

Análise Comparativa das Tecnologias de Upscaling DLSS, FSR e XeSS e seus Impactos na Qualidade Visual e no Desempenho em Jogos Eletrônicos

Patrik Benicio¹, Iago Medeiros¹

¹Universidade Federal do Pará (UFPA)

Abstract. *The constant evolution of the electronic games industry and the growing demand for increasingly higher resolutions has also resulted in the search for methods of maximizing performance and optimizing performance. This article presents a comparative analysis between the main image upscaling methods in electronic games, leaders in this segment: Deep Learning Super Sampling (DLSS) from Nvidia, FidelityFX Super Resolution (FSR) from AMD and Xe Super Sampling (XeSS) from Intel.*

Resumo. *A constante evolução da indústria de jogos eletrônicos e a crescente demanda por resoluções cada vez mais altas tem resultado também na busca de métodos de maximização de performance e otimização de desempenho. Esse artigo apresenta uma análise comparativa entre os principais métodos de upscaling de imagem em jogos eletrônicos, líderes nesse segmento: Deep Learning Super Sampling (DLSS) da Nvidia, FidelityFX Super Resolution (FSR) da AMD e Xe Super Sampling (XeSS) da Intel.*

1. Introdução

A busca pelo equilíbrio visual e pela performance sempre foi um desafio constante na indústria dos jogos eletrônicos, que, por sua vez, com a evolução natural dos *hardwares*, tornando-se cada vez mais robustos, tornou possível alcançar patamares de qualidade antes tidos como quase inviáveis e impossíveis. Ao analisar o histórico da computação, em especial concentrando-nos na parte de jogos eletrônicos, torna-se impressionante a evolução gráfica que temos hoje: saímos de jogos “simples” baseados em bits para renderizações 3D de altíssima complexidade e realismo, tudo isso graças à evolução natural da indústria [Mendes 2013].

Entretanto, mesmo com a evolução atingida pelo *hardware*, títulos atuais estão cada vez mais robustos e exigindo um nível de performance extrema para que se tenha um desempenho minimamente satisfatório, o que, aliado à falta de otimização em muitos casos, culmina em desempenho substancialmente inferior ao esperado, o que compromete a experiência de usuários devido a perda de performance iminente: especialmente com a maior adoção e popularização de resoluções cada vez mais altas, como o 4K e até mesmo o 8k.[Berg 2024].

Diante dessas problemáticas e em paralelo com a rápida evolução da IA no setor computacional, a indústria foi impulsionada a adotar técnicas cada vez mais inovadoras para melhorias de processamento de renderização. Entre essas inovações, destacam-se as soluções de *upscaling* baseadas em IA ou algoritmos temporais, que permitem renderizar uma imagem em resolução mais baixa e reconstruí-la para uma resolução maior, tentando

manter a qualidade próxima à resolução nativa, entretanto, reduz o consumo de recursos de *hardware*. [Xiao et al. 2020]

Dentre as soluções com maior nível de consolidação, destacam-se o **DLSS (Deep Learning Super Sampling)** da Nvidia, o **FSR (FidelityFX Super Resolution)** da AMD e o **XeSS (Xe Super Sampling)** da Intel, que compartilham o mesmo objetivo de aumentar as taxas de quadros e viabilizar até mesmo o uso de recursos gráficos mais avançados, como o *Ray Tracing*, *Path Tracing*, além de permitir que *hardwares* de entrada possam usufruir de melhor desempenho e estabilidade ao custo de uma redução de renderização gráfica. Este estudo tem como finalidade uma análise comparativa de desempenho e qualidade visual subjetiva percebida pelo usuário entre as principais soluções de Upscaling baseadas em IA ou algoritmos temporais, abrangendo também a investigação da eficiência de cada tecnologia em cenários de uso real e de seu respectivo consumo energético.

2. Trabalhos Relacionados

A pesquisa sobre o avanço dos *videogames* [Mendes 2013] explora a evolução da indústria como um processo contínuo, que supera limitações técnicas impostas pelo hardware ao longo do tempo. O trabalho evidencia que, ao longo das gerações, os *designers* utilizam recursos de hardware específicos para alcançar maior qualidade visual, mostrando que, com o passar do tempo, a indústria tende a superar os obstáculos impostos pelas limitações de *hardware*.

Na pesquisa de [Eliseo and Silva 2016], Os autores analisam os desafios do desenvolvimento de jogos em 4K e os elevados requisitos computacionais necessários para alcançar maior qualidade e fidelidade visual. Além de GPUs e monitores específicos, técnicas como texturas de alta resolução são necessárias para manter a qualidade gráfica. Os autores destacam o DSR (*Dynamic Super Resolution*), que aplica filtros de *hardware* para escalonamento de resolução, evidenciando a lacuna tecnológica da época: não havia métodos eficientes para atingir a resolução (UHD) 4K sem o alto custo computacional da renderização nativa.

Com a evolução da indústria e o surgimento de novos métodos de *upscaling* aplicados a jogos eletrônicos, cresce também a preocupação não apenas com o custo computacional envolvido, mas também com o consumo de eletricidade residencial. A pesquisa de [Berg 2024] demonstra um estudo exaustivo do uso de energia utilizando métodos de *upscaling* e geração de quadros em comparação com a renderização nativa em jogos de PC, visando identificar se o aumento da performance resulta também em um consumo energético maior.

De acordo com [Watson 2020], o aumento da complexidade gráfica em jogos, com efeitos como física de partículas e *Ray Tracing*, gera desafios de desempenho devido aos limites físicos das GPUs. Nesse contexto, técnicas de *Super-Resolution* baseadas em redes neurais permitem renderizar imagens em resoluções menores e ampliá-las em tempo real, reduzindo o custo computacional. Tecnologias como DLSS (NVIDIA), FSR (AMD) e XeSS (Intel) utilizam inteligência artificial para equilibrar qualidade visual e desempenho, permitindo que hardwares menos potentes rodem jogos modernos com qualidade próxima à de sistemas de ponta.

Todas as pesquisas indicam que a evolução tecnológica nos jogos busca continuamente superar limitações de performance do *hardware*, com alto custo computacional

em altas resoluções, visando eficiência em qualidade visual e consumo de energia. Este estudo se diferencia por realizar testes práticos e detalhados de *upscaling* em tempo real, em diversos títulos e estilos gráficos, permitindo analisar o comportamento das tecnologias em cenários variados e avaliar seu impacto na experiência visual, desempenho e fidelidade percebida pelo usuário.

3. Métodos de *Upscaling*

Upscaling é um processo que reconstrói imagens em resoluções mais altas a partir de renderizações iniciais em resolução inferior, reduzindo o custo computacional e aproximando a qualidade da renderização nativa [Xiao et al. 2020]. Essa economia de recursos permite o uso de tecnologias avançadas em jogos modernos, como *Ray Tracing*, *Path Tracing* e iluminação global dinâmica [Watson 2020]. Segundo [Ugur 2024], *upscalers* otimizam desempenho ao renderizar inicialmente em resoluções e taxas de quadros menores, ampliando-as posteriormente para melhorar a experiência visual dos jogadores.

Historicamente, os primeiros métodos de *upscaling*, como bilinear e bicúbico, buscavam melhorar a aparência de jogos em baixas resoluções. O bilinear interpolava *pixels* para aumentar imagens, enquanto o bicúbico utilizava uma matriz 4x4 e uma função cúbica para gerar valores mais suaves e precisos [Wolberg 1990]. Com o avanço da indústria e da inteligência artificial, surgiram soluções mais sofisticadas, capazes de analisar múltiplos *frames*, reduzir artefatos, preservar a nitidez e proporcionar melhorias significativas em desempenho e qualidade visual.

