

Desenvolvimento de um operador de *tone mapping* para dispositivos com ecrã pequeno

Carlos Urbano
DEI/ESTG/IPL
Leiria
curbano@estg.ipleiria.pt

Luís Magalhães
INESC Porto
UTAD Vila Real
lmagalha@utad.pt

João Paulo Moura
GECAD Porto
UTAD Vila Real
jpmoura@utad.pt

Maximino Bessa
INESC Porto
UTAD Vila Real
maxbessa@utad.pt

Adérito Fernandes Marcos
ENGAGE Lab, UM, CCG
Guimarães
marcos@dsi.uminho.pt

Sumário

Dada a forte divulgação e crescente adesão à criação e utilização de imagens HDR (High Dynamic Range), quer de fotografias do mundo real quer imagens geradas por computador através de software específico, torna-se necessário permitir a sua adequada visualização nos dispositivos de visualização convencionais, incluindo os pequenos e limitados, mas amplamente difundidos, dispositivos com ecrã pequeno (DEP) como os Personal Digital Assistants (PDA). Apesar do considerável esforço na melhoria destes dispositivos, as suas limitações continuam a ser notórias, salientando-se o reduzido tamanho, resolução e gama de cores disponíveis. Conforme demonstrámos em experiências anteriores, este tipo de dispositivos necessitam de um operador de mapeamento de tons (Tone Mapping Operator - TMO) adequado que maximize a percepção de imagens HDR. Neste artigo expomos o estado actual do desenvolvimento deste novo TMO para DEP.

Palavras-chave

Computação Gráfica, High Dynamic Range, Dispositivos Móveis, Mapeamento de Tons (Tone Mapping Operators).

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser possível a obtenção de imagens a partir do mundo real ou através da geração de imagens de síntese por computador, com uma elevada gama dinâmica (imagens HDR - *High Dynamic Range*), tal como acontece quando olhamos directamente para o mundo que nos rodeia, existem ainda problemas na reprodução dessas imagens nos dispositivos de visualização comuns, que são caracterizados por disponibilizar uma baixa gama dinâmica (*Low Dynamic Range* - LDR).

De forma a resolver ou, pelo menos, atenuar este problema, foram desenvolvidas diversas técnicas para compressão ou conversão da alta gama existente nas imagens HDR para a gama reduzida disponibilizada pelos dispositivos usuais. Estas técnicas denominam-se operadores de mapeamento de tons (*Tone Mapping Operators* - TMO).

Claro que, neste processo, haverá sempre perda de informação, porém, aplicando-se o algoritmo adequado, conseguem-se preservar determinadas características, apesar da “compressão” realizada (Figura 1).

1.1 Operadores de Tone Mapping

Estes algoritmos podem ser classificados como globais ou locais [Devlin'02]. Os globais são simples de implementar e computacionalmente rápidos uma vez que mapeiam cada pixel baseando-se apenas na sua intensidade e nas

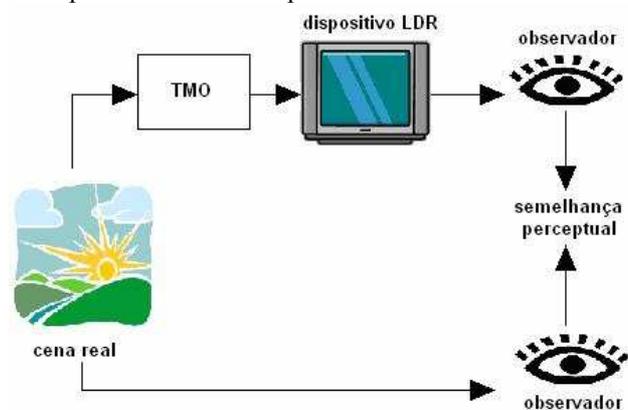


Figura 1 - Operador de tone mapping "ideal"

características globais da imagem, independentemente da posição que o pixel ocupa na imagem.

Por outro lado, os algoritmos locais têm em conta a vizinhança (pixels vizinhos) de cada pixel que se pretende mapear. Isto significa que pixels com a mesma intensidade podem ser mapeados com valores distintos dependendo da sua respectiva vizinhança.

