

Análise da Transferência Neural de Estilos de Obras de Arte Aplicadas em Jogos Digitais

Tiago Caúla de Oliveira Maia
Instituto Universidade Virtual
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza, Brasil
tiagocaulam@gmail.com

Natal Anacleto Chicca Junior
Instituto Universidade Virtual
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza, Brasil
natal@virtual.ufc.br

Rafael Augusto Ferreira do Carmo
Instituto Universidade Virtual
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza, Brasil
carmorafael@virtual.ufc.br

Antônio José Melo Leite Júnior
Instituto Universidade Virtual
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza, Brasil
melojr@virtual.ufc.br

Resumo—A arte e a tecnologia se relacionam de diferentes formas. Por vezes, o relacionamento pode ser conturbado, gerando conflitos ou limitações em determinadas ferramentas ou aplicações. Em outros momentos, permite avanços cuja sinergia gera resultados maiores do que a simples soma de suas partes. Os jogos digitais possuem diferentes exemplos que podem representar as barreiras ou os ganhos quando se integra essas duas áreas de maneira devida. A transferência de estilo é um recurso computacional que permite a manipulação de elementos gráficos, originados a partir de obras de arte, aplicados nos *sprites* dos jogos. Apesar de existirem alguns outros trabalhos que abordam a rede neural como elemento para geração automática de *assets* (elementos gráficos definidores de cenários, objetos e personagens em jogos eletrônicos) em *pixel art*, nenhum deles avalia as características individuais das obras de arte que influenciaram os elementos do jogo, o objetivo deste trabalho. As análises do artigo sugerem a transferência de estilo como uma integração entre alguns fundamentos da arte e da computação aplicados em jogos digitais.

Index Terms—transferência de estilos, análise, arte e computação

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia é responsável por tanto libertar quanto limitar a criatividade dos artistas. Da mesma forma, a arte também liberta e limita a criatividade dos programadores. Os jogos de computador, por exemplo, surgiram como uma forma dos cientistas da computação se expressarem e se desafiarem através das limitações dos equipamentos que marcaram o início da era da informação [1].

Ao longo dos anos, esses jogos se tornaram mais complexos e ganharam sistemas mais poderosos. Com isso, demonstraram ser um importante meio de contar histórias, o que possibilitou criar experiências mais profundas e ricas. No entanto, muitos problemas surgiram devido ao conflito entre arte e tecnologia. No começo dos anos 1980, o mercado de vídeo games e computadores pessoais teve um enorme avanço. Consequentemente, nesse mesmo período, os artistas digitais trabalhavam no intuito de trazer diversos tipos de jogos e

experiências para tais plataformas, sendo responsáveis por um imenso crescimento imaginativo. Contudo, apesar de ter sido um período de desenvolvimento excepcional, as limitações dos sistemas da época se mostraram como um grande obstáculo na expressão que esses pioneiros queriam realizar [2].

O avanço cada vez maior dos recursos tecnológicos na produção dos jogos é responsável pelo surgimento do artista técnico, profissional que possui a visão de um artista e o método de um programador. O artista técnico desempenha um papel importante ao integrar a equipe de arte com a equipe de tecnologia, pois é capaz de auxiliar os artistas a se conectarem com a tecnologia e os programadores com a arte [1]. Assim, com o tempo, diferentes perfis de profissionais, como designers e artistas, também se juntam aos programadores nas equipes de desenvolvimento de software como um todo [2].

O crescimento das equipes de desenvolvimento transformou os jogos digitais em um meio expressivo, por receber contribuições de diferentes profissionais; como, por exemplo, designers de som, designers de jogos, artistas e programadores [2]. O resultado final de um projeto de um jogo digital é um exemplo real de sinergia, não a ponto de que todos sejam artistas ou programadores, mas, sim, que todos consigam um resultado que seja mais do que a simples soma de suas partes.

Hoje, além da integração entre diferentes áreas, existe uma demanda relacionada a conhecimentos complementares. A busca pela compreensão daquilo que está ao seu redor leva-nos a interagir com outras pessoas, objetos e contextos, de forma a se envolver, interpretar e construir nosso próprio significado [3]. Então, em particular, os designers de jogos buscam estudar o conceito de significado, pois estão envolvidos na criação de sistemas de interação. Com isso, muitos deles têm buscado conhecimento em outras áreas, como, por exemplo, no campo da semiótica. Semiótica, em um senso comum, é o estudo do significado e o processo pelo qual o significado é realizado, sendo que os signos e o que representam ou denotam é uma preocupação central para este campo [3].

Em paralelo, o resultado final de uma obra pode ser considerado a verdadeira manifestação do artista. Porém, o seu significado depende das respostas do espectador, que a modifica e a interpreta através de seus critérios subjetivos. Assim, em áreas como o design, o indivíduo não aprende apenas a simplesmente produzir, mas também a buscar a expressão individual e única a seu trabalho [4]. A diferença, neste caso, entre o utilitário e o puramente artístico é o grau de motivação que leva à produção do interessante e belo [4].

