o uso de azeite, por vezes, aditivado com sal. Para a obtenção deste elemento, foi tido igual cuidado. Foi adquirido sal “puro”, directamente de salinas (Figueira da Foz) e sem qualquer tipo de aditivo.

4. Qual a constituição e o tipo de pavio que seriam usados?

Numa luminária a óleo um bom pavio é fulcral para a qualidade e propriedades da “luz” emanada por essa mesma luminária. Neste ponto, Forbs [Forbs66] valida a opinião dos especialistas, o pavio seria longo, estreito e em linho ou algodão. É nossa intenção usar nos nossos testes pavios em linho e/ou algodão, tendo este último já sido adquirido.

Após a obtenção de todos estes componentes, o passo seguinte passa por obter a distribuição espectral da chama produzida pela lucerna. Essa distribuição espectral, fortemente dependente do tipo de combustível em uso, será posteriormente medida com um espectroradiómetro que efectuará leituras da distribuição espectral dessa mesma chama. Este processo irá ser descrito com mais detalhe na próxima secção (4.2).

Findo este processo estão reunidas as condições para a obtenção do principal objectivo deste trabalho, a geração de imagens que possam ser apresentadas como válidas não só fisicamente, como também perceptivelmente. Ou seja, partindo de um detalhado modelo geométrico da sala, com texturas e propriedades dos materiais que compõem as diversas superfícies e a distribuição espectral de uma luminária Romana, é-nos possível gerar uma imagem fisicamente correcta no que à iluminação diz respeito. Para esse intento, será necessário utilizar um modelo de iluminação e motor de rendering adequado a simular o transporte de luz e o comportamento físico que a mesma tem ao interagir com todas as superfícies de uma cena. O Radiance [Ward98b], desenvolvido por Greg Ward, é um *package open source* que tem implementado um modelo de iluminação com a capacidade de produzir imagens cuja iluminação (simulada), mesmo em luminárias de combustão [McNamara00], obedece às leis da física e desse modo proporcionando resultados visuais fisicamente válidos e de um realismo impressionante, como se pode facilmente constatar através da figura 3. Além disso, permite abranger toda a amplitude dinâmica necessária para a obtenção de uma imagem HDR, tal como é nosso objectivo.

4.2 Experiências com iluminação

De modo a conseguirmos simular com precisão a iluminação Romana no modelo virtual, é necessário, tal como foi referido na secção anterior, obter a distribuição espectral da luz emanada por uma lucerna em combustão. Essa distribuição pode ser obtida por intermédio de um espectrorradiómetro, que efectua a leitura, nos diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético visível pelo olho humano, dos valores da radiância emitida por qualquer fonte de luz.



Figura 8: Testes de iluminação onde é visível a lucerna em combustão (à esquerda), o espectrorradiómetro (à direita) e a placa reflectora onde é feita a medição (frente)

Uma primeira fase dessas experiências já foi executada no Centro de Óptica da Universidade da Beira Interior (figura 8). Essas medições foram executadas nas seguintes condições e configurações:

- Sala sem qualquer tipo de iluminação externa (excepto a proveniente da luminária). Para não haver adulteração de resultados;
- Contra uma placa de referência idealmente difusa e com um factor de reflexão bastante elevado. De modo a que reflecta unicamente a luz proveniente da lucerna. A placa usada nestes testes tem um factor de reflexão na ordem dos 99%;
- Com vista a uma validade mais efectiva das nossas experiências, foram efectuados testes com diferentes configurações no combustível a usar, nomeadamente entre azeite (com as várias amostras de que dispomos) e azeite com mistura de sal;

- Devido à volatilidade da chama e de forma a precaver a leitura de valores incorrectos e desajustados com a realidade, foram realizadas dez medições para cada combinação, sendo posteriormente calculada a média dos valores obtidos em cada medição;
- Medições, com o espectrorradiómetro, efectuadas em intervalos de 4 nm.

Como esses testes foram realizados muito recentemente, os resultados dos mesmos ainda não estão totalmente e devidamente processados. Apresentamos, no entanto, o gráfico da radiância obtida por uma das amostras de azeite usadas nos testes. No mesmo, é perfeitamente visível que o “pico” de intensidade se obtém muito próximo dos valores mais elevados do comprimento de onda visível ao olho humano. Comportamento esse que foi análogo em todas as amostras testadas.

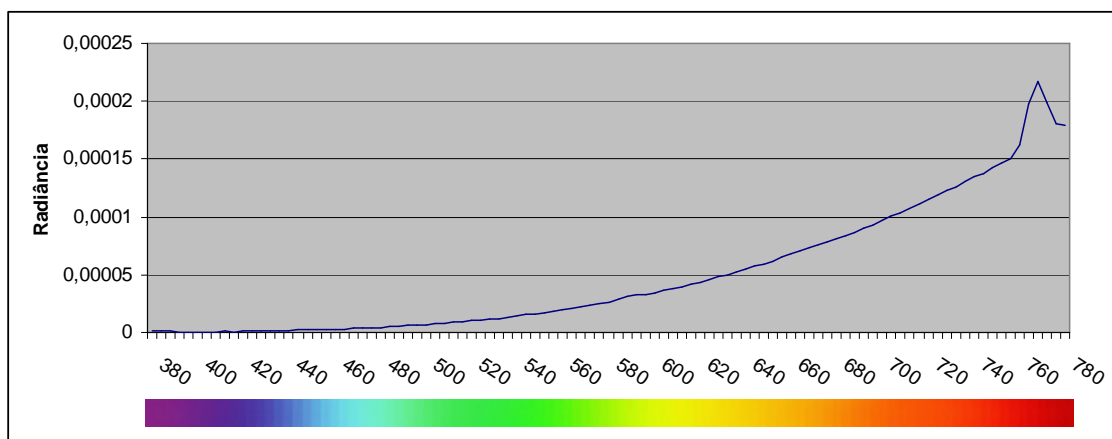


Gráfico 1: Valores de radiância medidos, na faixa visível ao olho humano do espectro electromagnético, com uma das amostras de azeite sem adição de sal

