

# Metodologia para Geração de Imagens High Dynamic Range em Iluminação Romana

Alexandrino Gonçalves, Luís Magalhães, João Moura e Alan Chalmers

**Resumo** — Num futuro muito próximo, o modo como veremos conteúdos num qualquer dispositivo de visualização irá sofrer profundas alterações. A luz captada pelo olho humano num simples passeio pela praia num radioso dia de sol, pode atingir 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 é verdadeiramente apropriado, a arqueologia. A Casa dos Repuxos é o espaço mais belo e imponente existente nas ruínas de Conimbriga (Portugal) e que ainda hoje preserva alguns dos frescos e mosaicos originais. O nosso objectivo centra-se na geração de imagens HDR desses frescos e mosaicos iluminados por luminárias desse período, de modo a que a experiência visual seja a mais próxima possível de um habitante daquela mesma casa.

**Palavras-Chave** — Conimbriga, Fidelidade Visual, High Dynamic Range (HDR), Iluminação

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas informáticos têm, nas últimas décadas, evoluído de forma consistente e sustentada, tendo por base quer os avanços tecnológicos, ao nível do hardware, quer o desenvolvimento e optimização das aplicações (software) que os legitimem. Essa evolução foi de tal ordem que, nos dias de hoje, os sistemas informáticos são efectivamente um dos pilares do desenvolvimento (e funcionamento) das sociedades actuais, ditas globais. No entanto, toda esta evolução, aos mais diversos níveis, não teve idêntico resultado numa área particularmente importante, a visualização. Dado que, praticamente a totalidade dos dispositivos de visualização actuais continuam a utilizar o mesmo modelo de representação de cor utilizado desde a longínqua década de cinquenta, o RGB.

Este facto, poderia não constituir qualquer tipo de *handicap*, se o modelo de cor em questão possibilitasse a reprodução e posterior visualização, de toda a gama de

cores e intensidades que o Sistema Visual Humano (SVH) consegue captar na gama de frequências do espectro electromagnético (figura 1). Mas, na realidade, tal não acontece.

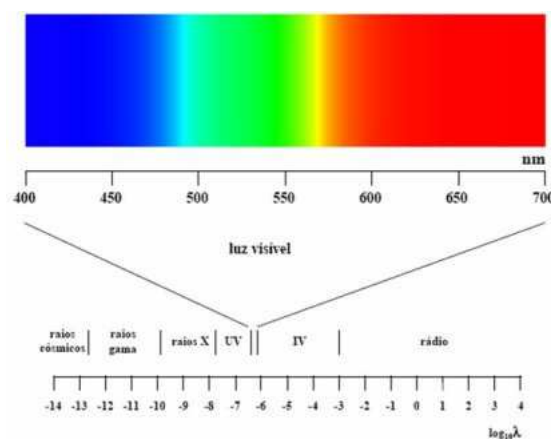


Fig. 1. Espectro visível pelo SVH

O *High Dynamic Range* (HDR), tal como é conhecido, é uma área de investigação que se dedica ao estudo de formas e métodos que visam suprir as lacunas inerentes ao modelo indicado anteriormente. 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

- Alexandrino Gonçalves. Departamento de Engenharia Informática da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria. alex@estg.ipleiria.pt.
- Luís Magalhães e João Moura. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. lmagalha@utad.pt e jpmoura@utad.pt.
- Alan Chalmers. Universidade de Warwick (Reino Unido). alan.chalmers@warwick.ac.uk.

imagem sintética gerada artificialmente.

O trabalho apresentado neste artigo visa a utilização deste novo paradigma da visualização, numa das áreas onde melhor se adequa, a iluminação e, mais em particular, a iluminação aplicada à arqueologia. 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.

Para tal, o caso de estudo aplicado no nosso trabalho terá o seu enfoque no mais importante conjunto de achados arqueológicos da civilização Romana existente em Portugal, Conimbriga. Este projecto, elaborado em colaboração com o Museu Monográfico de Conimbriga, visa a reprodução dos mosaicos e dos frescos ainda hoje existentes na Casa dos Repuxos<sup>1</sup>, o espaço mais belo e imponente presente nas ruínas de Conimbriga (figura 2).



Fig. 2. Jardim central da Casa dos Repuxos de Conimbriga

O que mais legitima a utilização do HDR na reprodução dessas relíquias arqueológicas, 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 [1] 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 [2].

