

Abordagem de Computação Heterogénea para Reamostragem e Redimensinamento de Vídeo de Alto Desempenho

Autor: José Pedro Soares João Pereira

Orientador: Jorge M. G. Barbosa
Supervisor: Alexandre U. Silva

Introdução

Contextualização do trabalho e seus objetivos

Contexto

- Crescente popularidade de elevadas resoluções de vídeo
- Vídeos de elevadas resoluções são constituídos por um grande número de pixels
- Operações de pós-produção de vídeo operam ao nível de cada pixel das suas frames
- Sistemas devem ser reestruturados de modo a considerarem a escalabilidade de processamento da magnitude de dados

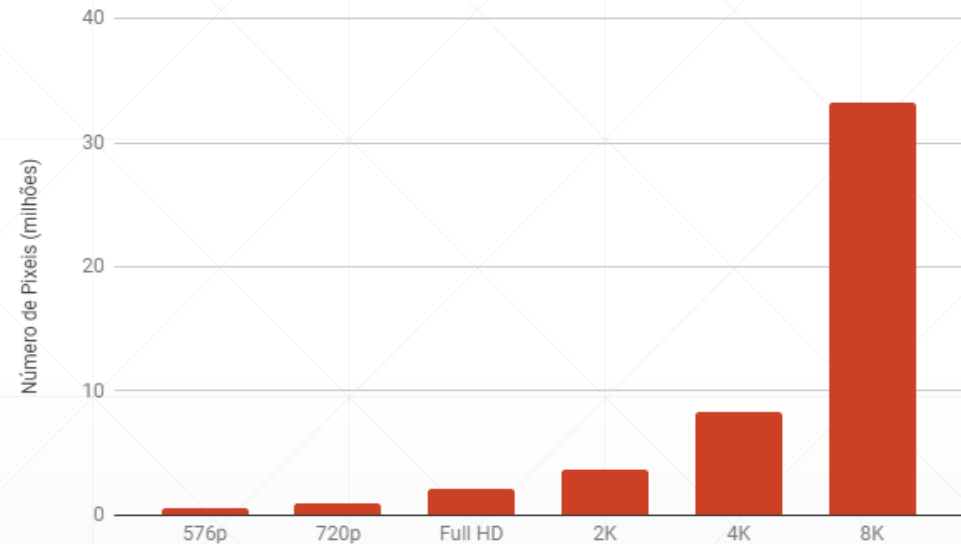


Fig. 1: Número de pixels por frame de um vídeo em função da sua resolução

Computação Heterogênea

- Abordagem para execução de operações através de diferentes unidades de processamento
 - CPU + CPU, na mesma máquina ou em máquinas diferentes de uma rede
 - CPU + FPGA, circuito integrado para processamento paralelo de alto desempenho
 - CPU + GPU, unidade de processamento para renderização de componentes gráficos
- Desenvolvimento da tecnologia das unidades de processamento gráfico permitem a sua utilização para um processamento mais genérico de soluções