Entretanto, tal definição pode ser contestada ao tomar como exemplo os afrescos de Michelangelo para a Capela Sistina, já que tal obra originalmente não foi pensada como uma exclusiva expressão artística. O trabalho foi encomendado com uma finalidade específica, uma explicação visual da “Criação” para um público em sua maioria analfabeto e, portanto, incapaz de ler a história bíblica. O mural não pode ser questionado como um produto autêntico das belas-artes e, no entanto, ele tem um propósito e uma utilidade que contradizem a definição da suposta diferença na qual as artes aplicadas devem ser funcionais, e as belas-artes devem prescindir de utilidade [4].

Então, o exemplo anterior deixa claro que um meio visual pode desempenhar muitos papéis ao mesmo tempo, assim como um pôster original, que se destina a anunciar um concerto de piano, pode acabar servindo para decorar a parede de um estúdio, transformando a finalidade comunicativa que motivou sua criação. Por outro lado, uma pintura abstrata, concebida pelo artista de forma inteiramente subjetiva e como expressão de seus sentimentos, pode ser utilizada como ilustração de contra-capa de algum folheto com o objetivo de levantar fundos para uma instituição de caridade. Os objetivos dos meios visuais se misturam, interagem e se transformam com uma complexidade caleidoscópica. As respostas às indagações sobre os motivos que os levam a serem concebidos e produzidos são fluídas, e as perguntas, portanto, também devem sê-lo. Devem interrogar a natureza de cada meio de comunicação, sua função ou níveis de função, sua adequação, a clientela a que se destina e, por último, sua história e sua maneira de servir às necessidades sociais [4].

Sob essa ótica específica, a partir do que foi apresentado, o presente artigo se propõe a trazer alguns estudos de transferência de estilo de obras de arte para a customização de elementos de jogos digitais bidimensionais. A motivação do projeto está no potencial que tal técnica pode trazer para esta área, relacionando tanto os conceitos de arte quanto os de tecnologia, trabalhando de forma integrada em uma sinergia maior do que a simples soma de áreas do saber.

O artigo se propõe a trazer uma discussão dos resultados dos experimentos realizados, considerando a influência das características individuais de determinadas obras de arte nos elementos visuais de alguns jogos digitais selecionados. Indo além da discussão da utilização de uma rede neural como elemento para a geração automática de *assets* (elementos gráficos definidores de cenários, objetos e personagens em jogos eletrônicos) em *pixel art*, o artigo tem como objetivo trazer discussões e reflexões relacionadas à aplicação das características individuais das obras de arte que influenciaram

os elementos dos jogos trabalhados.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir é apresentada a fundamentação teórica necessária à devida compreensão do trabalho.

A. Emprego de Elementos Visuais

Os sistemas de representação gráfica são um prolongamento natural dos movimentos artísticos contemporâneos, que nasceram na era da máquina e evoluíram dentro de um período de desenvolvimento científico e tecnológico. O sistema básico de proporção, apesar de sua validade comprovada, não pode ser tomado como medida para todos os aspectos da forma. Assim como a visão não pode reagir de maneira precisa, previsível ou estruturada, dificilmente os problemas de criação de design podem ser resolvidos através de uma teoria da estrutura [5].

Por outro lado, as leis matemáticas de proporção são valiosas para assegurar que todos os elementos de design mantenham uma inter-relação capaz de produzir uma solução homogênea. Os estilos e os motivos de criação de padrões evoluem dentro e entre as culturas, e eles entram e saem de uso pelo inquieto desejo de variedade. O próprio estilo, aliás, pode ser definido como o conjunto das qualidades de expressão característico de um autor na execução de um trabalho. Em outras palavras, uma mistura de experiência acumulada, do gosto pessoal e do talento de seu criador [5]. No entanto, é importante destacar a diferença entre um estilo resultante de um trabalho conjunto que busca um objetivo comum de outras soluções puramente superficiais, como, por exemplo, um apelo puramente estético. Ao entender como produzir padrões, os designers aprendem a tecer a complexidade das estruturas elementares, participando da prática artística mais antiga e predominante do mundo [6].

Os elementos básicos de construção do design são: o ponto, a linha e o plano. A partir deles, imagens, ícones, texturas, padrões, diagramas, animações e sistemas tipográficos são criados. [6]. Apesar de seu uso individual parecer uma simplificação no processo criativo, ao serem analisadas como forças dinâmicas, apontam o seu papel estimulante e requintado no contexto da realização visual [5]. Então, sempre que alguma coisa é projetada e feita, esboçada e pintada, desenhada, rabiscada, construída, esculpida ou gesticulada, a substância visual da obra é composta a partir destes elementos visuais[4]. A matéria-prima de toda informação visual é a força que determina quais elementos visuais estão presentes, e com qual ênfase essa presença ocorre. Além dos elementos gráficos e da forma que já foram citados, também devem ser considerados a harmonia, o contraste, a hierarquia visual, a cor, a escala e a textura, para contribuir no entendimento das análises que serão feitas, posteriormente, na (Seção IV).

Com relação especificamente ao contraste, o branco do papel e o negro da tinta de impressão representam duas forças opostas, cujo contraste valoriza as imagens e dá um grande impacto visual. Os contrastes claro/escuro, amplo/estrito, os contrastes de humor em determinado tema, o espaço acentuado

por componentes fortes, tudo isso contribui para a expressiva apresentação de um material gráfico [5].