Outro aspecto importante respeitante ao mapeamento de tons, que não foi tido em conta e que é independente da classificação anterior, é o tempo. Se um TMO foi pensado para lidar com sequências animadas de imagens considerando a adaptação do sistema visual humano (SVH) ao longo do tempo, será designado por TMO dependente do tempo. Caso contrário, se foi pensado apenas para lidar com imagens isoladas será considerado TMO independente do tempo.

Cada algoritmo, ao realizar a compressão da gama dinâmica e dependendo da sua concepção, pode preservar determinadas características em detrimento de outras. As características a preservar dependem do objectivo da imagem final obtida podendo ser de cariz perceptivo, cognitivo ou estético. No primeiro caso, o algoritmo deve gerar uma imagem que seja perceptivelmente semelhante à imagem HDR (Figura 2).

No caso cognitivo, a imagem resultante deve permitir identificar exageradamente o conteúdo da imagem original mesmo que não seja perceptivelmente semelhante, normalmente sobrevalorizando os detalhes (Figura 3).



Figura 2 – Imagem de cariz perceptivo (retirada do Flickr)

Em relação ao cariz estético, o algoritmo implementa alguns efeitos visuais e artísticos criando imagens agradáveis mas que podem até se afastar um pouco da imagem real original (Figura 4).

O âmbito do presente trabalho enquadra-se apenas nos aspectos perceptivos descartando as vertentes cognitivas e estéticas.



Figura 3 – Imagem de cariz cognitivo (retirada do Flickr)



Figura 4 – Imagem de cariz estético (retirada do Flickr)

1.2 Objectivo

Conforme ficou demonstrado nas experiências psicofísicas previamente realizadas e descritas em [Urbano'09], justifica-se a criação de um TMO específico para dispositivos com ecrã pequeno. Estas experiências, além de comprovarem a necessidade de atenção especial na construção de um TMO para DEP, indicaram também algumas características da imagem que esse TMO deverá realçar, nomeadamente o detalhe, o uso de cores saturadas e o brilho geral da imagem.

Desde modo, é nosso objectivo construir ou adaptar um TMO adequado aos DEP, de forma a melhorar a percepção de imagens neles visualizadas, sejam fotografias, imagens de satélite, imagens médicas, etc.

1.3 Guia de Leitura

Na próxima secção realiza-se uma breve descrição do trabalho realizado anteriormente e que nos levou a concluir que o desenvolvimento de TMO para DEP merece um estudo apropriado e específico.

Na secção 3 serão apresentadas algumas abordagens possíveis para a construção de um TMO para DEP e os testes que temos vindo a efectuar.

Posteriormente, na secção 4 teceremos algumas conclusões sobre o estado actual do trabalho em desenvolvimento e os passos a seguir no futuro mais próximo.

2. TRABALHO ANTERIOR

Dada a crescente adesão e propagação das imagens HDR torna-se imperioso que as mesmas possam ser visualizadas com a máxima qualidade nos dispositivos convencionais, nomeadamente nos amplamente difundidos DEP, particularmente nos PDA.

Dadas as limitações deste tipo de dispositivos, como a reduzida dimensão do ecrã, a baixa resolução e o limitado número de cores disponíveis, a visualização de imagens HDR passará pela aplicação de algoritmos de mapeamento de tons que farão adequadamente a compressão da gama dinâmica da imagem HDR numa imagem LDR.

Como ficou demonstrado no nosso trabalho anterior [Urbano'09], é necessário desenvolver um TMO apropriado a DEP, pois apesar da existência de dezenas de abordagens não existe nenhum construído especificamente para DEP.

A concepção experimental que levou a esta importante conclusão pode ser consultada em detalhe no artigo apresentado e publicado na IASK2007 [Urbano'07].

De seguida, será apresentado um resumo da concepção experimental definida.

2.1 Concepção experimental

O objectivo seria, não só, a comparação de TMO em diversos tipos de dispositivos (LCD, CRT e PDA), mas também mostrar que os DEP necessitam de um TMO específico que tenha um melhor desempenho do que qualquer outro existente. Note-se que o tipo de DEP escolhido para as experiências recaiu nos PDA, uma vez que a tendência dos dispositivos móveis converge para ecrã de 2,5" a 3,5", com resolução QVGA e 16bit/pixel de cor.