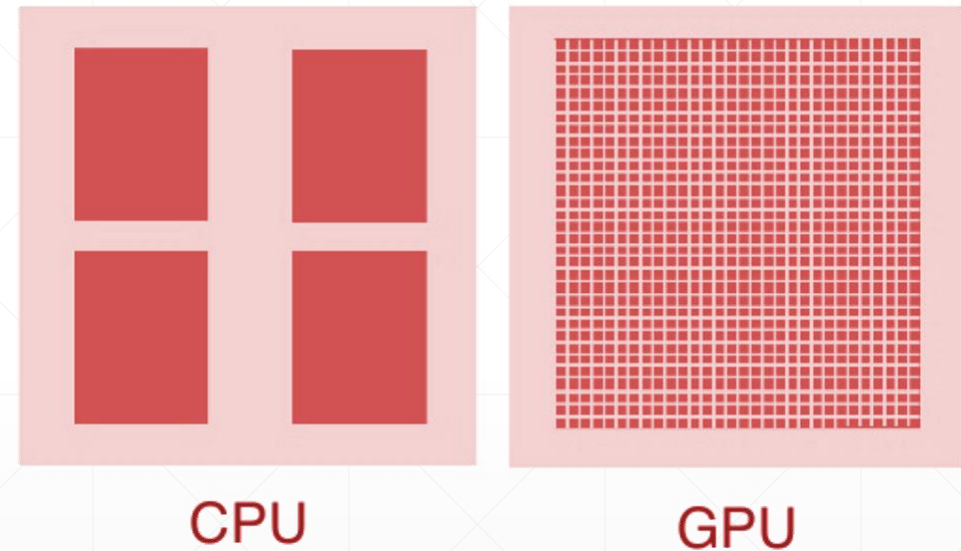


Fig. 2: Arquitetura interna de um CPU e GPU

Objetivos

- Tirar proveito do hardware existente no produto fornecido pelo proponente do tema desta dissertação através de uma abordagem de computação heterogênea, CPU + GPU
 - Do hardware existente no produto *mxfSpeedrail* da MOG Technologies S.A.
- Reduzir o tempo de uma das fases de pós-produção em comparação com a solução atual do produto
 - Redução do processo de reamostragem de vídeo em comparação com a ferramenta *FFmpeg*
- Implementação de uma solução de processamento de vídeo de elevadas resoluções em tempo real

Soluções Atuais

- Ferramentas dependentes de licenciamento de produção de vídeo
 - Como *Adobe Premiere*, *Sony Vegas*, *MainConcept* e *Elecard*
- Ferramentas *open source* de processamento de vídeo e imagens
 - Como *FFmpeg*, *OpenCV* e *ImageMagick*
 - A ferramenta *OpenCV* não suporta nativamente o modelo de cor YUV
 - A ferramenta *ImageMagick* baseia-se em *FFmpeg*
 - A ferramenta *FFmpeg* é bastante comum na área de multimédia, utilizada por empresas como:
 - *VLC Media Player*, *Blender*, *Youtube*, *Google Chrome*, *Mozilla Firefox*, etc.

Solução Atual - *FFmpeg*

- Executa os processos de pós-produção de vídeo de forma *single-thread*
- Aceleração de processamento através de operações vetorizadas
 - Com *SSE*, *AVX* e *AVX2*
- Suporte a aceleração gráfica dos processos de pós-produção através do encoder de hardware da NVidia – *NVENC*
 - Solução baseada em hardware
 - A solução proposta é, puramente, digital



Fig. 3: Utilização do CPU com a ferramenta *FFmpeg* no processamento de vídeo sem compressão

Reamostragem e Redimensionamento

Descrição do processo de pós-produção de vídeo

Modelo de Cor YUV

- Modelo de cor frequentemente utilizado para representar vídeo digital
- Modelo aditivo de cor
- Constituído por três diferentes componentes de cor:
 - Luma, ou Y, representa o brilho da imagem
 - Crominâncias U e V representam, respetivamente, os valores de cor de uma imagem segundo uma projeção de cor azul e vermelha