5. CONCLUSÃO

Nos últimos anos tem-se verificado uma crescente preocupação, nomeadamente por parte de grandes instituições como a UNESCO ou a União Europeia, com a preservação, interpretação e divulgação da riqueza histórica e cultural legada pelos nossos antepassados. Tal facto, despontou uma nova vaga onde a utilização de novas tecnologias, designadamente de Realidade Virtual, desempenha um papel cada vez mais relevante na consecução de tais propósitos.

As imagens HDR são o mote deste nosso trabalho que, aliado à área de aplicação, a arqueologia, legítimo, na medida em que a elevada fidelidade visual, que nos propomos alcançar, é indispensável para uma correcta reconstrução de um qualquer espaço arqueológico. Nesse sentido, propomo-nos gerar imagens HDR que recriem com exactidão não só toda a ambiência arquitectónica, como a iluminação usada no primeiro século da nossa era, neste Portugal outrora designado por Lusitânia. O que mais legitima a utilização do HDR no desenvolvimento do nosso caso de estudo, é o facto de os Romanos visualizarem esses mesmos frescos em condições de luminosidade muito baixa. Tal acontece devido ao facto de as salas onde estariam localizados, por norma, serem desprovidas de janelas e também derivado à fraca intensidade das luminárias usadas na época. Sendo precisamente neste item muito particular que as características do HDR mais se evidenciam. Em virtude de uma imagem *Low Dynamic Range* (LDR), gerada com o tradicional RGB, não ter capacidade para albergar toda a amplitude dinâmica que o SVH consegue captar em condições de fraca luminosidade, ainda que após alguns minutos de adaptação.

As experiências indicadas na secção 4.2, foram o ponto de partida para este trabalho que irá culminar com a validação das imagens HDR no dispositivo de visualização HDR, indicado na secção 2, existente na Universidade de Warwick no Reino Unido.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao Director do Museu Monográfico de Conimbriga, Dr. Virgílio Correia, o apoio e participação neste projecto; ao Centro de Óptica da Universidade da Beira Interior, na pessoa do seu director, o Prof. Doutor Paulo Fiadeiro, a cedência das instalações para a realização das experiências e

ao Sr. João Anjo da *Anjo & Carpinteiro – Passamanarias, Lda* por gentilmente nos ter cedido os pavios necessários à condução das experiências indicadas neste artigo.

7. BIBLIOGRAFIA

- [Blake94] R. Blake, R. Sekuler. *Perception*. McGraw-Hill, third edition. 1994
- [Bridault06] F. Bridault-Louchez, M. Leblond, F. Rousselle, C. Renaud. *Enhanced Illumination of Reconstructed Dynamic Environments Using a Real-time Flame Model*, in Proc Afrigraph'06, 4th international conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa. 2006
- [Chalmers02] A. Chalmers. *Very Realistic Graphics for Visualising Archaeological Site Reconstructions*, in Proc. of the 18th Spring Conference on Computer Graphics, pp. 43-48. Slovakia, 2002
- [Conimbriga] Conimbriga, Ruínas e Museu Monográfico, <http://www.conimbriga.pt>
- [Debevec97] P. Debevec, J. Malik. *Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs*, in Proc. SIGGRAPH 97, Computer Graphics. 1997
- [Devlin01] K. Devlin, A. Chalmers. *Realistic Visualisation of the Pompeii Frescoes*, in Proc. 1st International Conference on Computer Graphics, Virtual reality and Visualisation, pp. 43-48. 2001
- [Devlin03] K. Devlin, A. Chalmers, D. Brown. *Predictive lighting and perception in archaeological representations*, in UNESCO World Heritage in the Digital Age 30th Anniversary Digital Congress
- [Forbes66] R. J. Forbes. *Studies in Ancient Technology (Volume VI)*. Leiden & Brill, Netherlands. 1966
- [Gonçalves03] A. Gonçalves, A. Mendes. *The rebirth of a Roman Forum - The case study of the Flavian Forum of Conimbriga*, in Proc. of the CAA2003 - Enter the Past-The E-way into the four Dimensions of Cultural Heritage, Viena (Austria), April 2003
- [McNamara00] A. McNamara, A. Chalmers, T. Troscianko, I. Gilchrist. *Comparing Real and Synthetic Scenes Using Human Judgements of Lightness*, in Proc. 11th Eurographics Workshop on Rendering. 2000
- [Walter96] J. Walter. *Colour Rendering of Spectra*, <http://www.fourmilab.ch/documents/specrend>, 1996
- [Ward98a] G. Ward. *Overcoming Gamut and Dynamic Range Limitations in Digital Images*, in Proc. IS&T/SID 6th Colour Imaging Conference. 1998
- [Ward98b] G. Ward, R. Shakespeare. *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualisation*. Morgan Kaufmann Publishers. 1998