Outra forma de contraste, que pode produzir efeitos até mesmo mais dinâmicos, é o de escalas, ou seja, imagens amplas ao lado de outras reduzidas. A diferença entre os tamanhos vai destacar ainda mais a escala de cada uma delas, seja ao acentuar a percepção da imagem grande ou pela impressão de reduzir ainda mais a pequena. Assim, por exemplo, uma das importantes contribuições dos construtivistas russos foi o modo como eles usavam os contrastes de tamanho em seus cartazes para produzir um impacto mais forte [5].

E já considerando um aspecto mais subjetivo, o contraste de sentimento é uma outra forma de trabalhar estímulos contrários tais como agressivo e suave, alegre e melancólico, entre outros. Por fim, há ainda o contraste das relações entre formas e intensidades: curvas e retas, horizontais e verticais, côncavas e convexas. Este tipo de contraste pode influenciar a percepção do espaço. Assim como acontece no contraste de tamanho, a ênfase de formas pode fazer o espaço parece mais alto ou mais largo. As variações de ângulos e de formatos podem produzir ilusões de profundidade e dimensões e até de impulso e movimento [5].

Já a hierarquia visual [7] considera a ordem de importância expressa por meio de variações de escala, valor, cor, espaçamento, posicionamento e outros sinais. Ela é responsável pelo controle da entrega e impacto de uma mensagem. Sem hierarquia, a comunicação gráfica é monótona e difícil de navegar. Como a tecnologia permite um acesso cada vez maior às informações, a capacidade do criador de destilar e entender o excesso de dados ganha valor cada vez maior [6].

Já quando se trata de imagens coloridas, o contraste se verifica entre as cores neutras e as de alta intensidade, entre as cores frias (azul e verde) e cores quentes (vermelho e amarelo), e na justaposição deliberada de cores complementares, aquelas que se encontram opostas em um círculo cromático [5].

As texturas dos elementos gráficos adicionam detalhes a uma imagem, fornecendo, ou simplesmente insinuando, uma informação tátil ou visual de uma superfície. As texturas são utilizadas para estabelecer um clima, reforçar um ponto de vista ou transmitir uma sensação de presença física. Sua beleza geralmente reside em sua justaposição ou contraste comovente: espinhosa/macia, pegajosa/seca, difusa/lisa e assim por diante. Ao colocar uma textura em relação ao seu oposto, ou uma contraparte inteligente, o artista pode amplificar as propriedades formais únicas de cada uma [6].

No entanto, o simples emprego de todos os padrões de comunicação anteriormente citados pode bombardear as pessoas com uma infinidade de imagens impressas ou projetadas a tal ponto que muitas delas se tornam confusas e sem significado. Então, a análise do conteúdo deve envolver um complexo processo de estudo e avaliação de múltiplos elementos, antes de se concentrar no estilo e na forma. A carga de imagens visuais passa a exigir um conhecimento maior e um envolvimento mais profundo com o planejamento e com a solução dos problemas de comunicação, aí incluindo a expressão artística [5].

Por fim, é importante considerar que as mensagens visuais podem ser expressadas e recebidas em três níveis: o **representacional**, aquilo que é visto e identificado com base no meio ambiente e na experiência; o **abstrato**, a qualidade cinestésica de um fato visual reduzido a seus componentes visuais básicos e elementares, enfatizando os meios mais diretos, emocionais e mesmo primitivos da criação de mensagens; e, por fim, o **simbólico**, representado pela vasta gama de sistemas de símbolos codificados que o homem criou e ao qual atribuiu significados [4].

B. Transferência de Estilos

A transferência de estilo é um recurso computacional que permite a manipulação de imagens digitais. Através dela, por exemplo, os elementos gráficos, originados a partir de alguns exemplos de obras de arte, são aplicados nos *sprites* (elementos bidimensionais, geralmente com dimensões fixas, que podem compor personagens e objetos) dos jogos. Em relação especificamente aos trabalhos de processamento digital de imagem, eles reduzem o problema de transferir o estilo de uma imagem a outra como sendo uma tarefa de transferência de texturas [8]. Desta forma, a tarefa se torna computacionalmente adequada e pode ser resolvida, seja por algoritmos baseados em amostragem [9] ou por algoritmos baseados em redes neurais [10].

O primeiro grupo de algoritmos utiliza como base informações locais dos *pixels* individuais e da sua vizinhança na imagem, como em um processo de filtragem por convolução [11], sendo assim usualmente rápidos em tempo de execução e produzindo resultados mais simples comparativamente. Já algoritmos baseados em redes neurais têm como característica principal a utilização de informação global, de toda a imagem, quando da transferência de estilo. Muito desta característica se dá pela utilização de matrizes de Gram [10] que sumarizam informação extraída de toda a matriz de *pixels* da imagem, assim elementos mais abstratos como texturas e formas também podem ser capturados por esses modelos.



Fig. 1. Transferência da obra A Noite Estrelada (Vincent van Gogh, 1889) para cena do jogo The Witcher 3: Wild Hunt (CD Projekt RED, 2015). Fonte: <https://i.imgur.com/y3OgJE7.jpg>.