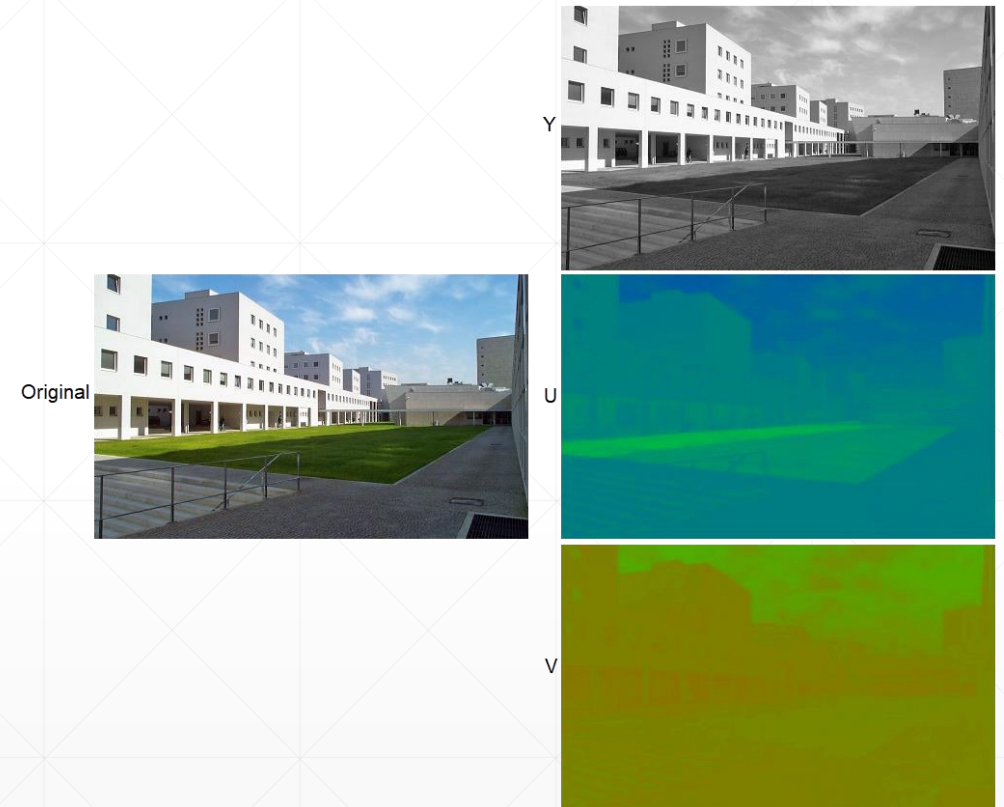


Fig. 4: Modelo de cor YUV e as suas componentes

Modelo de Cor YUV - Subamostragem

- Este modelo tira partido da fraca sensibilidade da visão humana a alterações de crominâncias através da redução do número de amostras de cor
- O processo de redução do número de valores das componentes de crominância designa-se de subamostragem de crominâncias
- A subamostragem permite uma redução do tamanho de representação das frames de um vídeo

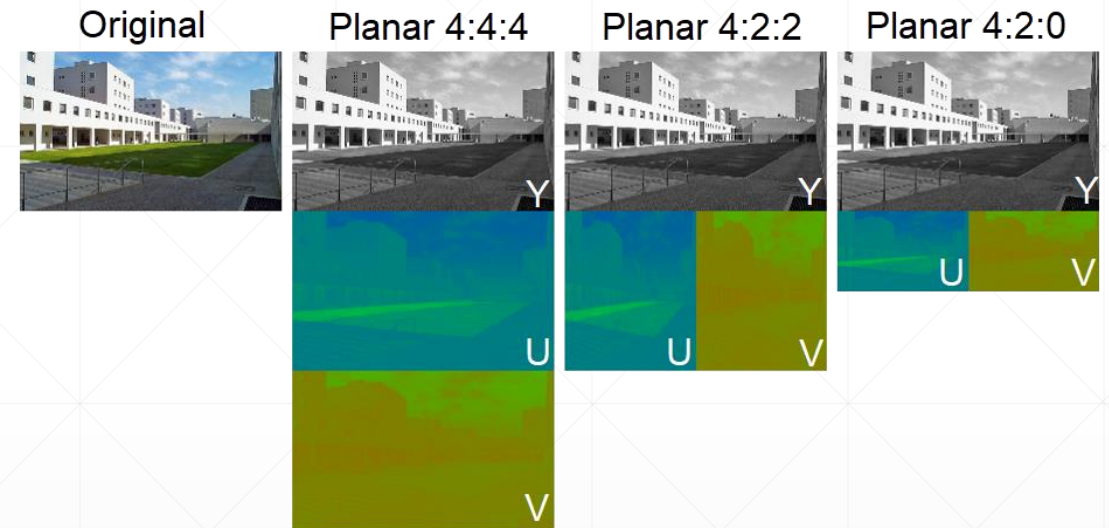


Fig. 5: Subamostragem de crominâncias na representação das componentes de cor de uma frame de um vídeo

Modelo de Cor YUV – Formatos de Pixels

- A representação das components de cor das frames segundo o modelo de cor YUV seguem um dos seguintes formatos:
 - Planar – separação das componentes por planos
 - Entrelaçado – valores de componentes intercalados
 - Semi-planar – valores intercalados de componentes representadas separadamente