## 2 BACKGROUND

### 2.1 RGB

O modelo RGB é conhecido como '*true colour*' e 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. Diagramas de cromaticidade são, por norma, usados para ilustrar essa limitação associada aos modelos de cor [3]. Na figura 3 é apresentado o diagrama de cromaticidade da *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE)<sup>2</sup>, que apresenta o espectro de cores captadas pelo SVH<sup>3</sup>.

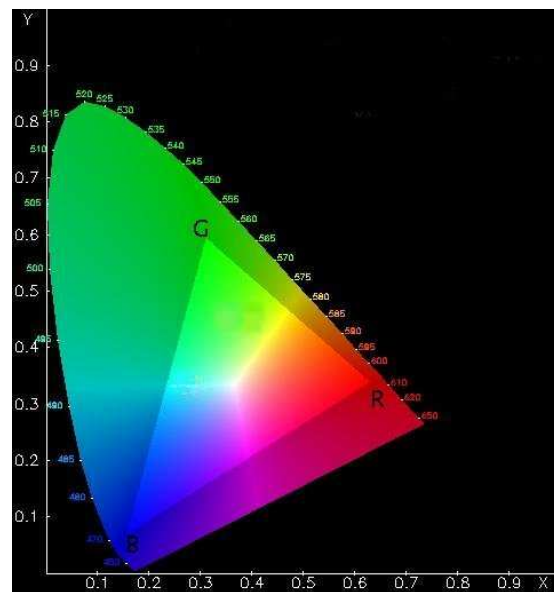


Fig. 3. Diagrama de cromaticidade CIE, onde é perceptível a limitação cromática do RGB [4]

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

<sup>2</sup> Esse diagrama representa o modelo de cor desenvolvido pela *Commission Internationale de l'Eclairage*, conhecido como modelo CIE XYZ.

<sup>3</sup> Obviamente adulterado pelas limitações inerentes ao meio de leitura deste artigo: ecrã ou papel.

<sup>1</sup> Esta designação advém dos repuxos existentes no magnífico jardim central (figura 2)

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 3, 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. Quando é referido que os sistemas informáticos primam por uma (cada vez) maior fidelidade visual na representação de conteúdos, esta inequívoca redução da amplitude dinâmica, visível ao ser humano, nos diversos dispositivos de visualização, torna-se um factor deveras preocupante, para a obtenção de tais objectivos.

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 do desígnio descrito no parágrafo anterior.

## 2.2 High Dynamic Range

Uma qualquer cena real que nos é apresentada pode conter uma gama de intensidades e de cromaticidade verdadeiramente gigantesca. A título de exemplo, um céu estrelado pode apresentar valores da ordem de  $10^{-3}$   $\text{cd/m}^2$  e um radioso dia de sol valores superiores a  $10^5$   $\text{cd/m}^2$  [5]. 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 (4 ordens de magnitude) e diferenciar, numa determinada intensidade, cerca de 10000 cores [6]. E inclusive, com algum tempo de adaptação, alcança valores que rondam as 14 ordens de magnitude (figura 4). 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 [2]. 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.

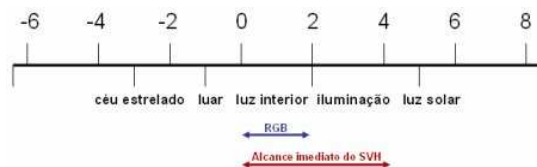


Fig. 4. Amplitude dinâmica total perceptível ao SVH (escala:  $\log \text{cd/m}^2$ ). A azul, a amplitude obtida com o RGB e a vermelho a amplitude captada instantaneamente pelo SVH

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*.

No entanto, os dispositivos de visualização actuais são fortemente limitados no que respeita à representação dos valores indicados no início desta secção. Por exemplo, actualmente num bom ecrã LCD os valores típicos para o brilho (intensidade) são de 250-300  $\text{cd/m}^2$  e contrastes entre os 600:1 e 1000:1. Ecrãs com tecnologia plasma conseguem melhorar estes valores com contrastes até aos 10000:1 e um brilho na ordem dos 1200  $\text{cd/m}^2$ , mas em qualquer dos casos, e como facilmente se pode constatar na figura 4, ficam bastante aquém da amplitude dinâmica do HDR.