3.1. NVIDIA Deep Learning Super Sampling - DLSS

Embora já existissem técnicas de escalonamento de resolução, a NVIDIA é pioneira em métodos que utilizam inteligência artificial de forma sofisticada. O DLSS é uma tecnologia proprietária que emprega redes neurais treinadas em supercomputadores para analisar milhares de imagens em resoluções convencionais — por exemplo, 4K e reproduzi-las em ultra-resoluções de até 16K ou 64K, aprendendo padrões e detalhes após milhares de iterações.

DLSS 3.X – O DLSS usa *Redes Neurais Convolucionais (CNNs)* e com lançamento da arquitetura ADA, o DLSS em sua versão 3.X introduziu a geração de quadros (*Frame Generation*), que utiliza dados do jogo, como vetores de movimento e profundidade, e um campo de fluxo óptico das GeForce RTX Série 40 *Optical Flow Accelerator* para gerar um quadro adicional permitindo criar *frame* intermediário o que reflete em maior desempenho.[Lin and Burnes 2025]

DLSS 4.X – Utiliza o modelo *Transformer* permitindo que operações de autoatenção avaliem a importância relativa de cada pixel em todo o quadro e em vários quadros. Empregando o dobro dos parâmetros do modelo CNN para obter uma compreensão mais profunda das cenas, gerando pixels que oferecem maior estabilidade, maior detalhe em movimento [Lin and Burnes 2025]. sendo apresentado o *multi-frame generation* que é exclusivo das GeForce RTX 50, aproveitando-se da arquitetura *Blackwell* para prever, gerar e aplicar múltiplos quadros simultaneamente, aumentando o desempenho e a fluidez [NVIDIA 2022][NVIDIA Applied Deep Learning Research (ADLR) 2024]. A partir do DLSS 2.0, a NVIDIA introduziu modos de seleção, listados na Tabela 1.

Modo	Descrição
Qualidade	Imagem próxima da nativa, foco em melhor qualidade.
Balanceado	Equilíbrio entre FPS e qualidade de imagem.
Performance	Mais FPS, com perda perceptível de detalhes visuais.
Ultra Performance	Máximo FPS, com maior redução na qualidade de imagem.

Tabela 1. Modos de seleção: DLSS.

3.2. AMD FidelityFX Super Resolution - FSR

O **FSR (AMD FidelityFX Super Resolution)** é a resposta da AMD ao DLSS da Nvidia, sendo uma tecnologia de *upscaling* de código aberto projetada para aumentar o FPS e oferecer uma experiência visual satisfatória. Sua principal vantagem é a ampla compatibilidade, não se limitando a GPUs específicas, o que o torna funcional em placas AMD, Intel, NVIDIA, modelos mais antigos e gráficos integrados. Assim como o DLSS, o FSR renderiza o jogo em resolução inferior e o reconstrói em resolução maior, proporcionando ganho de desempenho e menor esforço computacional.

FSR 3.0: Mantendo a base da versão anterior, acrescentou o *AMD Fluid Motion Frames*, um recurso de geração intermediária de quadros, funcionando de maneira muito similar ao *Frame Generation* do DLSS 3, gerando quadros adicionais entre aqueles renderizados pelo jogo [AMD 2023][AMD 2021]. O FSR também apresenta modos de qualidade, conforme mostrado na Tabela 2.

Modo	Descrição
Qualidade	próxima da resolução nativa com ganho de desempenho.
Balanceado	Equilíbrio entre qualidade e FPS, sem perder nitidez.
Performance	Maior FPS, com perdas perceptíveis em detalhes e texturas.
Ultra Performance	Máximo FPS, mas com resoluções internas muito baixas.

Tabela 2. Modos de seleção: AMD FidelityFX Super Resolution (FSR 2.x/3.x).

3.3. Intel Xe Super Sampling - XeSS

O **XeSS (Intel Xe Super Sampling)** utiliza inteligência artificial para melhorar o desempenho dos jogos com mínimo impacto na qualidade visual. Assim como o AMD FSR e o DLSS, o XeSS renderiza em resolução inferior e reconstrói a imagem em resolução maior. Sua principal vantagem é a ampla compatibilidade: embora otimizado para GPUs Intel Arc, também apresenta bom desempenho em placas AMD e NVIDIA. A Tabela 3 apresenta os principais modos de seleção do XeSS.

Modo	Descrição
Ultra Qualidade <i>Plus</i>	Alta qualidade de imagem, leve ganho em desempenho.
Ultra Qualidade	fidelidade visual, com pequeno aumento de FPS.
Qualidade	Boa qualidade visual com desempenho sólido
Balanceado	Meio-termo entre qualidade e desempenho
Performance	Maior FPS, com perda visível de detalhes e nitidez.
Ultra Performance	Máximo FPS, com maior perda de qualidade

Tabela 3. Modos de seleção: Intel XeSS 1.3 e 2.0

O XeSS pode operar de duas formas distintas: Acelerado por *hardware* proprietário (XMX): O *Xe Matrix eXtensions* (XMX) consiste em núcleos dedicados à aceleração de inteligência artificial, de maneira semelhante aos *Tensor Cores* da NVIDIA. Acelerado via DP4a: Voltado para GPUs que não possuem núcleos XMX. O DP4a é um padrão da indústria para cálculos de IA, sendo suportado por praticamente todas as GPUs

XeSS 1.1 a 1.3: Melhorias no *upscaling* e no modelo de treinamento, visando maior qualidade visual e desempenho. **XeSS 2.0:** Expansão significativa das capacidades, incluindo *Frame Generation* para criação de quadros, *Intel Xe Low Latency* (XeLL) para redução de latência, e suporte ampliado a GPUs AMD e NVIDIA, aumentando o alcance e a equivalência da tecnologia [Intel 2025a][Intel 2025b][Intel 2024].

4. Metodologia

Para realizar a análise comparativa entre os métodos de *upscaling*, foram realizados testes individuais visando uma abordagem quantitativa e qualitativa, envolvendo a execução de testes em cenários padronizados, com ênfase na usabilidade real de um usuário. Logo, foi realizado *gameplay* em tempo real, aproveitando-se de cada método individualmente e previamente configurado. Para que isso fosse possível, foi criado um *save* manual para que todos os testes se iniciassem, com exceção de jogos que têm uma cena de *gameplay* especificamente padronizada, com trechos iniciais com repetição. Assim, é possível ter exatamente o mesmo ponto em todos os testes, independente do *upscaling* utilizado. Enquanto a abordagem quantitativa busca mensurar métricas de desempenho, a qualitativa analisa aspectos visuais dos métodos e suas respectivas aplicações.

4.1. Ambiente de Testes

Os testes foram conduzidos em uma GPU de entrada da NVIDIA série 30, *arquitetura Ampere*, versão para *laptop* de nível de desempenho X50, onde os dois últimos dígitos representam seu posicionamento relativo de desempenho dentro de uma mesma geração, variando de versões de entrada (x50) que é o caso deste estudo até modelos de alto desempenho (x90). cuja finalidade principal foi manter a consistência e assegurar que todos os experimentos fossem realizados sob as mesmas condições técnicas, visando evitar disparidades e discrepâncias que poderiam surgir devido à variação de desempenho entre diferentes configurações de *hardware*, prejudicando os dados obtidos após as análises. As especificações técnicas completas do *hardware* utilizado encontram-se na Tabela 4, fornecendo informações mais precisas sobre os componentes e parâmetros que sustentaram toda a análise.