Algoritmos baseados em redes neurais tendem a utilizar arquiteturas de redes neurais profundas[10], aquelas com diversas camadas, incluindo blocos residuais, que reconstruem

internamente na rede neural os dados representados pelas múltiplas camadas da rede. Ao se treinar uma rede neural, está se fazendo o ajuste dos inúmeros parâmetros existentes, através da leitura de toda a base de dados utilizada - as chamadas *épocas* - e atualização dos parâmetros de acordo. Assim, transferência neural é o trabalho de definir equações que ajustem os parâmetros que aproximem o conteúdo de uma imagem de enquanto aplicam as texturas de outra.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar de já haver vários trabalhos sobre transferência neural de estilo (Seção II-A), percebe-se que a automatização da aplicação de características de obras artísticas em jogos ainda é um tanto incipiente. Porém, nesse contexto bem específico, já merecem ser destacados alguns trabalhos.

Uma dessas iniciativas, desenvolvida pela empresa Nvidia¹, diz respeito à inclusão de recursos de transferência de estilo na ferramenta Ansel². Tal ferramenta habilita a pausa em um determinado jogo 3D, compatível com as placas de vídeo GeForce, permitindo que o jogador reposicione a câmera no espaço tridimensional da cena e realize capturas com diferentes parâmetros fotográficos (reenquadramento, redimensionamento, mudança de foco, alteração de resolução, etc.). E um adicional recente a essa ferramenta foi a inclusão do recurso de transferência de estilo. Para tanto, foi criado o algoritmo FastPhotoStyle [12], voltado a obter resultados fotorealistas no processo. Esse algoritmo, que se baseia em [13], destaca-se por operar em duas etapas bem definidas, de estilização e de suavização. Assim, enquanto a etapa de estilização, comum a outros algoritmos com a mesma finalidade, transfere o estilo de uma imagem de referência para a imagem capturada no jogo, a etapa de suavização garante estilizações espacialmente consistentes [12]. Ou seja, nessa segunda etapa há a correção de artefatos (falhas, geralmente de cores, em determinados porções da imagem) e outros possíveis problemas visuais.

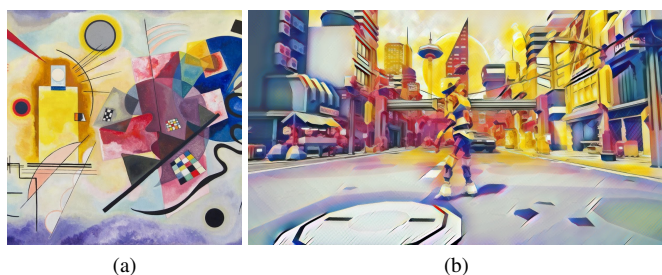


Fig. 2. Transferência da (a) obra Amarelo, Vermelho, Azul (Wassily Kandinsky, 1925) para (b) protótipo de jogo para o serviço online Google Stadia (b). Fonte: <https://bit.ly/30BJcWE>.

No geral, os resultados obtidos com esse novo recurso da Ansel são interessantes, em particular pela disseminação do uso da técnica de transferência de estilo e pela alta fidelidade geralmente obtida. Além disso, os resultados incluem aplicações de estilos de obras de arte em jogos (Fig. 1). Já

¹<https://www.nvidia.com/>

²<https://www.nvidia.com/pt-br/geforce/geforce-experience/ansel>

diferente do caso anterior, que emprega a transferência de estilo em somente uma cena de jogo pausada, a empresa Google LLC³ operou diretamente sobre uma partida em execução. Assim, este trabalho que segue na mesma linha porém de forma mais ampla, diz respeito aos esforços em implementar um modelo de customização rápida de texturas para jogos 3D em seu serviço online Google Stadia⁴.

Considerando que a aplicação de algoritmos de transferência de estilo em imagens animadas pode gerar resultados inconsistentes quando trabalhada em cada quadro individualmente [14], os responsáveis, com base em no trabalho inicial de [15], desenvolveram uma solução para ser empregada em jogos em tempo real. Visando o alto desempenho, foram descartados elementos do modelo de definição de estilo que não podiam ser processados de forma eficiente em GPU. E para minimizar os efeitos de tal descarte, foram adicionados blocos residuais nas camadas intermediárias do modelo de definição de estilo até não haver mais ganho perceptível na qualidade visual. Depois foi minimizada a perda de relação gráfica entre os quadros gerados, considerando [14], [16]. Após passar por otimizações, a fim de poder ser executado em tempo real, o resultado obtido foi avaliado aplicando, a um jogo de teste específico, diferentes imagens, dentre as quais algumas obras de arte (Fig.2).

E, por último, e já considerando mais especificamente a transferência de estilo de obras de arte para a customização de elementos de jogos bidimensionais, Colton realizou experimentações com alguns algoritmos de aprendizagem de máquina. Dentre vários experimentos, foi testada a transferência de estilo de uma obra de Ghaith Abdul-Ahad, jornalista e artista que se notabilizou por retratar cenas de guerra através de desenhos e pinturas vinculadas às suas reportagens. Os resultados obtidos foram aplicados a alguns elementos de um jogo simples, visando verificar possibilidades criativas para futuros desenvolvimentos (Fig. 3).