Deste modo e com vista à reprodução de conteúdos que abrangem a gama dinâmica perceptível ao SVH, estão a ser desenvolvidas técnicas de captura/geração, armazenamento e visualização de conteúdos HDR.

A origem de 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 [7] 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 5). 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.



Fig. 5. Imagem (maior) obtida a partir das várias fotografias captadas com tempos de exposição distintos (© Brightside Technologies)

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. No caso do trabalho apresentado neste artigo, irá ser usado o *Radiance* [8] (figura 6).



Fig. 6. Imagem renderizada com o Radiance (© Carsten Bauer)

Toda esta elevada gama de intensidades e cromaticidade, necessita de novos formatos adequados ao seu armazenamento. Aquando do desenvolvimento do seu modelo de iluminação (*Radiance*), Greg Ward criou igualmente um formato que permitisse o armazenamento de tal gama de valores extra, o RGBE [9]. Este formato utiliza 4 canais: os mesmos 3 canais do RGB e um outro para um expoente que é partilhado pelos 3 anteriores. De forma a suprir as debilidades do formato RGBE, identificadas pelo próprio Greg Ward, ele desenvolveu um outro formato (LogLuv TIFF), mais adequado e aproximado ao comportamento do SVH e, como tal, ideal para o armazenamento de imagens HDR [10].

Neste formato separou por diferentes canais a luminância e a cromaticidade, aplicando uma codificação logarítmica à luminância; numa das suas variantes: 16 bits para a luminância e 8+8 bits para cada uma das coordenadas CIE. No entanto, é o formato OpenEXR [11] desenvolvido em 2002 pela Industrial Light and Magic (16 bits p/ canal: sinal + 5 bits expoente + 10 bits mantissa), que está a ter uma implantação cada vez maior, talvez devido ao facto de ter sido o formato adoptado pelos principais fabricantes de processadores gráficos, a NVIDIA e a AMD/ATI. Outros formatos existem (Microsoft scRGB, Pixar Log encoding,...), mas não são tão relevantes. Na tabela 1 é apresentado um comparativo entre alguns dos formatos HDR.

TABELA 1

COMPARATIVO DE FORMATOS HDR

Formato	Bits/pixel	Amplitude dinâmica	Intervalos de Luminância
RGB	24	1,6	Variável
RGBE	32	76	1%
LogLuv	32	38	0,3%
OpenEXR	48	10,7	0,1%

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*<sup>4</sup>, 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<sup>2</sup> (valor que nenhum outro equipamento consegue obter) e 4000 cd/m<sup>2</sup>.

### 3 TRABALHO RELACIONADO

Existem alguns projectos que focalizam o seu estudo na geração de imagens ou vídeos que, alegadamente, simulam uma reprodução fiel de alguns espaços arqueológicos do património cultural da humanidade. No entanto, e que nós tenhamos conhecimento, nenhum deles o faz com recurso ao HDR, o que até se afigura como natural, na medida em que apenas recentemente foi desenvolvido o primeiro, e bastante dispendioso, *display* HDR (secção 2.2).

<sup>4</sup> Foi recentemente anunciada (meados 2007) a aquisição da Brightside Technologies pela Dolby Laboratories, Inc.

Devlin e Chalmers [12] utilizaram diversos tipos de luminárias para gerar simulações, as mais fidedignas possíveis, da Casa de Vettii em Pompeia. Para tal, usaram os bem preservados frescos aí existentes, para obter as texturas necessárias ao modelo virtual bem como diversos tipos de luminárias (velas e lamparina a óleo), abastecidas com combustíveis de diferentes origens e propriedades, desde cera de origem animal e vegetal ao azeite misturado com sal ou água. Com essas luminárias os autores realizaram dois tipos de testes: extracção das propriedades lumínicas da chama, posteriormente convertidas para RGB de modo a poderem ser usadas no motor de rendering e igualmente a sua captura em vídeo para uso num modelo virtual animado. Para esse efeito, foi elaborado um vídeo da chama em combustão de modo a capturar a natureza aleatória da combustão da própria chama. De seguida, e usando técnicas de visão por computador, foi feita a “extracção” das propriedades do *flickering* dessa chama de modo a poder ser simulado numa animação virtual do modelo proposto.