O estudo teve como hipótese de investigação que o *ranking* de TMO obtido para LCD e CRT é diferente daquele obtido para DEP. Foram realizadas 3 experiências, uma para cada tipo de dispositivo, em que participaram 19 pessoas em cada uma, perfazendo um total de 57 participantes. Todos com visão normal ou corrigida para normal, sem conhecimento prévio do propósito da experiência.

As experiências decorreram numa sala com ambiente de iluminação controlado em que cada participante vê uma cena real à sua frente, juntamente com 2 imagens (da mesma cena) previamente mapeadas com algoritmos diferentes, das quais tem que escolher aquela que mais se aproxima, segundo um dado critério, da cena real. Cada participante fez esta escolha para todos os pares de imagens possíveis. Os 7 TMO em avaliação foram: *Gradient Domain* [Fattal'02], *Spatially Varing* [Ashikhmin'02], *Bilateral Filtering* [Durand'02], *Logarithmic Mapping* [Drago'03], *Multiscale Observer Model* [Pattanaik'00], *Photographic Tone Reproduction* [Reinhard'02] e *Photoreceptor Model* [Reinhard'05]. A saber, serão usadas como abreviaturas para os TMO, respectivamente, Fa, As, Du, Dr, Pa, R2 e R4. Uma vez que se tratava de 7 TMO, cada observador avaliou 21 pares de imagens. Este processo repetiu-se 4 vezes para cada participante, uma vez que foram utilizados 4 critérios de comparação, a saber: a cor, o contraste, o nível de detalhe e a naturalidade.

2.2 Resultados das experiências

No final das 3 experiências resultaram 3 *rankings* de TMO, um para LCD, outro para CRT e outro para DEP (PDA), que se podem observar na Tabela 1. É notório que o *ranking* obtido para PDA é substancialmente diferente daqueles obtidos para CRT e LCD.

	CRT	LCD	PDA
1st	R2	R2	R2
2nd	Du	Du	Dr ↑
3rd	Dr	Dr	Fa ↑
4th	R4	R4	Du ↓
5th	As	As	As
6th	Fa	Fa	R4 ↓
7th	Pa	Pa	Pa

Tabela 1 - Rankings obtidos para os diferentes tipos de dispositivos de visualização. As setas indicam a subida ou descida de um TMO no ranking obtido para PDA comparativamente aos outros dois rankings.

Esta diferença indica que percebemos as imagens de cada TMO de maneira distinta no PDA em relação ao CRT ou LCD. Haverá, então, características de imagem que devem ser trabalhadas de maneira diferente quando se pretende desenvolver um TMO para PDA, o que permite concluir que é necessária atenção especial quando se constrói um TMO adequado aos PDA. Esta conclusão pode ser alargada a qualquer tipo de DEP, uma vez que as diferenças principais entre os dispositivos CRT e LCD, e o PDA residiam na dimensão do ecrã, na resolução e no número de cores, o qual apresenta as características usuais de um dispositivo DEP.

As experiências indicaram também algumas características da imagem que esse TMO adequado aos DEP deverá realçar, nomeadamente o detalhe, o uso de cores saturadas e o brilho geral da imagem.

TMO	Contrast			Colour			Detail			Naturalness			TOTALS		
	CRT	LCD	PDA	CRT	LCD	PDA	CRT	LCD	PDA	CRT	LCD	PDA	CRT	LCD	PDA
Fattal	46	33	68	23	16	55	40	56	86	11	16	68	120	121	277
Drago	79	80	87	74	67	75	70	75	73	83	87	85	306	309	320
Durand	82	76	50	85	79	75	84	83	51	76	82	62	327	320	238
Ashikhmin	46	49	56	45	49	62	52	55	58	50	43	62	193	196	238
Pattanaik	29	30	19	19	37	9	37	16	11	17	22	6	102	105	45
Reinhard02	75	82	84	90	92	75	77	77	85	101	96	79	343	347	323
Reinhard04	42	49	35	63	59	48	39	37	35	61	53	37	205	198	155

Tabela 2 - Pontuação geral de cada TMO.

Mais detalhadamente, na Tabela 2, poderemos ver as pontuações parciais e finais de cada TMO em cada tipo de dispositivo.