No entanto, apesar dos resultados expressivos obtidos, esse trabalho realizado, assim como também as demais iniciativas já citadas, não teceu maiores considerações sobre avaliar como as características individuais da obra de arte influenciaram os elementos do jogo. Sendo esse, particularmente, o objetivo do presente trabalho. De forma específica, [17] apresenta a

³<https://www.google.com>

⁴<https://stadia.google.com>

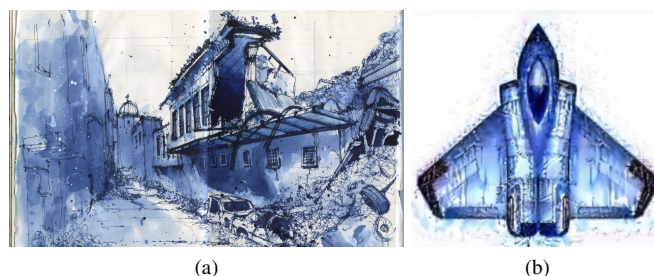


Fig. 3. Transferência da (a) obra de Ghaith Abdul-Ahad (2017) para (b) elemento de jogo. Fonte: <https://youtu.be/M5ojBJhQnRk>.

discussão da utilização de uma rede neural como elemento para geração automática de *assets* em *pixel art*.

IV. MÉTODO DE ANÁLISE E EXPERIMENTAÇÃO

A experimentação aqui apresentada tomou por base o ideal de facilitar o processo de análise minuciosa, sob os critérios de avaliação estabelecidos, das características das obras utilizadas no processo de transferência neural de estilo. Assim, foi definida inicialmente a utilização da implementação em Python⁵ do modelo proposto em [18]. Desta forma, buscou-se dar ao processo de avaliação o foco nas características das imagens produzidas, e não na comparação entre diferentes modelos de transferência de estilo.

Foram então selecionadas sete obras diferentes para análise, com utilização de imagens destas obras com diferentes resoluções, como apresentado na Tabela I. As aparentes pequenas dimensões das imagens se dá por limitação do *hardware* utilizado, visto que, em modo de treinamento dos modelos de transferência neural de estilo, havia a necessidade de utilização de mais que os 8 GB de memória disponíveis na placa de vídeo GeForce RTX 2080 Super utilizada. Utilizou-se os valores padrão de configuração do processo de treinamento proposto pela implementação, com utilização do dataset MS Coco [19] e duas épocas (passadas) de treinamento.

Tabela I: Listas de imagens de estilos utilizadas nos experimentos e respectivas dimensões em pixels

OBRA	LARGURA	ALTURA
A Grande Onda de Kanagawa	1.488	1.000
A Noite Estrelada	960	600
Guernica	840	380
O Grito	260	320
Composição com Amarelo, Azul e Vermelho	700	738
Concreção 5523	448	648
Um Novo Dia	1.000	752

Também foram selecionados dois jogos em que processo de transferência neural de estilo seria aplicado diretamente nos respectivos *sprites*, *tiles* e cenários. Decidiu-se por selecionar releituras de jogos clássicos disponíveis na internet. Um é o projeto Open Sonic JS⁶, uma implementação em *JavaScript* e *HTML* baseada no projeto Open Sonic⁷ e inspirada e utilizando elementos do clássico *Sonic the Hedgehog*. O outro jogo é o projeto Street Fighter Alpha⁸, também com implementação em *JavaScript* e *HTML*, livremente inspirada e utilizando elementos do clássico Street Fighter 2.

Sonic the Hedgehog foi criado com o objetivo de promover o poder técnico do Mega Drive (Genesis), console da empresa Sega. Naoto Oshima foi o designer responsável em criar o ouriço azul, antropomórfico, com penteado espetado e tênis de corrida vermelho brilhante. Os cenários do jogo apresentam zonas de cores vivas com diversos objetos animados e planos de fundo com efeito *parallax*, o que acaba caracterizando um mundo em constante movimento. Apesar de ser um jogo de

plataforma com uma experiência linear de correr da esquerda para a direita, o design das fases foi pensado de forma mais aberta, com cada estágio frequentemente apresentando vários caminhos para o objetivo final. Como o cronômetro do jogo contava para cima e não para baixo, os jogadores eram livres para cruzar o nível o mais rápido possível, como uma corrida, ou explorar meticulosamente todo o espaço do jogo, procurando as argolas de ouro ou *power-ups* [20].

O Street Fighter II, por sua vez, foi projetado pela Capcom como um jogo de luta que explorava os aspectos sociais do fliperama, ao fornecer uma nova forma de torneio competitivo com espectadores que os consoles caseiros não conseguiam reproduzir completamente, devido às suas limitações técnicas. Jogadores habilidosos se tornaram notáveis por sua capacidade de encadear combinações de ataques, o que poderia finalizar rapidamente um oponente desavisado [20].

Os dois jogos possuem características bem diferentes quanto à resolução e tamanho dos elementos gráficos presentes, que serão discutidas apropriadamente na Seção V deste trabalho.