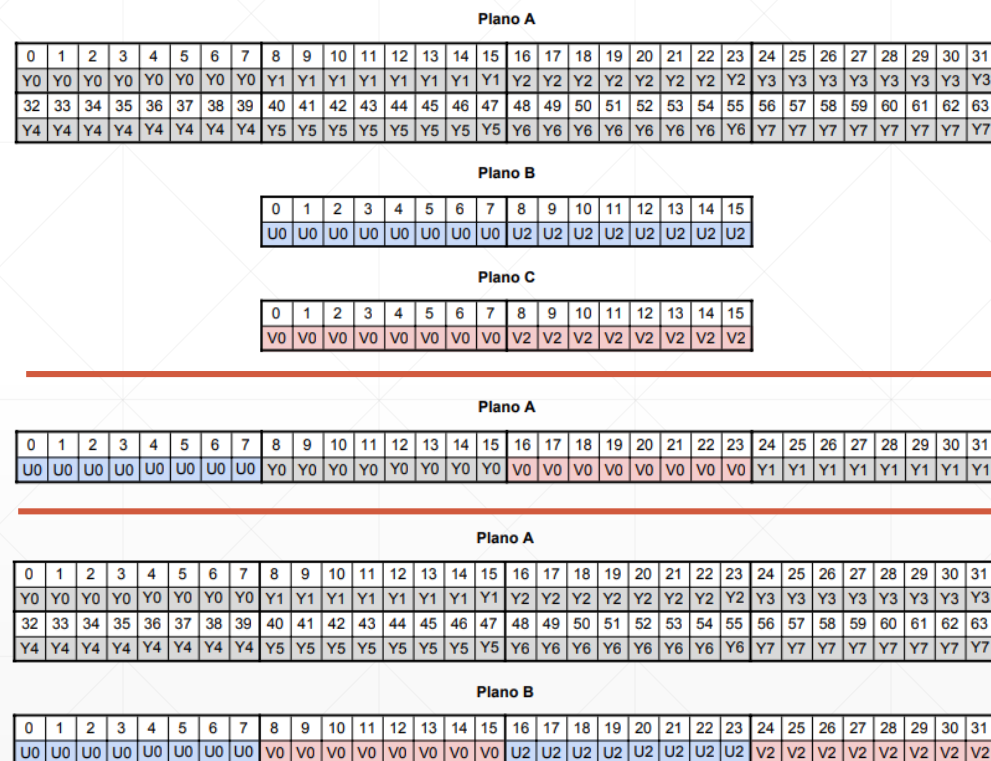


Fig. 6: Formatos de pixels do modelo de cor YUV, respetivamente *YUV420p*, *UYVY* e *NV12*

Reamostragem e Redimensionamento

- A reamostragem e redimensionamento de uma imagem é o processo de alteração das suas dimensões
- O processo é realizado através de uma operação de convolução que reconstrói a imagem reamostrada a partir da original através de diferentes filtros
- Os diferentes filtros balanceiam a qualidade dos resultados da reamostragem e redimensionamento e o tempo de execução do processo

$$k_{nn}(x) = \begin{cases} 1 & |x| < 0.5 \\ 0 & \text{senão} \end{cases}$$

$$k_{linear}(x) = \begin{cases} 1 - |x| & |x| < 1 \\ 0 & \text{senão} \end{cases}$$

$$k_{spline}(x) = \begin{cases} 1.4 \times |x|^3 - 2.4 \times |x|^2 + 1 & |x| < 1 \\ -0.6 \times |x|^3 + 3 \times |x|^2 - 4.8 \times |x| + 2.4 & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & \text{senão} \end{cases}$$

Fig. 7: Filtros de reconstrução utilizados na operação de convolução: *Nearest Neighbor*, *Linear* e por *Spline*