Da análise da Tabela 2 pode-se constatar que o TMO aqui designado por Reinhard02, apesar de manter a primeira posição no ranking do PDA, baixou consideravelmente a sua pontuação comparativamente ao ranking dos CRT e LCD. Assim, uma das possíveis abordagens para construção de um TMO para DEP poderia passar pela melhoria do Reinhard02 para que a sua pontuação subisse no respectivo ranking. No entanto, se analisarmos a pontuação parcial obtida por cada atributo de imagem, percebemos que o Reinhard02 apenas foi o melhor na cor, sendo ultrapassado nos restantes três atributos: contraste, detalhe e naturalidade.

3. TMO PARA DISPOSITIVOS COM ECRÃ PEQUENO

Tendo como objectivo o desenvolvimento de um TMO que permita maximizar a percepção de uma imagem HDR num DEP, foram realizados alguns testes que a seguir serão descritos bem como a abordagem adoptada.

3.1 A nossa primeira abordagem

Da Tabela 2 constata-se que o TMO, designado por Drago, obteve a melhor pontuação parcial em três dos quatro atributos usados: contraste, cor e naturalidade. Apenas não atingiu a melhor marca no detalhe. Desta forma, a nossa abordagem para a construção de um TMO para DEP será melhorar o Drago no que diz respeito aos detalhes mantendo as restantes características num nível elevado.

Para melhorar os detalhes da imagem obtida através do TMO do Drago faremos uma junção (*merge*) deste com o que obteve o melhor resultado nos detalhes: o Fattal (As Figura 5 e Figura 6 mostram as imagens resultantes da aplicação dos TMO Drago e Fattal, respectivamente). Desta forma, construiremos um TMO híbrido de que resultem imagens mapeadas compostas por zonas obtidas através da aplicação do TMO do Drago e por zonas onde foi aplicado o TMO do Fattal. A ideia de construir TMO híbridos não é novidade. Martin Cadik propôs uma abordagem genérica para desenvolvimento de TMO híbridos [Cadik'08] e, ao longo dos últimos anos, houve algumas técnicas de mapeamento de tons que surgiram com base noutras existentes, por exemplo, Durand and Dorsey [Durand'00] criaram um TMO interactivo propondo uma

extensão ao TMO de Ferwerda et al [Ferwerda'96] onde incluíram um *blue-shift* para visão de cenas nocturnas e adição de adaptação cromática. Basearam-se também nos algoritmos de Tumblin and Turk [Tumblin'99] e Scheel et al [Scheel'00] para a implementação da interactividade.



Figura 5 – Aplicação do TMO do Drago



Figura 6 – Aplicação do TMO do Fattal

3.2 Definição do mapa de junção

A fase mais importante da nossa abordagem será seguramente a definição da zona ou mapa de junção, ou seja, as áreas onde será aplicado o do Fattal em detrimento do Drago (Figura 7).

Várias abordagens podem ser usadas para a definição do mapa de junção. Poderíamos recorrer aos mapas de saliência, mas estes definem áreas de interesse do ponto

de vista do observador, ou seja, as áreas para onde o observador olha em primeiro lugar. No entanto, nada garante que é nessas áreas que se devem realçar os detalhes.

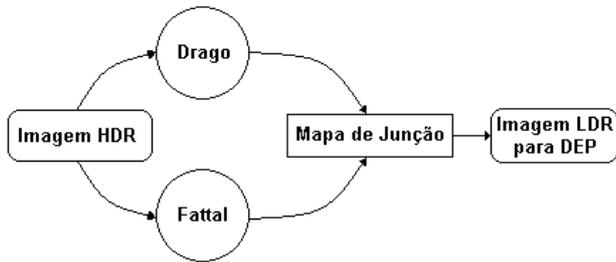


Figura 7 - Esquema do nosso TMO híbrido

Outra abordagem poderia ser criar um mapa com as áreas onde a compressão da imagem HDR para LDR foi mais acentuada [Cadik'08] mas, tal como os mapas de saliência, não garantiriam que as zonas marcadas seriam aquelas onde o detalhe deveria ser melhorado (Figura 8).