A. Critérios de Análise

A fim de analisar devidamente os resultados do emprego da transferência de estilo por rede neural, foram estabelecidos os seguintes critérios de análise para comparar as características das obras originais com os respectivos jogos gerados:

- Harmonia cromática: definição da combinação de cores utilizada na obra original, para comparação em relação aos elementos (personagens e cenários) dos dois jogos empregados;
- Natureza dos elementos gráficos: características formadoras dos elementos gráficos (linhas retas, curvas, figuras geométricas, etc.) tanto da obra original quanto de personagens e cenários dos jogos trabalhados pelo algoritmo;
- Dimensões/proporções dos elementos gráficos: avaliação do tamanho dos elementos e possíveis subelementos gráficos formadores das figuras e suas respectivas proporções, considerando tanto a obra original, como um todo, quanto os personagens e os cenários dos respectivos jogos gerados;
- Contorno de elementos: especificação das características de possíveis contornos empregados nos elementos gráficos da obra original e dos jogos gerados, considerando cor, espessura e possíveis variações nas mesmas;
- Textura: avaliação da presença de algum tipo de textura visual na obra original e nos jogos, considerando sua granulometria e sua distribuição visual; ou, no caso oposto, o uso de cores chapadas, delimitando áreas bem definidas que estabelecem elementos gráficos sem qualquer tipo de gradação cromática em seu interior.

V. RESULTADOS

Considerando os critérios definidos na Seção IV, aqui são comparadas as características obtidas nos jogos resultantes em relação às respectivas obras que deram origem aos mesmos.

⁵<https://github.com/yusuketomoto/chainer-fast-neuralstyle>

⁶<https://github.com/clarkeadg/opensonic-js>

⁷<http://opensnc.sourceforge.net/home/index.php>

⁸<https://github.com/gamedev8/js-sfa>

A. Análise do Jogo Sonic

O jogo Sonic por ter um enfoque maior em sua velocidade, acaba destacando a importância do rápido deslocamento de seu cenário com bastante ênfase ao movimento e percepção espacial, características abordadas na (Seção II-A). O jogador precisa ter atenção aos elementos e desafios que o cenário proporciona além dos inimigos presentes.

De uma maneira geral, para o jogo Sonic, dada a baixa resolução e as pequenas dimensões dos *tiles* e dos *sprites*, nota-se que o algoritmo de transferência acaba geralmente causando um efeito de interpolação nos elementos gráficos. Interpolação de imagens digitais, neste caso, consiste em criar novos *pixels* a partir dos existentes. Ao ampliar a imagem os *pixels* aumentam de tamanho, assim como a distância entre eles. O computador preenche esses espaços criando *pixels* utilizando como referência os “*pixels* vizinhos”, contudo se isso for feito de forma errada resulta em distorção na imagem. Da mesma forma, quando diminui demais uma imagem a distância de seus *pixels* também diminui, o que faz com que eles se sobreponham causando um borrão na imagem. A seguir é realizada a análise da aplicação dos estilos das obras pelo algoritmo de transferência nos elementos gráficos desse jogo.

1) *Harmonia Cromática*: O efeito observado de interpolação geralmente combina as cores dos *pixels*, criando gradações cromáticas bem definidas (Fig. 4(a)). Sendo assim, por exemplo, nota-se facilmente que a harmonia cromática das obras originais é geralmente mantida.

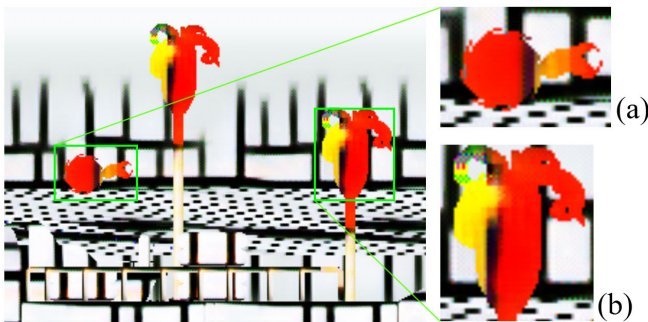


Fig. 4. Parte do jogo Sonic com uma obra Composição com Amarelo, Azul e Vermelho aplicada.

No entanto, devido à interpolação, há perda acentuada na harmonia cromática das obras originais em zonas mais diferenciadas, particularmente naquelas de alto contraste, como regiões com claros e escuros muito próximos, surgindo então diversos tons de cinza intermediários (Ex. Guernica e Concreção 5523). Porém, há algumas exceções, como no uso de Um Novo Dia, onde as grandes áreas com cores primárias chapadas acabam diminuindo o surgimento de tais tons intermediários, tornando as cores do jogo obtido um pouco mais fiéis em relação à obra original. O mesmo acontece também em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho, onde boa parte das cores originais (preto, branco, vermelho e amarelo) se tornam bastante perceptíveis, por exemplo, no cenário (Fig. 4(b)) e em alguns *sprites* dos personagens (Fig.

4(a)). Nota-se, no entanto, que o azul utilizado, por ter pequena participação visual na obra original, nesse caso praticamente não aparece no jogo.

E em obras com maior distribuição cromática, onde já há uma maior variedade de tons intermediários em áreas coloridas menos contrastantes ou presença de neutros, como em O Grito ou Noite Estrelada, a interpolação não apresenta grande distorções no resultado obtido nos jogos gerados.