Reamostragem e Redimensionamento



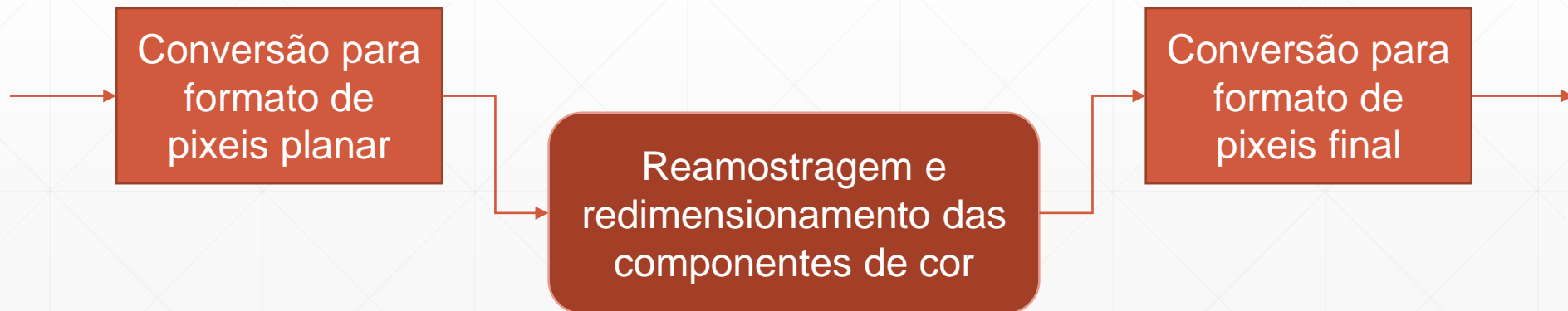
Fig. 8: Diferença de qualidade dos resultados de reamostragem obtidos por diferentes filtros de reconstrução

Solução Proposta

Exploração da solução implementada neste trabalho

Solução Proposta

- Devido ao grande número de combinações de formatos de pixels de entrada e saída, a solução proposta foi normalizada em termos de lógica
- O processo de reamostragem está dividido em duas operações:
 - A operação de conversão de formato de pixels
 - A operação de reamostragem



Conversão de Formato de Pixels

- Operação executada, exclusivamente, pelas capacidades de processamento do CPU
- Solução paralelizada através da ferramenta OpenMP para a utilização total dos núcleos de processamento do CPU
- Divisão da imagem processada em regiões verticais para tirar partido do sistema de cache da memória
- Ao utilizar dados presentes no sistema cache existe uma redução de latência a respostas de acessos a memória

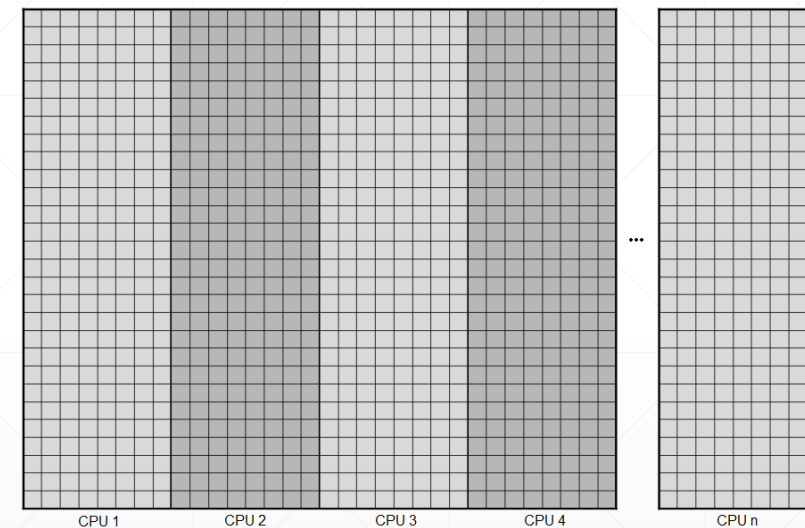


Fig. 9: Divisão de trabalho pelos diferentes núcleos de processamento do CPU

Reamostragem e Redimensionamento

- Operação executada, exclusivamente, pelas capacidades de processamento das unidades de processamento gráfico
- Solução implementada através da plataforma de desenvolvimento da NVidia CUDA
- Para promover o máximo de atividade da placa gráfica as operações de transferência de dados entre a memória da máquina e do GPU é executada em simultâneo com o processo de reamostragem
- Utilização do nível de memória de textura devido aos acessos *strided* a memória