Um dos mais impressionantes exemplos europeus de grutas esculpidas no período do paleolítico superior, *Cap Blanc* em França, foi retratado por Chalmers [13], [14]. Uma área em particular da gruta foi recriada virtualmente com o recurso a fotografias da própria gruta, para serem usadas como texturas e a um *scanner* 3D que gerou os dados geométricos de modo a que o modelo tridimensional fosse fisicamente correcto. Com base nessa informação e numa vela feita com gordura animal, tal como seria usado na época em causa, foram criados modelos virtuais da gruta, na qual a simulação das fontes de luz foi obtida tendo por base a distribuição espectral da luz emanada.

E os resultados não poderiam ter sido mais surpreendentes. A percepção que um qualquer visitante daquele espaço arqueológico tem, nos dias de hoje, ao visualizar as esculturas esculpidas na rocha da parede, iluminadas pela instalação eléctrica presente no local, é substancialmente diferente da percepção que os nossos antepassados teriam ao visualizar essa mesma cena. De facto, a iluminação originada pela vela propicia uma atmosfera bem mais acolhedora e o jogo de sombras proporcionado pelo movimento da chama em combustão, imperceptível com a iluminação actual, é tal que o animal retratado da escultura (cavalo) parece estar em movimento.

Roussos [15] apresenta um trabalho bastante semelhante com Devlin [12]. Neste trabalho o caso de estudo incidiu no Palácio de Knossos em Creta (Grécia) onde foram realizados testes com vários tipos de combustível (óleo de sésamo, cera, azeite e gordura animal). Este projecto acrescenta algo de novo no modelo matemático desenvolvido e devidamente validado para simular os movimentos de uma chama em combustão.

Em [16] e [17] é apresentado um projecto deveras interessante que atesta bem da validade deste tipo de experiências. O templo de Kalabsha, no Egipto, foi literalmente removido da sua localização original devido à subida das águas do rio Nilo, após a construção da barragem *Aswan High* em 1959. É sabido que a religião egípcia tinha o sol como elemento de culto e os seus monumentos eram normalmente orientados de acordo com esse venerado astro. Hoje já não nos é possível ter a percepção do efeito que a luz solar, há cerca de 2000 anos atrás, teria nesse templo, não só porque o templo na sua “nova morada” ficou com uma orientação diferente da que tinha originalmente, como a incidência solar é hoje diferente da que existia por altura do ano 30 A.C.. Perante isto, foi intenção dos autores elaborar um estudo válido do impacto que a iluminação solar poderia ter em toda a interpretação arquitectónica e religiosa do templo em questão. Para esse efeito, e com base na documentação elaborada aquando do desmantelamento do templo na década de 60, foi elaborado um modelo geométrico detalhado no qual foram aplicadas texturas provenientes do próprio templo, por intermédio de fotografias. Tendo esse modelo tridimensional e sabendo a sua localização e orientação original foi possível efectuar uma simulação do efeito da exposição solar que o templo teria há 2000 anos atrás<sup>5</sup>. Inclusivamente foi elaborado um vídeo onde é perceptível o efeito que a luz solar tem no templo ao longo de 10 horas do dia.

Mas os autores não se limitaram ao exterior do templo, o interior, particularmente os já descoloridos hieróglifos lá existentes, foi igualmente alvo de estudo. Como os hieróglifos apresentavam um certo relevo e esse facto teria influência na sua visualização quando iluminados, o seu mapeamento no modelo tridimensional através de uma simples textura, não seria satisfatório para os resultados pretendidos. Para colmatar essa lacuna todos eles foram manualmente

<sup>5</sup> Esta é uma funcionalidade possível de executar com uma das aplicações do *package Radiance* [8]

(re)desenhados em tamanho real. Partindo desses desenhos e em alguns dos dados geométricos, foi criada uma superfície geométrica tridimensional. Posteriormente, e já no modelo digital, foram “pintados” com base nas colorações de outros hieróglifos existentes noutros templos e em melhor estado de conservação. Por fim, a distribuição espectral de uma lamparina, entretanto reconstruída fisicamente, provida a óleo de sésamo foi simulada e mais uma vez obtiveram-se resultados surpreendentes, o azul presente nos hieróglifos quando iluminados com as luminárias da época eram percebidos em tons de verde.