Componente	Especificação
CPU	Intel Core i5-13450HX
GPU	NVIDIA <i>GeForce</i> RTX 3050 <i>Laptop</i> (6 GB VRAM - 95w)
RAM	16 GB DDR5 4800 MHz
Armazenamento	SSD NVMe 1tb
Sistema Operacional	<i>Windows</i> 11 <i>Home</i> 24H2
Versão do <i>Driver</i> gráfico	576.88
Monitor	1920x1080 (120hz)

Tabela 4. Especificações do *Hardware* padronizado Utilizado nos Testes

Para a coleta e análise de dados foi necessário a busca por ferramentas que trouxessem dados tanto quantitativos e qualitativos, diante dessa necessidade foram utilizadas diversas ferramentas de análise de desempenho. O CapFrameX é uma ferramenta gratuita e *Open Source* voltada para jogos, capaz de coletar métricas como FPS, 1% low, 0,1% low, entre outras, sendo utilizada a versão v1.7.4. Complementando, o MSI Afterburner, também gratuito, permite monitoramento e ajuste de *hardware*, além de fornecer análise de desempenho em tempo real, incluindo *frametime* e *overlay*, sendo utilizada a versão v4.6.5. Para habilitar o *overlay* em tempo real durante os testes, foi necessário o uso do RTSS (RivaTuner Statistics), versão v7.3.6, que auxilia no acompanhamento das métricas coletadas. Por fim, a análise qualitativa das imagens e vídeos obtidos foi realizada com o NVIDIA ICAT (*Image Comparison & Analysis Tool*), desenvolvido pela NVIDIA, que permite a comparação simultânea de múltiplas imagens em sua versão utilizando a versão v0.6.17.

4.2. Seleção de Objetos de Estudo e Padronização dos Testes

Para a realização da análise comparativa entre os principais métodos de *upscaling* abordados, foram cuidadosamente selecionados cinco jogos eletrônicos com base no suporte nativo às três soluções estudadas (DLSS, FSR e XeSS). No processo de seleção, foram obedecidos critérios dos quais: assegurar que nenhum *mod*, *patch* não-oficial ou ferramenta externa fosse utilizado durante os testes, de forma a manter a integridade dos dados e a consistência experimental, permitindo comparações diretas entre os métodos sem interferências externas. Os objetos de estudo e suas versões de *upscaling* estão na Tabela 5.

Objeto de Estudo	DLSS	FSR	XeSS
<i>Ghost of Tsushima: Director's Cut</i>	DLSS 3	FSR 3.0	XeSS 1.3
<i>Senua's Saga: Hellblade II</i>	DLSS 3.5	FSR 3.0	XeSS 1.3
<i>Silent Hill 2: Remake</i>	DLSS 3	FSR 3.0	XeSS 1.3
<i>Cyberpunk 2077</i>	DLSS 4	FSR 3.0	XeSS 2.0
<i>God of War: Ragnarök</i>	DLSS 3.7	FSR 3.1	XeSS 1.3

Tabela 5. Objetos de Estudos e suas versões dos métodos de *upscaling* suportados

Essa abordagem permitiu que as avaliações refletissem exclusivamente o desempenho e a qualidade visual dos métodos de *upscaling* em cenários de uso real, com *gameplay* e eventos aleatórios, eliminando interferências externas. Além disso, diferentes gêneros e estilos gráficos foram incluídos para analisar o comportamento das tecnologias em variados cenários, fornecendo uma visão abrangente de suas vantagens, limitações e impacto na experiência de jogo.

Uma importante observação é a inconsistência de nomenclaturas e implementação entre os modos de seleção dos métodos, representando um desafio na análise comparativa. Cada fabricante (NVIDIA, Intel e AMD) adota sua própria classificação, como **Qualidade, Balanceado, Desempenho e Ultra Desempenho**, e, mesmo com nomes iguais, os modos nem sempre são equivalentes. Essa falta de padronização se reflete nos jogos, dificultando a comparação direta, já que o modo selecionado em um jogo pode não ter correspondência exata em outro ou pode estar ausente, logo não poderiam ser

comparadas diretamente 1:1. Para contornar a inconsistência de nomenclaturas entre as tecnologias de *upscaling* (NVIDIA DLSS, AMD FSR e Intel XeSS), foi necessário estabelecer parâmetros de equivalência baseados no fator de escala de renderização. Essa padronização permite comparar os métodos de forma objetiva, independentemente dos nomes comerciais ou das variações dos jogos.

A Tabela 6 organiza os modos de cada tecnologia em níveis de referência, padronizados para refletir o comportamento do *upscaler* quanto à resolução interna e à qualidade visual. **Nível Q (Qualidade)** prioriza a fidelidade visual, mantendo a resolução interna próxima à nativa, em torno de 66–77%, permitindo avaliar o desempenho preservando detalhes e nitidez. Já o **Nível UP (Ultra Performance)** prioriza o desempenho, reduzindo a resolução interna para cerca de 33% da nativa, sendo indicado quando a performance é crítica, mesmo que haja perda perceptível de qualidade.

Método	Nome Interno (Oficial)	Escala (%)	Resolução Renderizada (1080p)	Nível Padrão
DLSS 3.0 a 4.0	Qualidade	66.7%	1280 × 720	Nível Q
DLSS 3.0 a 4.0	Ultra Performance	33.3%	640 × 360	Nível UP
FSR 3.0 a 3.1	Qualidade	66.7%	1280 × 720	Nível Q
FSR 3.0 a 3.1	Ultra Performance	33.3%	640 × 360	Nível UP
XeSS 1.3 / 2.0	Ultra Qualidade	77%	1440 × 810	Nível Q
XeSS 1.3 / 2.0	Ultra Performance	33.3%	640 × 360	Nível UP

Tabela 6. Equivalência de *Upscaling* para 1080p (Nível Q e Nível UP)

4.3. Configurações de Teste

Para garantir consistência nos testes, todas as tecnologias de *upscaling* foram avaliadas com as mesmas configurações gráficas, adaptadas conforme as funcionalidades de cada jogo. Exemplificando, a **Resolução:** 1920 × 1080 (Full HD), o **Preset gráfico:** Alto, **V-Sync:** Desativado e **Limitador de FPS:** Desativado. Cada jogo teve suas configurações individualmente padronizadas, e os modos de *upscaling* avaliados foram: **DLSS:** Nível Q, Nível UP; **FSR:** Nível Q, Nível UP; **XeSS:** Nível Q, Nível UP.

4.4. Métricas Avaliativas e Metodologia de Avaliação

Para avaliar o desempenho e a qualidade visual dos métodos de *upscaling* (DLSS, FSR e XeSS), foram selecionadas métricas que permitem quantificar tanto a performance quanto a percepção visual. Estas métricas foram divididas em três categorias principais: Desempenho, Qualidade Visual e Consumo de Recursos. **Desempenho:** Avalia a fluidez do jogo e a estabilidade da execução. A Equação 1 mostra que o FPS médio corresponde à média de frames por segundo durante o teste. Frames são os quadros processados pelo jogo durante a execução.

$$FPS_{médio} = \frac{\text{Número total de frames}}{\text{Tempo total do teste (s)}} \quad (1)$$

Também foram consideradas as métricas 1% Low e 0.1% Low, que indicam as quedas mais críticas de FPS. Estas métricas são definidas nas Equações 2 e 3.

$$FPS_{1\%Low} = \text{média dos 1\% menores FPS registrados} \quad (2)$$

$$FPS_{0.1\%Low} = \text{média dos 0.1\% menores FPS registrados} \quad (3)$$

O tempo de *frame* médio (ms), também chamado de *frametime* que representa o tempo médio necessário para renderizar cada quadro, é obtido na Equação 4.

$$FrameTime(ms) = \frac{1000}{FPS} \quad (4)$$

Além disso, o desvio padrão do tempo de *frame* mede a consistência da renderização, como mostrado na Equação 5, onde t_i é o tempo do i -ésimo *frame* e $\bar{t}$ é o tempo médio dos *frames*.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (5)$$

Qualidade Visual: Refere-se à avaliação subjetiva realizada com o auxílio de ferramentas. O ICAT auxilia na análise e comparação visual lado a lado de imagens. Já a análise subjetiva envolve observações qualitativas sobre detalhes como artefatos, ruídos, distorções visuais, borrões e outras características que podem estar presentes durante o uso de *upscaling*.

Consumo de Recursos: Considera-se o impacto sobre GPU, CPU, e seu consumo de energia (em watts, W). Essa análise avalia não apenas o desempenho do jogo, mas também a eficiência energética e a demanda de recursos, importantes para compreender a viabilidade do método de *upscaling* em diferentes *hardwares* e cenários de uso prolongado.