Já no caso particular de A Grande Onda, é interessante notar, no entanto, que o algoritmo empregado acabou priorizando no cenário do jogo o uso dos beges em detrimento dos azuis, também presentes na obra. Esse mesmo tipo de anomalia na estratégia de aproveitamento das paletas cromáticas das obras originais pode ser notado, ainda, nos *sprites* de alguns personagens (Fig. 5(a)). Porém, provavelmente isso ocorre por uma questão realmente quantitativa, uma vez que os azuis estão realmente bem menos presentes na área total da obra que beges e branco, neutros.

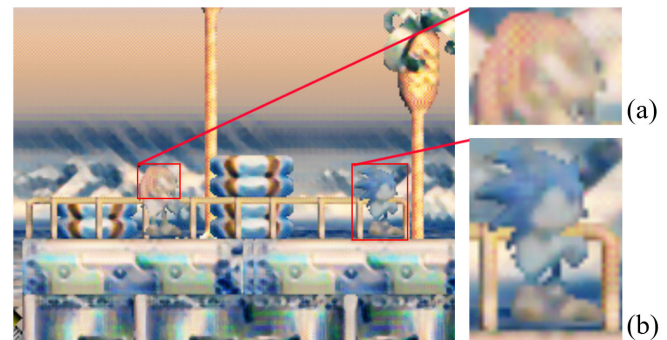


Fig. 5. Parte do jogo Sonic com a obra A Grande Onda aplicada.

2) *Formas dos Elementos*: Nota-se que a aplicação do algoritmo nos elementos do jogo Sonic, de uma forma geral, leva à desconsideração da natureza de linhas retas e curvas presentes nas obras originais. Assim, por exemplo, os longos feixes de linhas e as curvas em espirais da Noite Estrelada; ou as linhas retas da ponte que se opõem às curvas da figura e do cenário em O Grito são aglutinadas, criando figuras um tanto disforme.

Os resultados, no entanto, ainda respeitam as características dos *sprites* do jogo, principalmente em seus contornos (Fig. 5(b)). Isso ocorre principalmente devido ao fundo transparente empregado nos respectivos *sprites*, fazendo com que prevaleça sua silhueta em relação ao cenário, caracterizando uma típica segregação figura-fundo.

Considerando individualmente os subelementos menores presentes nas obras originais, devido principalmente ao processo de interpolação e às pequenas dimensões e resoluções dos elementos (*tiles* e *sprites*) do jogo, nota-se a ausência de subelementos. Assim, por exemplo, não é mais possível observar os pequenos círculos ou curvas que definiam olhos, unhas e orelhas em Guernica; ou boca, olhos e narinas em O Grito ou as curvas características presentes nas cristas e os pontos claros da espuma em A Grande Onda.

Já considerando elementos maiores das obras originais, ainda é possível percebê-los em determinados subelementos dos jogos gerados, como, por exemplo na Fig. 6, quando Um Novo Dia é aplicado, podendo-se notar bastante a influência das grandes áreas chapadas coloridas da obra original. Isso acontece, inclusive, até mesmo em elementos muito pequenos como aqueles mostrados na Fig. 6(a).

Da mesma forma, essa constatação fica bastante patente ainda em Concreção 5523, onde ocorre a preservação das barras horizontais da obra. Note-se que, nesse caso, estranhamente as barras verticais da obra foram simplesmente desconsideradas, o que sugere uma análise mais profunda de tal comportamento do algoritmo em outro momento, em um possível trabalho futuro mais específico. Além disso, pelas barras horizontais na obra serem bastante próximas, a interpolação proporcionada pelo algoritmo acaba muitas vezes suavizando-as. Isso faz com que o contorno dos personagens em relação ao cenário frequentemente acabe sugerindo curvas (Fig. 7(a)). Curiosamente, tal processo é semelhante ao proposto pelo próprio artista ao contrapor linhas horizontais e verticais na diagonal principal da obra (Fig. 4(f)), onde explora a oposição visual entre positivo e negativo.

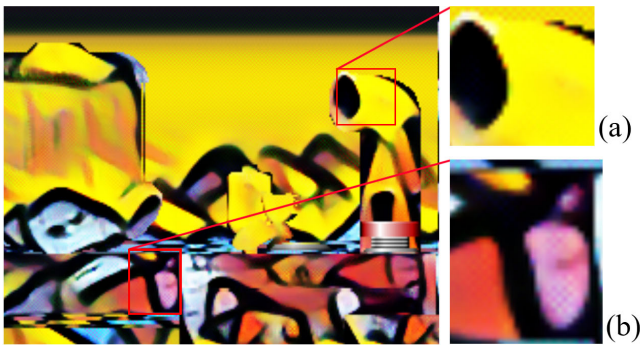


Fig. 6. Parte do jogo Sonic com uma obra Um Novo Dia aplicada.

3) *Contornos dos Elementos*: Em geral, o emprego do algoritmo e as pequenas dimensões e a baixa resolução dos elementos do jogo acabaram desconsiderando os contornos presentes em algumas obras. Assim, por exemplo, as finas bordas presentes em algumas regiões de A Grande Onda ou Guernica simplesmente diluíram-se nos jogos resultantes, tornando-se praticamente imperceptíveis na maioria dos casos.