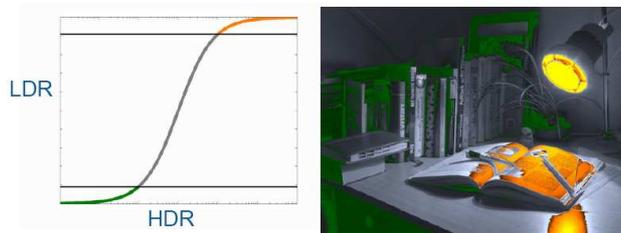


Figura 8 – Mapa de junção definido pelas zonas onde a compressão da imagem HDR para LDR foi mais notória (imagem retirada da apresentação do Cadik)

A nossa abordagem para construção do mapa de junção consiste na definição dos contornos. Normalmente, os detalhes encontram-se nos pontos onde a magnitude dos gradientes é máxima, onde há contrastes elevados, isto é nos contornos.

Para a construção do mapa foi utilizado o método do Laplaciano da Gaussiana (*Laplacian of Gaussian Method*) com o valor do *threshold* a ser escolhido automaticamente e o desvio padrão a tomar o valor 2 (função `edge(I; 'log')` do MATLAB com parâmetros por omissão), resultando na imagem da Figura 9. Este mapa será a base usada para a junção das imagens embora algumas variações tenham sido experimentadas. De seguida descrevem-se os testes realizados e os resultados obtidos.



Figura 9 - Mapa de junção base utilizado

3.3 Teste 1

No primeiro teste efectuado usámos o mapa da Figura 9 como máscara para a junção. Por cada pixel preto do mapa seria usado o respectivo pixel da imagem do Drago e por cada pixel branco o respectivo pixel da imagem do Fattal. A imagem resultante (Figura 10) descaracteriza os contornos criando transições acentuadas.



Figura 10 - Resultado do Teste 1

Esta situação deve-se às elevadas diferenças de luminâncias entre as imagens obtidas a partir do Drago e do Fattal.

3.4 Teste 2

No sentido de minimizar essas transições acentuadas, no 2º teste, foi aplicada uma espessura de 5 pixels ao mapa de junção (Figura 11).

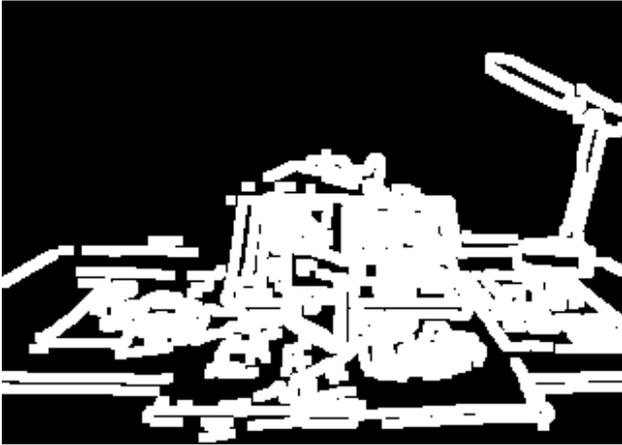


Figura 11 - Mapa de junção do Teste 2

A metodologia aplicada foi a mesma que no 1º teste, onde por cada pixel preto do mapa seria usado o respectivo pixel da imagem do Drago e por cada pixel branco o respectivo pixel da imagem do Fattal. A imagem resultante por ser observada na Figura 12.



Figura 12 - Resultado do Teste 2

A imagem resultante (Figura 12) realça, ainda mais, os contornos.

3.5 Teste 3

Tendo em conta o resultado obtido anteriormente, no 3º teste, foi aplicada uma máscara ponderada para tentar suavizar a contribuição do algoritmo do Fattal nos contornos. Definimos essa máscara ponderada usando o mapa da Figura 9 e a seguinte matriz de vizinhança

$$\begin{bmatrix} 1/90 & 2/90 & 4/90 & 2/90 & 1/90 \\ 2/90 & 4/90 & 8/90 & 4/90 & 2/90 \\ 4/90 & 8/90 & 16/90 & 8/90 & 4/90 \\ 1/90 & 2/90 & 4/90 & 2/90 & 1/90 \\ 2/90 & 4/90 & 8/90 & 4/90 & 2/90 \end{bmatrix}$$

Desta forma, existiriam pixels na imagem resultante cuja cor seria definida por uma percentagem da cor da imagem do Drago com a percentagem restante da cor da imagem do Fattal. Quanto mais afastado se estiver do ponto central da máscara menor deverá ser o peso do Fattal, daí a matriz ter um peso maior no seu centro e ir suavizando para os valores periféricos (à semelhança do que acontece nas matrizes usadas no *antialiasing*).