Essas métricas permitem uma análise mais completa do desempenho e da qualidade visual, fornecendo dados objetivos e perceptivos. Os cenários de teste foram selecionados para garantir consistência em todas as repetições, utilizando um *save* manual para retornar ao mesmo ponto em cada reinício, assegurando que todos os métodos de *upscaling* fossem avaliados nas mesmas condições e aumentando a confiabilidade dos resultados.

4.5. Procedimento Experimental

Para cada método de *upscaling* e respectivo modo de operação, foram realizadas três execuções independentes (*runs*), cada uma com duração de três minutos ininterruptos. O objetivo foi garantir consistência nos resultados e minimizar o impacto de variações pontuais no desempenho. As combinações testadas foram as seguintes: DLSS, FSR e XeSS, nos níveis Q (Qualidade) e UP (Ultra Performance), em 1080p (resolução nativa), sendo realizadas três execuções de três minutos para cada configuração individual.

5. Análise dos Resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dos testes realizados com as três tecnologias de *upscaling* (DLSS, FSR e XeSS) nos cinco jogos selecionados. A análise considera métricas de desempenho (*frames per second* – FPS), uso de recursos de *hardware* (CPU, GPU e memória) e qualidade visual percebida.

5.1. Análise de Comparativa - *Frametime*

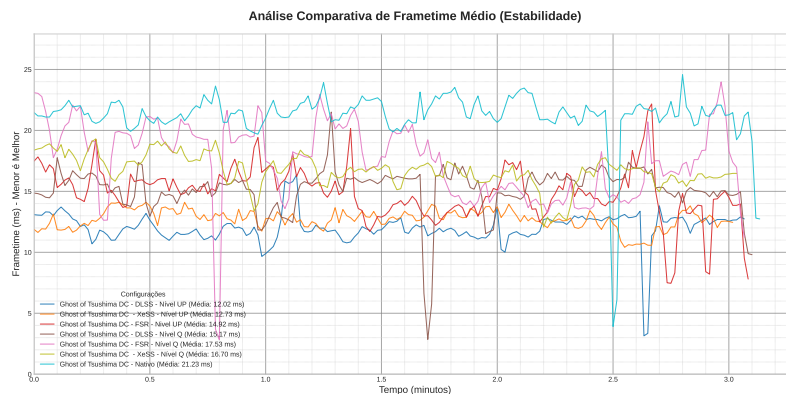


Figura 1. *Frametime: Ghost of Tsushima: Director's Cut*

Em *Ghost of Tsushima*, na Figura 1 observou-se grande variabilidade no *frametime*, variando de 12,02 ms com DLSS no Nível UP até 21,23 ms no modo Nativo. O melhor desempenho foi obtido com DLSS Nível UP, apresentando o menor *frametime* médio e boa estabilidade ao longo do teste. Já o modo Nativo teve o pior desempenho, com *frametime* médio mais alto e picos de instabilidade, evidenciando microtravamentos (*stuttering*), mostrando que os métodos de *upscaling* proporcionaram uma experiência mais fluida no *hardware* testado.

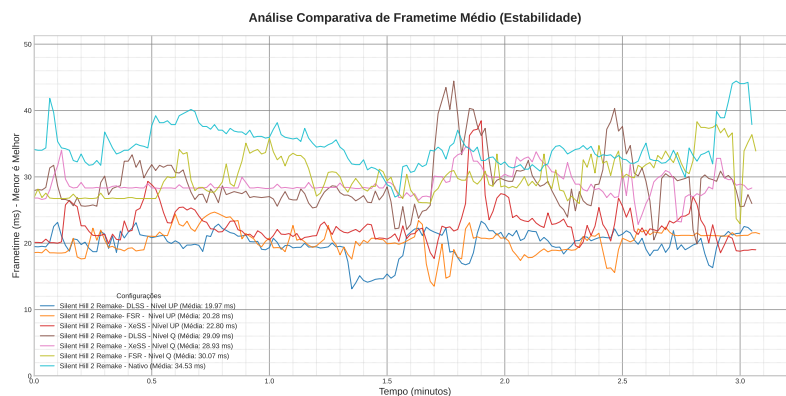


Figura 2. *Frametime: Silent Hill 2 Remake*

Na análise gráfica de *Silent Hill 2 Remake*, na Figura 2 nota-se que se trata de um título mais exigente, com *frametimes* que variam de 19,97 ms com a utilização do DLSS Nível Up a 34,53 ms do modo Nativo. Fica claro que o melhor desempenho foi alcançado com o DLSS em nível UP, que forneceu o menor *frametime* e uma estabilidade superior. Em contrapartida, o pior cenário de performance foi com o jogo em modo Nativo, cujo *frametime* médio ultrapassa 30 ms e exibe picos extremos de instabilidade, o que causaria engasgos severos e constantes durante o jogo.

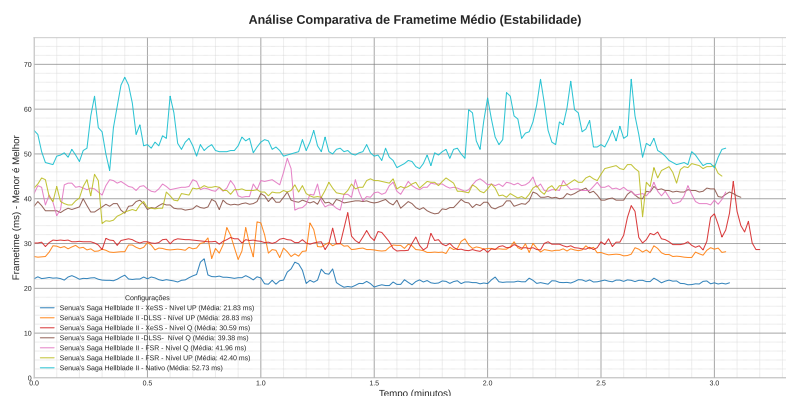


Figura 3. Frametime: Senua's Saga Hellblade II

Em *Senua's Saga: Hellblade II*, que de fato é um título consideravelmente exigente, nota-se na Figura 3 a grande variabilidade do *frametime* entre as configurações, variando de um *frametime* médio de 21.83 ms com XeSS em nível UP a 52.73 ms em modo Nativo. Logo, é possível afirmar que o melhor desempenho entre os métodos foi o do XeSS no nível UP, obtendo um nível de estabilidade que pode ser até mesmo considerado exemplar, enquanto o pior desempenho entre as tecnologias de *upscaling* ocorreu com o FSR em nível UP, onde apresentou grande instabilidade, resultando microtravaamentos (*stuttering*) constantes.

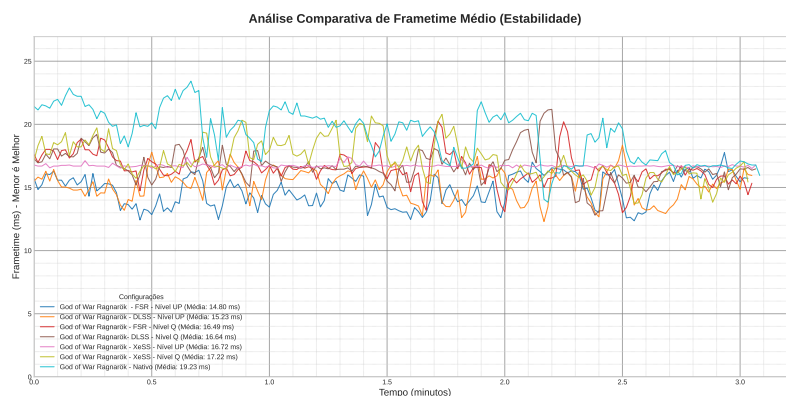


Figura 4. Frametime: God of War: Ragnarök

Em *God of War Ragnarök*, na Figura 4 é possível ver que o desempenho das tecnologias foi bastante próximo, evidenciando consistência na implementação dos métodos, com *frametime* médio variando de 14,80 ms com FSR Nível UP a 19,23 ms modo Nativo. O melhor resultado médio foi obtido pelo FSR Nível UP, superando ligeiramente o DLSS, mostrando melhorias nas versões dos métodos. O pior desempenho permaneceu no modo Nativo, que apresentou maior *frametime* e instabilidades, indicando que o uso das tecnologias em *hardwares* mais modestos são substanciais para estabilidade. O modo Nativo também teve menor consistência comparado a qualquer tecnologia de *upscaling*.