Em [18] não havia a intenção de gerar um modelo fotorrealista, pois o tempo de processamento de tais imagens era incompatível com a pretensão dos autores de desenvolverem um modelo interativo. A fidelidade que pretendiam alcançar era, tal como também foi feito em [12], na simulação da luminária (velas ou a óleo), mais especificamente, nos movimentos naturais da chama em combustão, distribuição espectral e das propriedades fotométricas dessa mesma chama. Tendo por base o Fórum Romano de Bavay, no norte de França, foi desenvolvido um modelo interativo e animado onde foram simuladas animações realistas da combustão das luminárias usadas na época em estudo. De modo a executar estas tarefas em tempo real, tiveram de idealizar uma forma de reconstruir a chama suficientemente célere para uma visualização interactiva e em tempo real. Para tal intento usaram um modelo matemático para gerar partículas que seriam posteriormente utilizadas no controlo de superfícies NURBS. Foi igualmente interessante a forma como os autores iluminaram a cena, ao codificarem as propriedades fotométricas directamente num *pixel shader*.

De todos os projectos apresentados nesta secção, duas observações que julgamos pertinentes:

- Exceptuando este último, todos os restantes recorrem ao *Radiance* para a simulação do transporte de luz. Este modelo físico de iluminação revela-se adequado para simulações realistas do fenómeno físico do transporte e propagação de luz, mesmo com luminárias de combustão [19];
- Todos eles indicavam que um dos principais objectivos a atingir era obter uma simulação fidedigna e validada das luminárias da época em causa. No entanto, nunca encontrámos referência a um dos componentes de maior

importância na difusão, tipo e qualidade da chama produzida por uma qualquer luminária (em vela ou a óleo), o pavio (constituição, dimensões, espessura, etc.) [1].

## 4 CASO DE ESTUDO

### 4.1 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 (lamparinas, candeeiros, tochas, etc.) [1], [15], [18]. Se assim era até há bem pouco tempo atrás, no período que pretendemos retratar não seria diferente com certeza. 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. 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.

Apesar de existirem registos do uso, pelos Romanos, de iluminação fixa nas paredes, tipo tocha, esta tipologia de iluminação, a partir de determinado período, deixou de ser usual. Provavelmente, devido aos diversos relatos documentados de incêndios ocorridos e originados por estas fontes de iluminação.

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).

Apesar do número de achados arqueológicos que o comprovam ser substancialmente inferior, crê-se que os Romanos tenham “importado” o uso de lucernas da civilização Grega [1]. Só a partir do século III A.C. existem registos de lucernas Romanas que eram feitas tipicamente em argila ou bronze e continham quase sempre um bico especial para o pavio (figura 7).

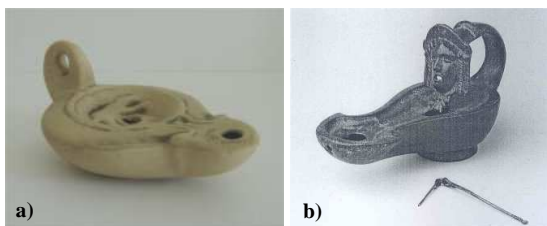


Fig. 7. Lucernas Romanas em argila (a.) e em bronze (b.)

Essas lucernas seriam dispostas directamente no chão ou em lampadários, que eram tipicamente de dois tipos; unitário, no qual permitia apenas albergar apenas uma lucerna (figura 8.a) ou um outro que possibilitava a colocação de várias lucernas, seja para aumentar a luminosidade da sala onde estavam colocadas ou até para acomodar lucernas de maior dimensão (figura 8.b).

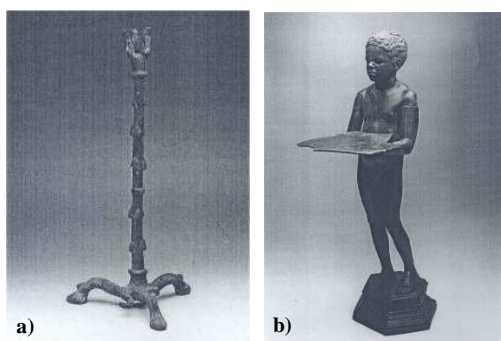


Fig. 8. Lampadários Romanos de suporte para uma lucerna a) ou para várias b)

A questão fulcral neste método ancestral de iluminação, é o combustível utilizado para provir 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 [1], [12], [14]. Essa acaba por ser uma evidência em toda a orla mediterrânica [20]. 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 [1]. 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 [1], [12].