Assim, a intensidade de cada pixel do mapa e dos seus vizinhos é calculada através da seguinte fórmula:

$$I(x,y) = \text{peso} * \text{fattal}(x,y) + (1 - \text{peso}) * \text{drago}(x,y)$$

Resultando a imagem da Figura 13.



Figura 13 - Resultado do Teste 3

Este resultado é substancialmente melhor que os anteriores mas são ainda notórias as zonas de fronteira. Apenas é feito uma espécie de *blur* mas não suaviza o suficiente de forma a tornar a transição imperceptível.

3.6 Teste 4

Tentando espalhar mais a área de transição de forma a torná-la menos acentuada, seguiu-se novo teste, semelhante ao anterior mas com uma máscara de maior espessura, concretamente, 10 pixels - Figura 14.



Figura 14 - Mapa de junção do Teste 4

Depois de aplicar a matriz do Teste 3, obtivemos o resultado ilustrado na Figura 15.



Figura 15 - Resultado do Teste 4

Que claramente não originou o resultado esperado pois, pelo contrário, a zona de fronteira foi ampliada em vez de ser suavizada.

3.7 Teste 5

Tentando aumentar a suavização nas transições, experimentou-se um novo teste mas desta vez com máscara não-ponderada (com pesos iguais). Desta forma a matriz funciona como uma janela onde o peso é o quociente entre o nº de pixels brancos sobre nº de pixels pretos dentro dessa janela.

Obtivemos o resultado mostrado na Figura 16.

Mais uma vez o resultado obtido está ainda longe do desejado.



Figura 16 - Resultado do Teste 5

3.8 Teste 6

Decidiu-se realizar um teste mais simples sem recorrer a qualquer mapa de junção. Apenas seria calculada a média da intensidade de cada pixel das duas imagens para todos os pixels.

O resultado obtido é o da Figura 17.



Figura 17 - Resultado do Teste 6

Dado o não uso de máscara obteve-se uma imagem uniforme e sem zonas de fronteiras. No entanto, trata-se de uma imagem descaracterizada, deixando de se identificar nem com a do Drago nem com a do Fattal. Isto é, terá perdido os pontos fortes da do Drago e nem por isso ganhou convincentemente o ponto forte que se esperava da do Fattal.

3.9 Teste 7

Tentando novamente utilizar a máscara anterior definida com espessura de 10 pixels, Figura 14, mas desta vez utilizando uma nova matriz de pesos descrita por

$$\begin{bmatrix} 1/N & 2/N & 3/N & 2/N & 1/N \\ 2/N & 3/N & 4/N & 3/N & 2/N \\ 3/N & 4/N & 5/N & 4/N & 3/N \\ 2/N & 3/N & 4/N & 3/N & 2/N \\ 1/N & 2/N & 3/N & 2/N & 1/N \end{bmatrix}$$

Esta matriz em pirâmide (e não gaussiana como a do teste 4) permite que os pixels adjacentes não variem demasiado. Por outro lado, alterando o valor de N de forma a tomar um valor elevado permite que a suavização procurada nos testes anteriores realmente aconteça.

Nas Figura 18, Figura 19 e Figura 20, é possível observar as imagens finais resultantes com N=750, N=1000 e N=1500, respectivamente. Quanto maior for o N mais suave será a transição mas menor será o peso do TMO do Fattal. Assim, é necessário encontrar um valor que equilibre a suavização com o peso do TMO do Fattal. Esse valor poderá ser encontrado em experiências a realizar num futuro próximo.



Figura 18 - Resultado do Teste 7 com N=750



Figura 19 - Resultado do Teste 7 com N=1000



Figura 20 - Resultado do Teste 7 com N=1500

4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O trabalho proposto tem como objectivo a visualização de imagens HDR em dispositivos com ecrã pequeno através da aplicação de algoritmos de redução de intensidades (TMO).