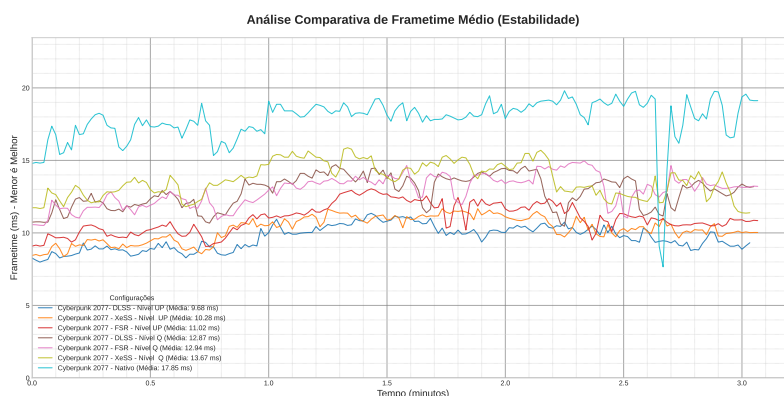


Figura 5. Frametime: Cyberpunk 2077

Com *Cyberpunk 2077*, nota-se que na Figura 5 o melhor desempenho geral entre os títulos testados, com o *frametime* médio variando de 9,68 ms com a aplicação do DLSS Nível UP a 17,85 ms do modo Nativo. Assim, o DLSS em nível UP obteve melhor estabilidade, entregando um *frametime* extremamente baixo e estabilidade com poucas variações, resultando em uma experiência mais suave. Em contrapartida, o pior desempenho ocorreu ao executar *Cyberpunk 2077* em modo Nativo, que, além de possuir o maior tempo de *frametime*, também apresenta uma instabilidade notável, o que pode resultar em comprometimento da fluidez e da jogabilidade.

5.1.1. Análise Comparativa - FPS médio

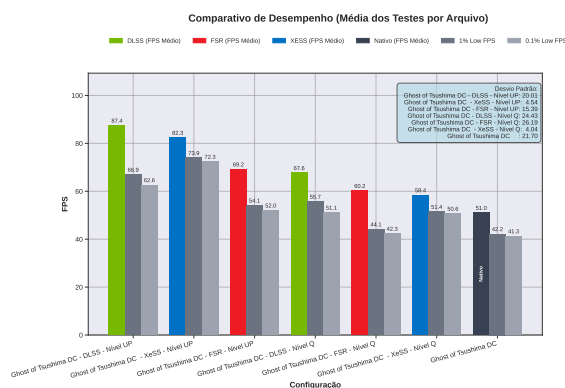


Figura 6. FPS Médio: Ghost of Tsushima: Director's Cut

Graficamente, na Figura 6 observa-se que o uso das tecnologias de *upscaling* aumenta significativamente o FPS em comparação com a renderização nativa, que atinge uma média de 51,0 FPS, abaixo da experiência fluida de 60 FPS. O DLSS se destacou em desempenho bruto, alcançando 87,4 FPS no Nível UP e 67,6 FPS no Nível Q, superando a performance das demais soluções e da renderização nativa. No entanto, considerando a estabilidade, o XeSS apresentou o melhor resultado. O FSR mostrou-se uma alternativa sólida, com 69,2 FPS no Nível UP e 60,2 FPS no Nível Q, também acima da nativa. Analisando os 1% e 0,1% *lows*, o XeSS proporcionou jogabilidade mais estável, com quedas mínimas

de 73,9 FPS e 72,3 FPS , enquanto o DLSS, apesar de maior média, apresentou quedas mais acentuadas, chegando a 66,9 FPS e 62,6 FPS

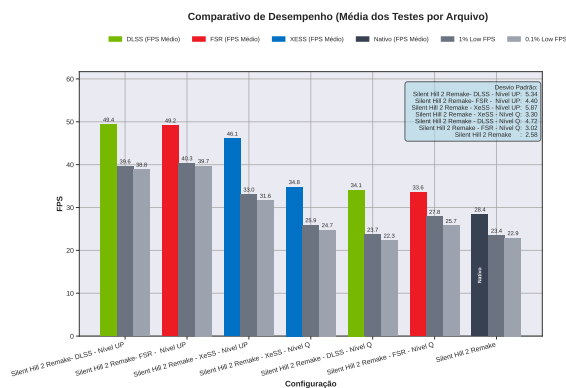


Figura 7. FPS Médio: *Silent Hill 2 Remake*

Em *Silent Hill 2 Remake*, na Figura 7, nativamente, o jogo atinge uma média de apenas 28.4 FPS, com um empate técnico DLSS e FSR no Nível UP, alcançando 49.4 FPS e 49.2 FPS, respectivamente. No Nível Q, o XeSS leva uma pequena vantagem, com 34.8 FPS. No entanto, o desvio padrão revela a estabilidade, e neste quesito, o FSR no Nível Q obtém o melhor resultado, com o menor desvio padrão (3.02), indicando a experiência mais consistente. O XeSS da Intel se posiciona como uma alternativa muito competitiva, especialmente no Nível Q, onde lidera a média de quadros (34.8 FPS) e apresenta ótima estabilidade (desvio padrão de 3.30). Os 1% e 0.1% lows são o fator decisivo, mostrando que o FSR oferece uma jogabilidade mais estável com quedas mínimas para 40.3 FPS e 39.7 FPS, superando o DLSS, que cai um pouco mais para 39.6 FPS e 38.8 FPS apesar de ter uma média de FPS similar.

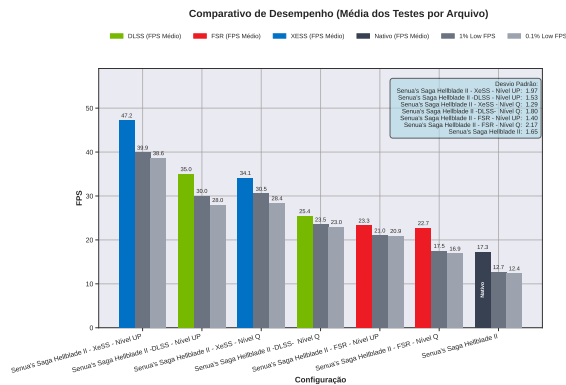


Figura 8. FPS Médio em *Senua's Saga Hellblade II*

Em *Senua's Saga Hellblade II*, na Figura 8, é perceptível que a utilização das tecnologias é fundamental para uma experiência jogável, visto que o desempenho nativo é bastante baixo no hardware testado. Nativamente, o jogo atinge uma média de apenas 17.3 FPS, o que torna o uso de *upscaling* essencial. A tecnologia XeSS da Intel se destaca em desempenho bruto, alcançando 47.2 FPS no Nível UP e 34.1 FPS no Nível Q, superando as outras soluções. No entanto, o desvio padrão revela que o XeSS no Nível

Q obtém o melhor resultado, com o menor desvio padrão (1.29), indicando a maior consistência. A tecnologia DLSS da Nvidia se posiciona como uma alternativa interessante, superando o desempenho nativo com 35.0 FPS em Nível UP e 25.4 FPS no Nível Q. O FSR, neste título, apresentou os ganhos mais modestos. Em relação aos 1% e 0.1% lows, confirmam a superioridade absoluta do XeSS, que garante uma experiência fluida com um pico de 39.9 FPS e 38.6 FPS , muito acima do DLSS, cujas quedas chegam a 30.0 FPS e 28.0 FPS.