## 4.2 Metodologia a adoptar

As ruínas de Conimbriga albergam um dos principais legados do extinto Império Romano em Portugal e inclusive da Península Ibérica. Em colaboração com o Museu Monográfico local, este importante património cultural vai ser alvo de um estudo que visa a geração de imagens válidas não apenas no modelo geométrico utilizado, mas igualmente no retratar da iluminação usada na época.

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. Ainda hoje grande parte do original lajeado de mosaicos está presente no local e em bom estado de conservação, como é visível nas figuras 2 e 9.a. Provavelmente, estes já seriam factores suficientes para a escolha deste espaço como alvo do nosso estudo. No entanto e tendo em vista os objectivos a atingir com o mesmo, um outro emergiu, é o único que ainda tem amostras de frescos pintados nas suas paredes semi-destruídas, nomeadamente na Sala da Caçada (figura 9.b).



Fig. 9. Lajeado integral da sala da caçada e frescos existentes nas paredes

Este trabalho visa essencialmente a geração de imagens HDR que sejam simultaneamente física e perceptivamente válidas. O que torna este trabalho ainda mais interessante e legítimo é o facto de o tentarmos implementar numa área, arqueologia, onde é muito difícil alcançar este tipo de resultados senão por intermédio de meios informáticos. 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 (figura 10).

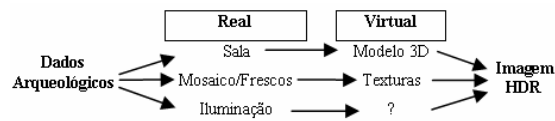


Fig. 10. Processo de implementação do trabalho apresentado

A sala, mesmo estando em ruínas, com o apoio dos especialistas, facilmente se gera um modelo tridimensional. Apesar da degradação dos frescos lá existentes, num trabalho preciso e metódico, é possível reconstruir digitalmente uma textura a usar no nosso modelo virtual. A questão mais problemática no nosso pipeline 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 e na sua grande maioria eram lucernas em argila de pequena dimensão tal como as apresentadas nas figuras 7.a e 11.

2. Qual seria o Combustível que as provia?

A opinião dos especialistas corrobora a informação da secção 4.1, 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.

3. Será que eram adicionados aditivos ao combustível?

Mais uma vez, este tema foi abordado em 4.1 e as várias referências confirmam, pelos motivos enumerados, o uso de sal conjuntamente com azeite.

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

Neste ponto, Forbes [1] valida a opinião dos especialistas, o pavio, essencial para a qualidade e difusão da chama, seria longo, estreito e em linho ou algodão.

De seguida, e com vista a uma reconstrução o mais fidedigna possível de uma luminária romana da época em estudo, foi o almejado rigor histórico que nos orientou numa cuidadosa recolha dos diversos componentes da mesma, assim:

- Lucerna: foram-nos disponibilizadas pelo Museu Monográfico de Conimbriga duas lucernas em argila (figura 11);
- Azeite: foram obtidas diversas amostras de azeite. Para uma aproximação, o mais perfeita possível, das propriedades do azeite usado na época, tivemos o cuidado de todas as amostras, vindas directamente do lagar, 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);
- Sal: O mesmo cuidado foi tido neste elemento. Foi adquirido sal “puro”, directamente de salinas (Figueira da Foz) e sem qualquer tipo de aditivo;
- Pavio: Numa luminária a óleo um bom pavio é fulcral para a qualidade e propriedades da “luz” emanada por essa mesma luminária. É nossa intenção, de acordo com o indicado na secção anterior, usar na nossas experiências pavios em linho e/ou algodão, tendo este último já sido adquirido.



Fig. 11. Lucernas de Conimbriga e alguns dos componentes a usar na mesma

Após a obtenção de todos estes componentes, é necessário 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. Devido à volatilidade da chama e de forma a precaver a leitura de valores incorrectos e desajustados com a realidade, serão realizadas várias (dez) medições, sendo posteriormente calculada a média dos valores obtidos em cada medição. Com vista a uma validade mais efectiva das nossas experiências, irão ser 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.