Do trabalho anteriormente realizado concluiu-se que os DEP necessitam de um TMO apropriado que tenha em conta as limitações deste tipo de dispositivos como a

reduzida dimensão, resolução e número de cores disponíveis.

Foi apresentada uma abordagem para o desenvolvimento de um TMO específico para DEP que consiste em construir um TMO híbrido baseado no TMO do Drago e no TMO do Fattal. Os testes realizados apontam para uma melhoria da imagem resultante.

O futuro próximo passará pela continuação da realização de mais testes. Uma vez obtido o TMO, deverá finalmente ser validado através de novas experiências comparativas com os outros TMO existentes, de forma a comprovar que o novo é realmente o mais adequado aos DEP.

5. REFERÊNCIAS

- [Ashikhmin'02] M. ASHIKHMIN, "A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images," in *Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 145 - 156, 2002, pp. .
- [Cadik'08] M. CADIK, M. WIMMER, L. NEUMANN, A. ARTUSI, "Technical Section: Evaluation of HDR tone mapping methods using essential perceptual attributes," *Comput. Graph.*, vol. 32, pp. 330-349, 2008.
- [Devlin'02] A. K. DEVLIN, A. CHALMERS, A. WILKIE, W. PURGATHOFER, "STAR: Tone Reproduction and Physically Based Spectral Rendering," in *State of the Art Reports, Eurographics 2002*, 2002.
- [Drago'03] F. DRAGO, K. MYSZKOWSKI, T. ANNEN, N. CHIBA, "Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes," pp. 419-426, in *Eurographics EG2003*, 2003.
- [Durand'00] F. DURAND, J. DORSEY, "Interactive Tone Mapping," in *Proceedings Eurographics Workshop on Rendering EGWR02*, 2000.
- [Durand'02] F. DURAND, J. DORSEY, "Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images," in *ACM Transactions on Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'02)*, pp. 257-266, 2002.
- [Fattal'02] R. FATTAL, D. LISCHINSKI, M. WERMAN, "Gradient Domain High Dynamic Range Compression," in *ACM Transactions on Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'02)*, pp. 249-256, 2002.
- [Ferwerda'96] J. A. FERWERDA, S. N. PATTANAIK, P. SHIRLEY, D. P. GREENBERG, "A Model of Visual Adaptation for Realistic Image Synthesis," in *ACM Transactions on Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'96)*, pp. 249-258, 1996.
- [Pattanaik'00] S. N. PATTANAIK, J. TUMBLIN, H. YEE, D. P. GREENBERG, "Time-Dependent Visual Adaptation For Fast Realistic Image Display," in *ACM Transactions on Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'00)*, pp. 47-53, 2000.
- [Reinhard'05] E. REINHARD, K. DEVLIN, "Dynamic Range Reduction Inspired by Photorecep-

- tor Physiology," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pp. 13-24, 2005.
- [Reinhard'02] E. REINHARD, M. STARK, P. SHIRLEY, J. FERWERDA, "Photographic tone reproduction for digital images," in *ACM Transactions on Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'02)*, pp. 267-276, 2002.
- [Scheel'00] A. SCHEEL, M. STAMMINGER, H. P. SEIDEL, "Tone Reproduction for Interactive Walkthroughs," in *Proceedings Eurographics '2000, Vol. 19 (3)* 2000.
- [Tumblin'99] J. TUMBLIN, G. TURK, "Low Curvature Image Simplifiers (LCIS): A Boundary Hierarchy for Detail-Preserving Contrast Reduction," in *SIGGRAPH'99*. Los Angeles, California, 1999.
- [Urbano'07] C. URBANO, L. MAGALHÃES, J. MOURA, A. MARCOS, "Concepção de Experiências Psicofísicas para Visualização de Imagens HDR em Dispositivos Móveis," in *IASK - E-Activity and Leading Technologies 2007*, pp. 309-318. Porto, 2007.
- [Urbano'09] C. URBANO, L. MAGALHÃES, J. P. MOURA, M. BESSA, A. MARCOS, A. CHALMERS, "Tone Mapping Operators on Small Screen Devices: an Evaluation Study," *artigo submetido ao Computer Graphics Forum*, 2009.