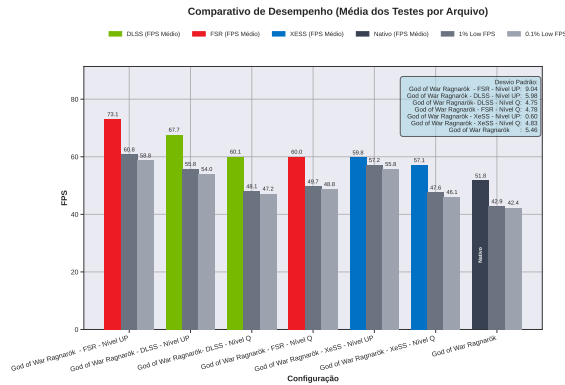


Figura 9. FPS Médio em *God of War: Ragnarök*

Para a análise de desempenho de *God of War: Ragnarök* (Figura 9), o uso das tecnologias de *upscaling* mostrou-se significativamente superior à renderização nativa, que atinge 51,8 FPS em média. O FSR destacou-se em desempenho bruto, alcançando 73,1 FPS no Nível UP. No Nível Q, FSR e DLSS apresentaram desempenho semelhante, com 60,0 FPS e 60,1 FPS, respectivamente. Em termos de estabilidade, o XeSS obteve o melhor resultado, com desvio padrão de apenas 0,60 no Nível UP, oferecendo a experiência mais consistente. O DLSS superou o desempenho nativo com 67,7 FPS no Nível UP e 60,1 FPS no Nível Q. Quanto aos 1% e 0,1% lows, o FSR mostrou-se mais estável no Nível UP, mantendo taxas mínimas de 60,8 FPS e 58,8 FPS, respectivamente.

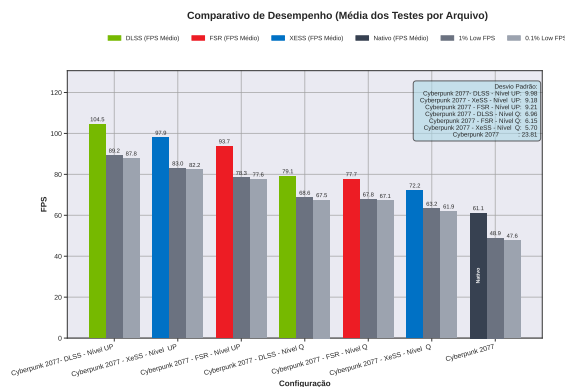


Figura 10. FPS Médio no jogo *Cyberpunk 2077*

Na Figura 10, nativamente, o jogo atinge uma média de 61.1 FPS , mas com um desvio padrão altíssimo (23.81), indicando instabilidade. O DLSS destaca-se no Nível UP alcançando expressivos 104.5 FPS e também se destacando no Nível Q, entregando 79.1

FPS. A análise do desvio padrão revela a estabilidade da performance e, neste quesito, o XeSS no Nível Q obtém o melhor resultado com o menor desvio padrão (5.70), o que melhora muito a consistência da jogabilidade em comparação com a renderização nativa. O FSR se posiciona como uma alternativa atraente, superando o desempenho nativo com 93.7 FPS no Nível UP e 77.7 FPS no nível, o 1% e 0.1% lows demonstram que o DLSS proporciona a experiência definitiva, mantendo a performance acima de 89.2 FPS e 87.8 FPS Nível UP.

5.1.2. Análise Comparativa - Desempenho Energético

O consumo energético é um fator relevante na avaliação de desempenho, pois impacta diretamente a eficiência e o custo de operação do sistema. A GPU, responsável pelo processamento gráfico, tende a apresentar maior variação de consumo em função da alta demanda de processamento gráfico, sendo significativamente influenciada pelo uso de técnicas de *upscaling*. Já a CPU, apesar de ter menor variação, também contribui para o gasto energético total, especialmente em cenários de jogos com alto processamento paralelo.

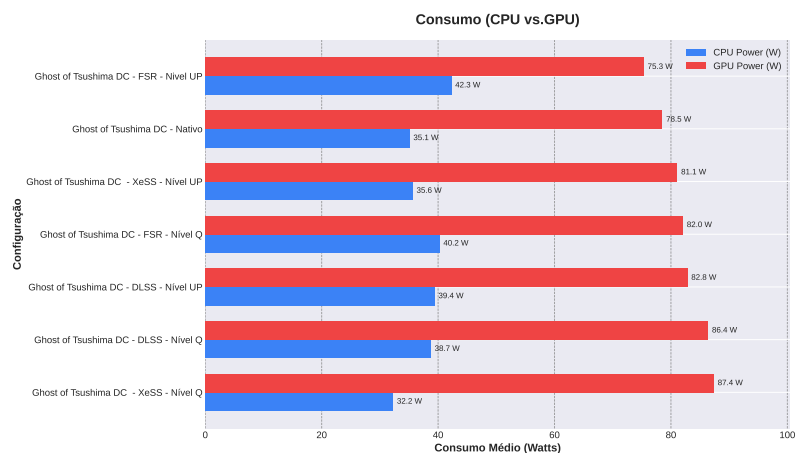


Figura 11. Consumo Energético: *Ghost of Tsushima: Director's Cut*

Conforme a Figura 11 revela que o aumento de performance proporcionado pelo *upscaling* vem acompanhado de um maior consumo de energia. Rodando em modo nativo, o jogo consome 78.5 W na GPU e 35.1 W na CPU. Com exceção do FSR no Nível UP, que consegue reduzir o consumo da GPU para 75.3 W, todas as outras configurações de DLSS e XeSS elevam o consumo da GPU para além do nível nativo. O pico de consumo ocorre com o XeSS no Nível Q, que exige 87.4 W da GPU, refletindo seu forte desempenho em FPS. O consumo da CPU também tende a aumentar com o *upscaling* para sustentar a maior taxa de quadros, com os modos do FSR exigindo mais do processador. Isso mostra que, neste título, o desempenho extra é priorizado em detrimento da eficiência energética.

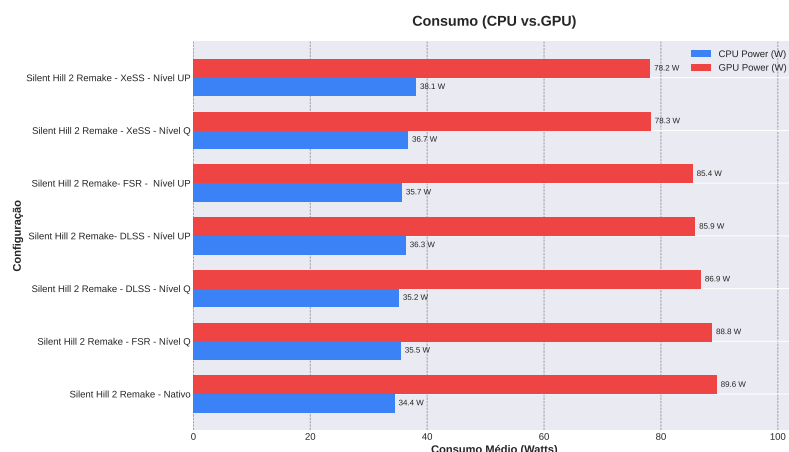


Figura 12. Consumo Energético: Silent Hill 2 Remake

Conforme apresentado na Figura 12, em modo nativo, o jogo exibe o maior consumo de GPU de todos os cenários, atingindo 89.6 W, com a CPU consumindo 34.4 W. Todas as tecnologias de *upscaling* conseguem reduzir a carga da GPU de forma eficaz. O XeSS se destaca como a opção mais econômica para a GPU, registrando os menores consumos, com 78.2 W no Nível UP e 78.3 W no Nível Q. Em contrapartida, o FSR no Nível Q, apesar de reduzir o consumo em relação ao nativo, ainda mantém a GPU em alta utilização, com 88.8 W. O consumo da CPU apresenta um leve aumento em todos os modos de *upscaling*, variando entre 35 W e 38 W, o que é consistente com o aumento da taxa de quadros.