Estas experiências irão ser conduzidas numa sala sem qualquer tipo de iluminação externa e contra uma superfície idealmente difusa, de modo a que não exista qualquer tipo de reflexão que possa adulterar os resultados das medições efectuadas com o espectroradiómetro.

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 para simular o transporte de luz e o comportamento físico que a mesma tem ao interagir com todas as superfícies de uma cena. O *Radiance* [8], desenvolvido por Greg Ward, é um *package open source* disponível em <http://radsite.lbl.gov> e ainda hoje actualizado e suportado pelo autor. O modelo de iluminação implementado nesse *package*, tem a capacidade de produzir imagens cuja iluminação (simulada), mesmo em luminárias de combustão, 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 6. Além disso, permite abranger toda a amplitude dinâmica necessária para a obtenção de uma imagem HDR, tal como é nosso objectivo. Pelo exposto, é perfeitamente legítima a

escolha desta poderosa ferramenta como motor de rendering, no trabalho apresentado neste artigo.

A validação final das imagens (HDR) geradas deverá ser realizada no ecrã de visualização referido na secção 2.2 (*Brightside DR37-P*), existente na Universidade de Warwick no Reino Unido.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

No que à visualização diz respeito, estamos à beira de uma revolução. Em pouco tempo, espera-se, a visualização de conteúdos, seja num ecrã, seja numa televisão vai mudar radicalmente. O caso da *Dolby Laboratories, Inc* é verdadeiramente pragmático desta tendência. Uma empresa de referência no mercado e que sempre investiu todo o seu conhecimento, pesquisa e *know-how* numa área muito específica, o áudio, subitamente orientou a sua linha estratégica numa outra direcção, a imagem, ao adquirir a *Brightside Technologies*.

As imagens HDR são o mote deste nosso trabalho que, aliado à área de aplicação, a arqueologia, legitima-o, 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 a iluminação usada no primeiro século da nossa era, neste Portugal outrora designado por Lusitânia.

Analisando os projectos apresentados na secção 3, rapidamente se constata que o nosso trabalho pode ser considerado um avanço numa óptica tecnológica, mas igualmente e fundamentalmente visual (inclusive era referenciado em alguns deles como trabalho futuro). Pois, ao aproveitar, e representar, toda a amplitude dinâmica captada pelo SVH, estão-se a conceber imagens visualmente realistas mas, mais importante que isso, fisicamente e perceptivelmente válidas no que concerne à iluminação.

A realização das experiências indicadas na secção 4.2, afigura-se como o passo seguinte deste nosso trabalho. As mesmas estão a ser idealizadas e preparadas com extremo rigor e cuidado de modo a que os resultados obtidos sejam fisicamente válidos e desse modo exequíveis de utilização nos cálculos de iluminação a executar posteriormente.

Como estas imagens de elevada amplitude dinâmica não são passíveis de visualização, sem perda de informação, num "normal"