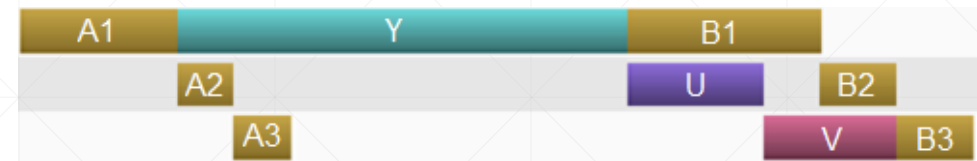


Fig. 10: Escalonamento das operações de transferências de dados e o processo de reamostragem e redimensionamento

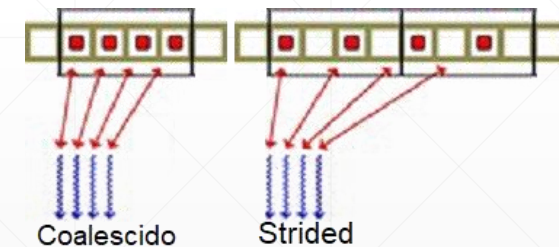


Fig. 11: Diagrama representativo de acessos coalescidos e *strided* a memória

Erros de Precisão de Dados

- De modo a utilizar eficientemente as capacidades computacionais das unidades de processamento gráfico é necessário a utilização do tipo de dados *float* do standard IEEE 754
- As placas gráficas têm um maior número de núcleos de processamento gráfico que suportam operações com precisão singular do que dupla
- Os erros de cor associados ao tipo de dados *float* não têm um impacto considerável nas imagens reamostradas

	<i>float</i>	<i>double</i>
<i>Nearest Neighbor</i>	$1,52 \times 10^{-4}$	$2,83 \times 10^{-13}$
Linear	$2,02 \times 10^{-4}$	$3,77 \times 10^{-13}$
<i>Spline</i>	1,408	$6,07 \times 10^{-5}$

Fig. 12: Valor do erro propagado a um pixel da imagem reamostrada

Resultados

Apresentação dos resultados obtidos pela solução proposta

Metodologia de Teste

- A solução proposta foi comparada com a solução atual baseada em *FFmpeg*
 - O processo foi analisado pelas diferentes operações de conversão de formato de pixels e reamostragem e redimensionamento de imagens
- Foi utilizado o filme *Big Buck Bunny* na resolução *Full High Definition* com diferentes formatos de pixels



Fig. 13: Frame do vídeo *Big Buck Bunny* em *Full High Definition*

Conversão de Formato de Pixels

- Foram utilizados dois modelos de processadores com diferentes características
- Realizaram-se conversões de formatos de pixels entre os formatos: *UYVY*, *YUV422p*, *YUV420p* e *NV12*
- Valores de *speed up* da solução proposta em relação à mesma operação executada com a ferramenta *FFmpeg* são de:
 - 2,56 para o processador M1 (com maior frequência de relógio)
 - 2,23 para o processador M2