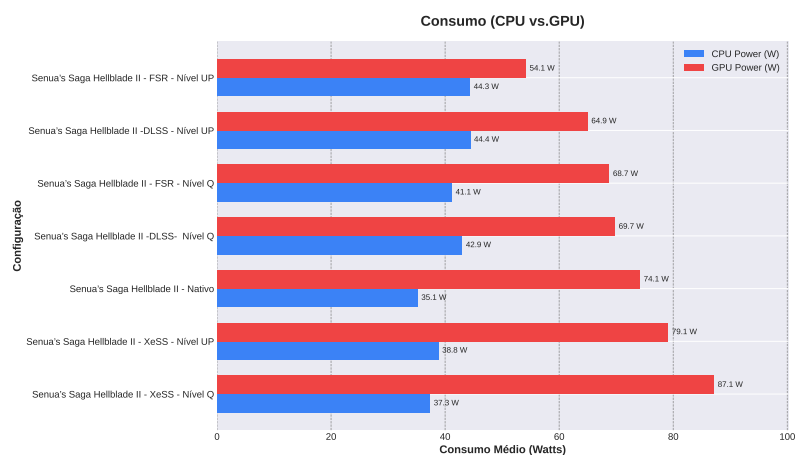


Figura 13. Consumo Energético: Senua's Saga: Hellblade II

No gráfico da Figura 13 de consumo de *Senua's Saga: Hellblade II*, observamos um comportamento interessante e atípico. Ao rodar o jogo nativamente, o consumo da GPU é de 74.1 W e o da CPU é de 35.1 W. Geralmente, espera-se que as tecnologias de *upscaling* aliviem a carga da GPU, reduzindo seu consumo. Isso se confirma com o FSR, que no Nível UP registra o menor consumo de GPU, com 54.1 W. No entanto, a tecnologia XeSS, que na análise de desempenho se mostrou a mais rápida, aqui exibe o efeito oposto: ela eleva o consumo da GPU para 79.1 W no Nível UP e atinge o pico

de 87.1 W no Nível Q, mais do que em modo nativo. Isso indica que o grande ganho de FPS proporcionado pelo XeSS neste jogo leva a GPU a trabalhar mais intensamente para entregar os quadros extras. O consumo da CPU, por sua vez, aumenta em todos os modos com *upscaling*, refletindo a necessidade de preparar mais quadros para a GPU, um comportamento esperado.

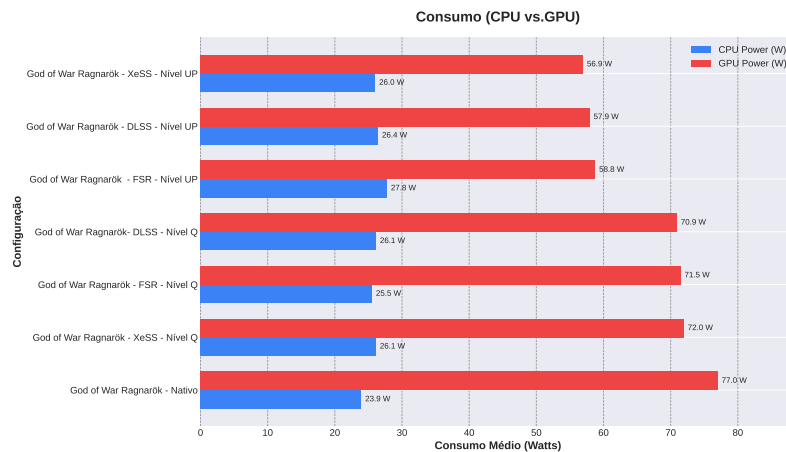


Figura 14. Consumo energético: *God of War Ragnarök*

Na Figura 14 mostram um comportamento clássico e esperado da aplicação de tecnologias de *upscaling*. Ao rodar nativamente, a GPU consome 77.0 W, o valor mais alto entre todas as configurações, enquanto a CPU consome 23.9 W, o valor mais baixo. A ativação de qualquer tecnologia de *upscaling* resulta em uma redução significativa no consumo da GPU, pois a placa de vídeo passa a renderizar o jogo em uma resolução interna menor. O mais eficiente é o XeSS no Nível UP, que derruba o consumo da GPU para apenas 56.9 W. Conforme a carga da GPU diminui e mais quadros são gerados, a carga sobre a CPU aumenta para acompanhar o ritmo, com o FSR no Nível UP exigindo o maior consumo de CPU, 27.8 W, que corresponde também ao seu alto desempenho em FPS.

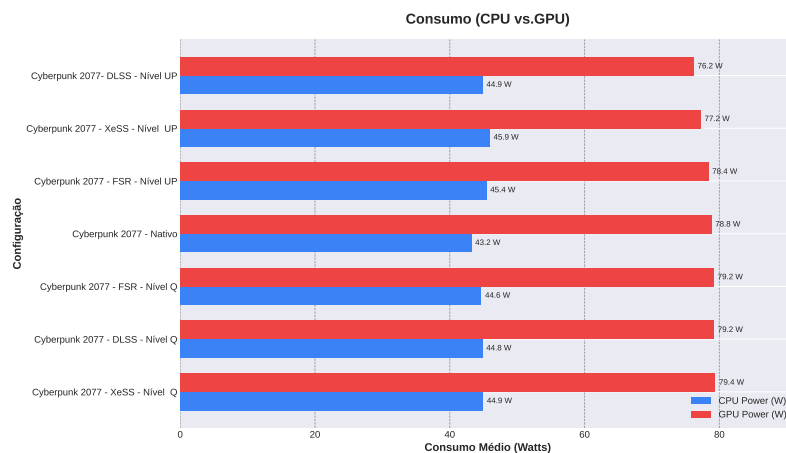


Figura 15. Consumo Energético: *Cyberpunk 2077*

Na Figura 15, *Cyberpunk 2077* apresenta um consumo peculiar, sugerindo possível gargalo de CPU. No modo nativo, a CPU consome 43,2 W e a GPU 78,8 W. Diferente da maioria dos jogos, o *upscaling* não reduz o consumo da GPU; todos os níveis de Qualidade (Q) consomem ligeiramente mais, chegando a 79,4 W com XeSS Q, enquanto os níveis Ultra Performance (UP) ficam próximos ao nativo. A CPU também mantém carga elevada em todas as configurações, indicando que ambos os componentes permanecem sob alta demanda, sem benefício de eficiência energética.