*display*, as mesmas deverão ser testadas num equipamento que suporte a amplitude dinâmica que elas albergam, sendo nossa intenção fazê-lo no ecrã desenvolvido pela *Brightside Technologies*, modelo DR37-P.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao Director do Museu Monográfico de Conimbriga, Dr. Virgílio Correia, o apoio e participação neste projecto 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.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. J. Forbes. *Studies in Ancient Technology (Volume VI)*. Leiden & Brill, Netherlands. 1966
- [2] R. Blake and R. Sekuler. *Perception*. McGraw-Hill, third edition. 1994
- [3] A. K. Devlin, "Perceptual Fidelity for Digital Image Display", PhD Thesis, University of Bristol, 2004
- [4] J. Walter, "Colour Rendering of Spectra", <http://www.fourmilab.ch/documents/specrend>. 1996
- [5] P. Ledda. *Development of a Perceptual Tone Mapping Operator*. University of Bristol. 2002
- [6] G. Ward, "Overcoming Gamut and Dynamic Range Limitations in Digital Images", Proc. IS&T/SID 6th Colour Imaging Conference. 1998
- [7] P. Debevec and J. Malik, "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs", Proc. SIGGRAPH 97, Computer Graphics. 1997
- [8] G. Ward and R. Shakespeare. *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualisation*. Morgan Kaufmann Publishers. 1998
- [9] G. Ward, "Real Pixels", Proc. Graphics Gems II, pp. 80-83. 1991
- [10] G. Ward, "The LogLuv Encoding for Full Gamut, High Dynamic Range Images", Journal of Graphics Tools, 3(1) pp.15-31. 1998
- [11] R. Bogart, F. Kainz and D. Hess, "The OpenEXR File Format", Proc. Siggraph 2003, Technical Sketch. 2003
- [12] K. Devlin and A. Chalmers, "Realistic Visualisation of the Pompeii Frescoes", Proc. 1st International Conference on Computer Graphics, Virtual reality and Visualisation, pp. 43-48. 2001
- [13] A. Chalmers, C. Green and M. Hall, "Firelight: Graphics and Archaeology", Proc. SIGGRAPH 00, Electronic Theatre. 2000
- [14] A. Chalmers, "Very Realistic Graphics for Visualising Archaeological Site Reconstructions", Proc. 18th Spring Conference on Computer Graphics, pp. 43-48. 2002
- [15] I. Roussos and A. Chalmers, "High Fidelity Lighting of Knossos", Proc VAST2003, pp. 47-56. 2003
- [16] V. Sundstedt, A. Chalmers and P. Martinez, "A High Fidelity Reconstruction of Ancient Egypt - The Temple of Kalabsha", Proc. ACM SIGGRAPH: Conference Abstracts and Applications. 2003
- [17] V. Sundstedt, A. Chalmers, P. Martinez, "High Fidelity Reconstruction of the Ancient Egyptian Temple of Kalabsha", Proc. AFRIGRAPH'04, 3rd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa. 2004
- [18] F. Bridault-Louchez, M. Leblond, F. Rousselle and C. Renaud, "Enhanced Illumination of Reconstructed Dynamic Environments Using a Real-time Flame Model", Proc Afrigraph'06, 4th international conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa. 2006
- [19] A. McNamara, A. Chalmers, T. Troscianko and I. Gilchrist, "Comparing Real and Synthetic Scenes Using Human Judgements of Lightness", Proc. 11th Eurographics Workshop on Rendering. 2000
- [20] K. Kimpe, P. Jacobs and M. Waelkens, "Analysis of Oil Used in Late Roman Oil Lamps with Different Mass Spectrometric Techniques Revealed the Presence of Predominantly Olive Oil Together with Traces of Animal Fat", Journal of Chromatography, A, 937, pp. 87-95. 2001



**Alexandrino Gonçalves** Licenciado em Matemática – Ramo de Sistemas e Métodos de Computação Gráfica (1996) pela Universidade de Coimbra. Mestrado em Eng. Informática (2003) pela Universidade de Coimbra. Docente do Departamento de Eng. Informática da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. Autor e Co-Autor de dois trabalhos de investigação que têm tido algum reconhecimento nacional e internacional nos diversos locais onde foram apresentados (alguns dos quais por convite). Nomeadamente, os modelos virtuais do Fórum Flaviano de Conimbriga ([www.forumflaviano.web.pt](http://www.forumflaviano.web.pt)) e da Casa dos Esqueletos ([www.casadosesqueletos.web.pt](http://www.casadosesqueletos.web.pt)). Cerca de uma dezena de artigos publicados.



**Luís Magalhães** Licenciado em Engenharia de Sistemas e Informática (1992) pela Universidade do Minho. Mestrado em Informática (1997) pela Universidade do Minho. Doutoramento em Ciências da Computação (2004) pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Docente do Departamento de Engenharias da UTAD. A sua investigação tem-se centrado na criação de sinergias entre a Computação Gráfica e a Visão por Computador.



**João Paulo Moura** Licenciatura e Mestrado em Engenharia de Electrotécnica e de Computadores pela Universidade de Evry, França. Doutoramento em Engenharia de Electrotécnica (2006) pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Docente do Departamento de Engenharias da UTAD. A sua investigação tem-se centrado na criação de sinergias entre a Computação Gráfica e os Sistemas de Informação Geográfica.



**Alan Chalmers** Mestrado pela Universidade de "Rhodes" (1984). Doutoramento na Universidade de "Bristol" (1991). Professor e responsável pelo "Warwick's Digital Lab" na Universidade de Warwick. Tem cerca de uma centena de artigos publicados em jornais e conferências, alguns dos quais verdadeiras referências na área. Já foi vice-presidente do ACM Siggraph (1999-2002), entre outros importantes cargos em diversas instituições internacionais.