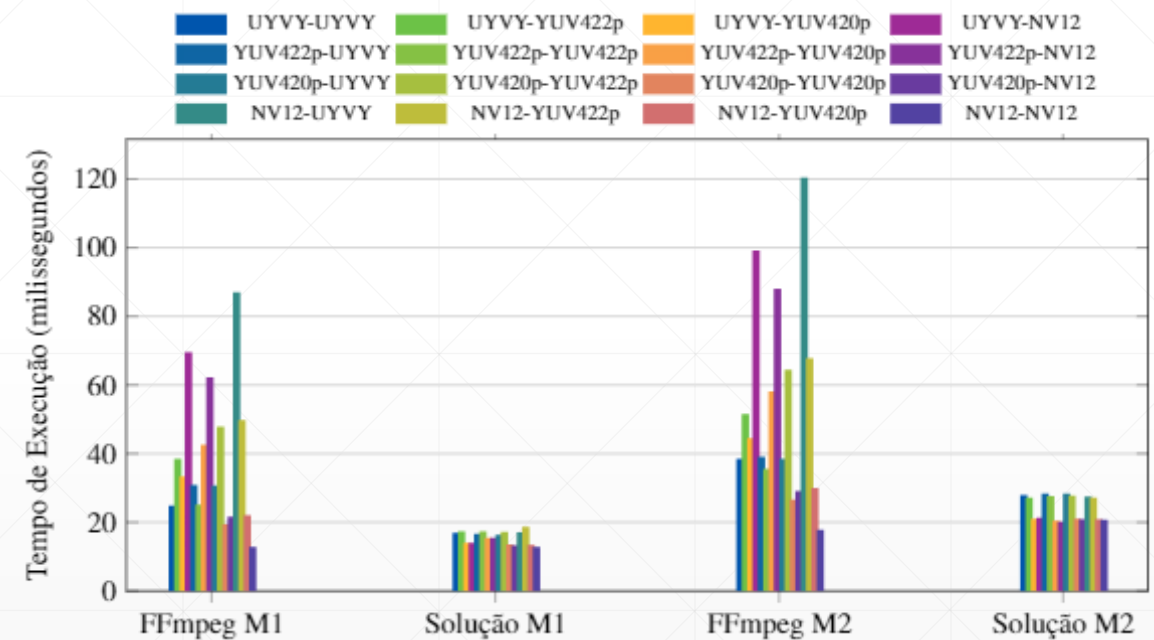


Fig. 14: Tempo de execução da conversão de formato de pixels da solução proposta e da solução atual com diferentes processadores

Reamostragem e Redimensionamento

- Testes realizados com dois modelos de unidades de processamento gráficos presentes no produto da MOG Technologies com características diferentes: o modelo NVidia Quadro P600 e P2000
- Processo realizado com o modelo de processador M1 pelo melhor desempenho de execução que demonstrou na operação de conversão de formato de pixels
- O processo de reamostragem envolve duas operações de formatos de pixels e três operações de reamostragem, por cada uma das componentes de cor
- Os testes realizados consideram o processo de reamostragem e redimensionamento de um vídeo *Full High Definition* para diferentes resoluções, a partir de diferentes formatos de pixels e filtros de reconstrução utilizados