5.2. Análise Visual

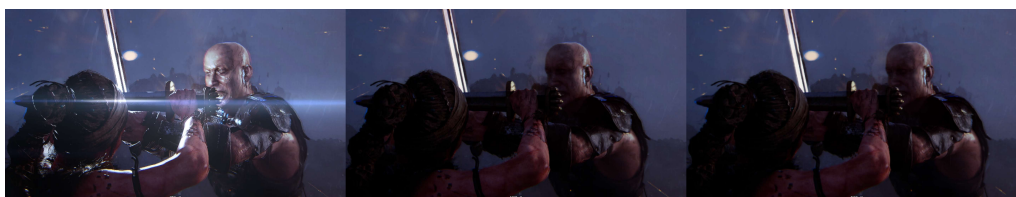


Figura 16. *Senua's Saga: Hellblade II* - Métodos de *Upscaling* em Nível Q

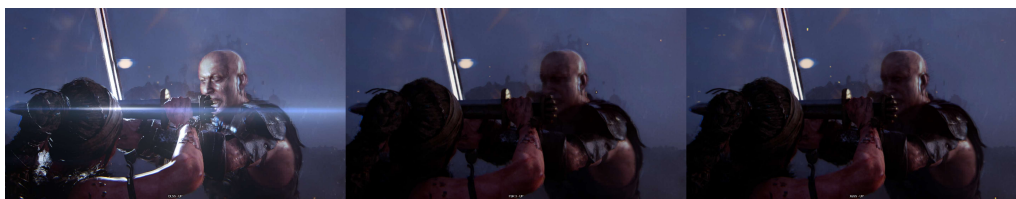


Figura 17. *Senua's Saga: Hellblade II* - Métodos de *Upscaling* em Nível Up

As Figuras 16 e 17 apresentam comparações visuais entre os métodos de *upscaling* nas configurações de Nível Q e Nível UP respectivamente, aos métodos aplicados, à esquerda observa-se o NVIDIA DLSS, ao centro o AMD FSR e à direita o Intel XeSS. Ao observar as imagens na configuração de nível Q, nota-se que o DLSS apresenta uma nitidez bastante elevada, destacando com clareza os detalhes da espada e da armadura, além de delimitar de forma precisa o brilho da luz refletida na lâmina. O FSR, por sua vez, demonstra uma leve perda de nitidez em relação ao DLSS, principalmente em bordas finas e na textura metálica da armadura, além de apresentar um efeito de serrilhado ligeiramente mais espalhado. O XeSS, nessa mesma configuração, mostra-se comparável ao FSR, embora em alguns detalhes apresente uma suavidade ainda mais perceptível, especialmente na luz refletida na espada, que tende a parecer um pouco mais difusa que no DLSS.

Quanto à preservação de detalhes, o DLSS se mostra superior, garantindo definição precisa em elementos como armaduras e fios de cabelo. O FSR apresenta leve perda de microdetalhes em texturas complexas, deixando o cabelo ligeiramente mais agrupado. O XeSS mantém qualidade semelhante ao FSR, porém sem atingir o nível de definição microtextural do DLSS. Em relação a artefatos visuais, o DLSS apresenta excelente controle, sem halos, enquanto o XeSS se sai bem, mas o brilho da espada mostra tendência a halos suaves ao redor da fonte luminosa, menos perceptíveis no DLSS.

Em imagens estáticas, a estabilidade é consistente entre os três métodos, sem tremores ou distorções visíveis. Sob perspectiva subjetiva, o DLSS é percebido como a

solução mais agradável, oferecendo maior clareza e nitidez. O FSR apresenta tonalidades ligeiramente mais escuras, aproximando-se da resolução nativa, embora com menor impacto visual que o DLSS. O XeSS, por sua vez, entrega uma experiência próxima ao FSR, mas com aparência um pouco mais escurecida em relação ao DLSS, o que pode reduzir interesse em análises comparativas. Demais capturas de tela obtidas nesta análise estão disponíveis para consulta no seguinte repositório:

<https://abrir.link/UPyse>.

6. Conclusão

Neste trabalho, foram investigadas as tecnologias de *upscaling* NVIDIA DLSS, AMD FSR e Intel XeSS, por meio de uma análise quantitativa e qualitativa envolvendo métricas de desempenho (FPS médio, 1% Low, 0,1% Low e *frametime*), consumo energético e avaliação visual. Utilizando como estudo de caso uma GPU NVIDIA GeForce RTX 3050, foram realizados testes em diferentes títulos, permitindo comparar a eficiência de cada solução frente ao modo nativo. Os resultados demonstraram que, de forma geral, o DLSS da NVIDIA apresentou o melhor equilíbrio entre desempenho e qualidade visual, destacando-se pelos maiores ganhos em FPS médio, maior estabilidade e melhor preservação de microdetalhes. Ainda assim, o FSR da AMD se mostrou altamente competitivo, chegando a superar o DLSS em alguns cenários, como em *God of War: Ragnarök* no Nível UP, além de manter resultados próximos em outros jogos. O XeSS, por sua vez, evidenciou que otimizações específicas podem alterar o panorama, sendo o grande destaque em *Senua's Saga: Hellblade II*, onde superou de forma expressiva as demais tecnologias.

No aspecto qualitativo, o DLSS se destacou, oferecendo maior nitidez e melhor controle de artefatos. O FSR apresentou resultados satisfatórios, porém com leve suavização e pequenas perdas de detalhes e sombreamento. O XeSS se aproximou do FSR, mas mostrou maior suavidade em reflexos e luminosidade. Em todos os casos, as três soluções de *upscaling* foram significativamente mais eficientes que a renderização nativa, proporcionando melhor performance com consumo de energia similar ou, em alguns casos, menor.

Conclui-se que o DLSS é atualmente a tecnologia mais consistente e completa, aliando alto desempenho à maior fidelidade visual. O FSR e o XeSS surgem como alternativas viáveis, com a vantagem de serem compatíveis com GPUs de outros fabricantes, sem depender de hardware dedicado. A escolha da tecnologia ideal, entretanto, depende não apenas do hardware, mas também do título e das preferências do jogador entre desempenho, estabilidade e qualidade visual. Para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo do DLSS, FSR e XeSS em resoluções superiores a 1080p, como 1440p e 4k. Além de novas versões que podem ser implementadas ao longo do tempo, assim como novas tecnologias de *upscaling* que podem ser desenvolvidas, incluindo fatores de escala mais extremos, avaliação de desempenho em diferentes hardwares e cenários de memória limitada. Além disso, sugere-se realizar análises visuais mais detalhadas, utilizando métricas científicas de qualidade de imagem, como PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), SSIM (*Structural Similarity Index*) e LPIPS (*Learned Perceptual Image Patch Similarity*), para complementar as métricas objetivas e oferecer uma avaliação mais completa da percepção de qualidade pelo usuário.

Referências

- AMD (2021). FidelityFX Super Resolution 1.0: Overview and Integration Guide. Technical report, Advanced Micro Devices (AMD). Publicado sob a iniciativa GPUOpen.
- AMD (2023). Amd fidelityfx super resolution 3. https://gpuopen.com/download/AMD_FidelityFX_Super_Resolution_3-Overview_and_Integration.pdf. [Online].
- Berg, M. (2024). Energy implications of upscaling and frame generation in games. Technical report, Faculty of Science and Technology, Uppsala University, Uppsala.
- Eliseo, M. A. and Silva, L. (2016). Desenvolvimento de jogos ultra-alta definição (uhd-4k). In *SBC – Proceedings of SBGames 2016*.
- Intel (2024). O intel xess 1.3 acelera para a próxima geração de upscaling de ia. <https://game.intel.com/br/stories/intel-xess-1-3/>.
- Intel (2025a). Intel® xe super sampling 2 whitepaper. <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/xess2-whitepaper.html>.
- Intel (2025b). Intel® xess super resolution (xess-sr) developer guide 2.0. <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/xess-sr-developer-guide.html>.
- Lin, H. and Burnes, A. (2025). Nvidia dlss 4 apresenta o novo multi-frame generation e aprimoramentos para todas as tecnologias dlss. <https://www.nvidia.com/pt-br/geforce/news/dlss4-multi-frame-generation-ai-innovations/>. Acessado em: 19 de setembro de 2025.
- Mendes, B. L. (2013). *Estilo retrô em videogames: a relação do jogador com o jogo*. PhD thesis, Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- NVIDIA (2022). How ada advances the science of graphics with dlss 3. <https://images.nvidia.com/aem-dam/Solutions/geforce/ada/ada-lovelace-architecture/nvidia-ada-gpu-science.pdf>. [Online].
- NVIDIA Applied Deep Learning Research (ADLR) (2024). Dlls 4: Transforming real-time graphics with ai. Acesso em: 01 set. 2025.
- Ugur, D. (2024). Transparent video upscaling for cloud gaming.
- Watson, A. (2020). *Deep Learning Techniques for Super-Resolution in Video Games*. PhD thesis, Department of Computing and Informatics, Bournemouth University.
- Wolberg, G. (1990). *Digital image warping*, volume 10662. IEEE computer society press Los Alamitos, CA.
- Xiao, L., Nouri, S., Chapman, M., Fix, A., Lanman, D., and Kaplanyan, A. (2020). Neural supersampling for real-time rendering. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 39(4):142–1.