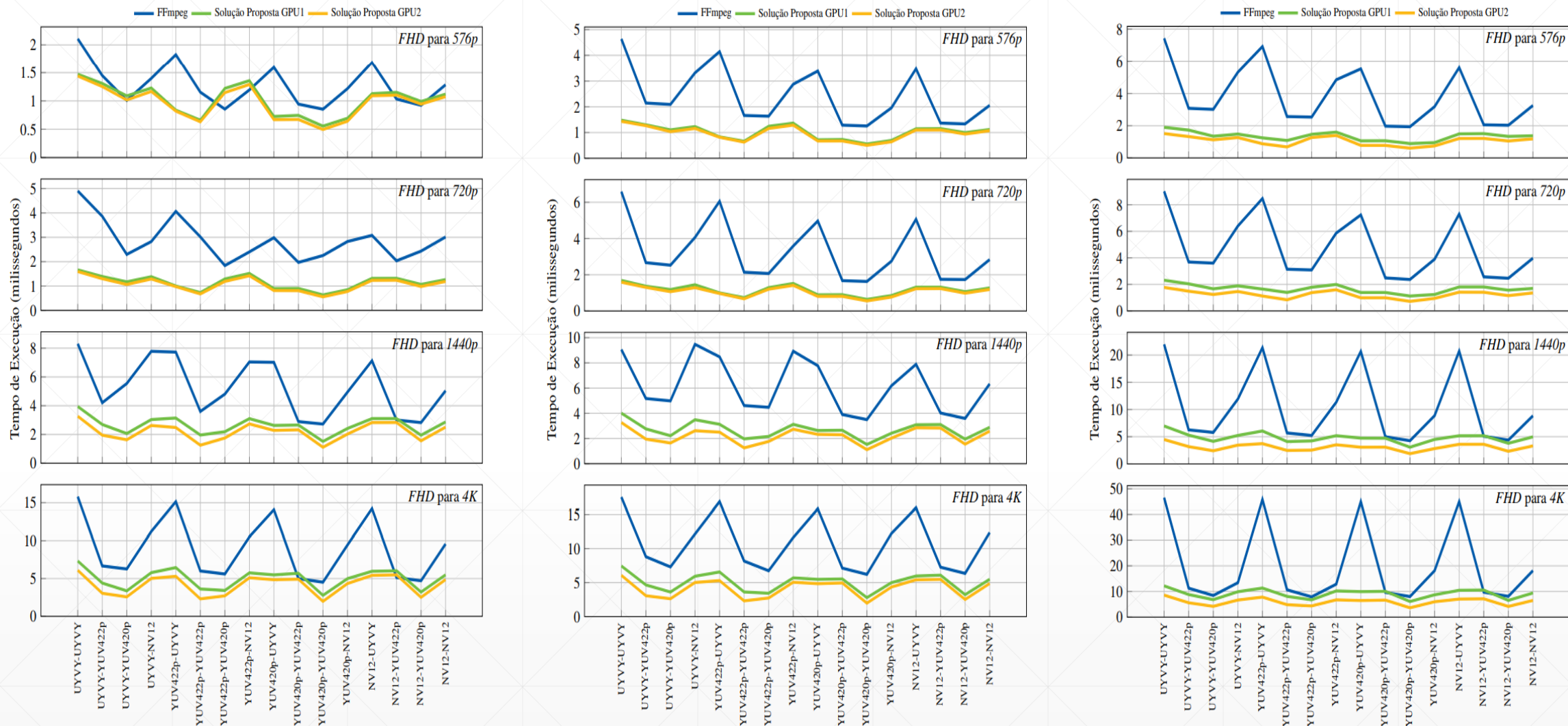


Fig. 15: Tempos de execução do processo de reamostragem com os filtros de reconstrução: *Nearest Neighbor*, *Linear* e por *Spline*

Reamostragem e Redimensionamento

- Existe um maior ganho de desempenho quando o formato de pixel de saída é do tipo não planar
- A implementação da ferramenta *FFmpeg* contém operações adicionais para separar os valores de componentes de cor em formatos com componentes entrelaçadas
- Valor de *speed up* da solução proposta em relação à mesma operação executada com a ferramenta *FFmpeg* é de 2,47

	Planar	Não Planar
<i>Nearest Neighbor</i>	1,72	2,23
Linear	1,95	3,07
<i>Spline</i>	1,84	3,99

Fig. 16: Valor de *speed up* da solução proposta relativamente ao *FFmpeg*

Conclusão

Satisfação dos objetivos iniciais

Conclusão - Objetivos

- O hardware existente nos produtos do proponente é totalmente utilizado pela solução proposta devido à abordagem heterogénea que alia as capacidades do processador e da placa gráfica da máquina
- A solução proposta reduz efetivamente o tempo de execução do processo de reamostragem e redimensionamento de vídeo relativamente à solução atual do produto
- As otimizações implementadas permitem o processamento em tempo real de vídeos de elevadas resoluções

	<i>Full High Definition</i>			<i>4K</i>		
	<i>NN</i>	Linear	Spline	<i>NN</i>	Linear	Spline
<i>FFmpeg</i>	217	176	102	42	36	20
<i>Solução</i>	476	403	350	110	93	70

Fig. 17: Valor de frames processadas por segundo de um vídeo

Trabalho Futuro

- Implementar um suporte mais abrangente de formatos de pixels e filtros de reconstrução
- Integrar a solução proposta no produto fornecido pelo proponente do tema desta dissertação, a empresa MOG Technologies
- Escalar a solução proposta a um sistema distribuído de processamento utilizando várias máquinas de uma rede

Abordagem de Computação Heterogénea para Reamostragem e Redimensinamento de Vídeo de Alto Desempenho

Autor: José Pedro Soares João Pereira

Orientador: Jorge M. G. Barbosa
Supervisor: Alexandre U. Silva