No entanto, quando as bordas da obra não são tão estreitas, os contornos acabam sendo considerados de alguma forma. Assim, a grade preto-branco destacada de Composição com Amarelo, Azul e Vermelho é perceptível em diversas regiões do cenário resultante (Fig. 4). Além disso, ainda que também seja bastante perceptível o surgimento de cinzas intermediários, conforme já discutido, a espessura constante das linhas formadoras da grade foi mantida em boa parte. Vale salientar, porém, que tal grade, originalmente ortogonal, ganhou certas curvaturas em suas junções, mais uma vez muito provavelmente devido ao processo de interpolação (Fig. 4).

Do mesmo modo, as bordas escuras pronunciadas de Um

Novo Dia foram geralmente mantidas, inclusive respeitando suas gradações de espessuras (Fig. 6(b)).

4) *Texturas*: Devido à interpolação proporcionada pelo algoritmo, em geral acabam sendo descartadas as características de possíveis texturas presentes nas obras originais. Assim, as texturas destacadas em algumas regiões de Guernica e as pinceladas coloridas de A Noite Estrelada foram substituídas por simples difusões de *pixels* ou, no máximo, algumas gradações cromáticas.

Por sua vez, os granulados visíveis nas porções em tons de bege em A Grande Onda são bastante perceptíveis no jogo. Porém, não se nota a textura das regiões azuis claras, menores na obra. Percebe-se novamente que o tamanho do elemento, no caso as regiões texturizadas, em relação à obra original influenciou no respectivo resultado do jogo gerado.

Mas, adotando uma outra visão, mais ampla, se o padrão de grade empregado por Composição com Amarelo, Azul e Vermelho for encarado como uma grande textura, a mesma foi prontamente aplicada (Fig. 4). E, da mesma forma, no Um Novo Dia, apesar do emprego de cores chapadas, porções da própria obra acabaram sendo empregadas como texturas no jogo (Fig. 6).

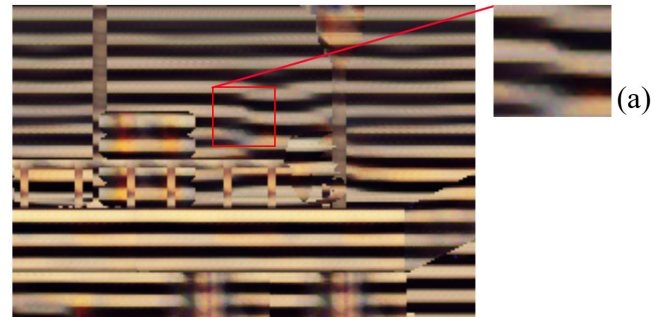


Fig. 7. Parte do jogo Sonic com uma obra Concreção 5523 aplicada.

Já no caso particular de O Grito, a própria obra acabou se tornando uma espécie de textura, que curiosamente lembra giz de cera. Provavelmente isso se deu devido às pequenas dimensões da imagem utilizada no treinamento do algoritmo (Tabela I), o que acabou contribuindo para tal ocorrência.

B. Análise do Jogo Street Fighter Alpha

Diferente do Sonic, que é um jogo de plataforma, o Street Fighter é um jogo de luta e possui um destaque diferenciado para os seus personagens. Desta forma, eles são apresentados com uma escala maior e com mais destaque em relação à tela. O deslocamento lateral do cenário é muito menor, sendo quase estático e com poucos elementos animados ao fundo. Por ser um jogo de luta competitivo, toda a atenção é voltada aos movimentos e golpes dos dois personagens principais reduzindo qualquer interferência visual do seu entorno. Como o jogo oferece uma variedade de seleção de personagens, existe uma grande preocupação com contraste de cores na relação figura x fundo, como também entre os dois personagens simultâneos na tela. Considerando que cada jogador pode escolher até

o mesmo personagem, é fundamental que a diferenciação de cores entre eles seja bastante evidente a ponto de evitar qualquer confusão e saber, a todo momento, quem é o lutador controlado por cada um.

Com relação ao jogo Street Fighter Alpha, dadas as maiores dimensões e resoluções dos elementos gráficos utilizados, pode-se perceber uma melhor aplicação das características presentes nas obras originais. Isso decorre principalmente da consideração dos elementos gráficos como um todo, incluindo suas características básicas, em particular áreas com cores chapadas ou com baixas gradações, contornos bem definidos e texturas com granulometria e distribuição bem estabelecidas.

Sendo assim, a seguir é realizada a análise da aplicação dos estilos das obras pelo algoritmo de transferência nos elementos gráficos do jogo Street Fighter Alpha, de acordo com os critérios anteriormente estabelecidos na Seção IV.



Fig. 8. Parte do jogo Street Fighter Alpha com a obra Guernica aplicada.

1) *Harmonia Cromática*: Por, ao contrário do Sonic, o jogo Street Fighter Alpha apresentar elementos gráficos com relativas grandes dimensões e resoluções mais altas, nota-se a manutenção geral da harmonia cromática presente nas obras originais. Sendo assim, o monocromático de Guernica é mantido nesse jogo, incluindo até a presença dos altos contrastes e destacados da obra (Fig. 8). E o mesmo ocorre em Um Novo Dia, com uma replicação bastante evidente das cores da obra original (Fig. 9).

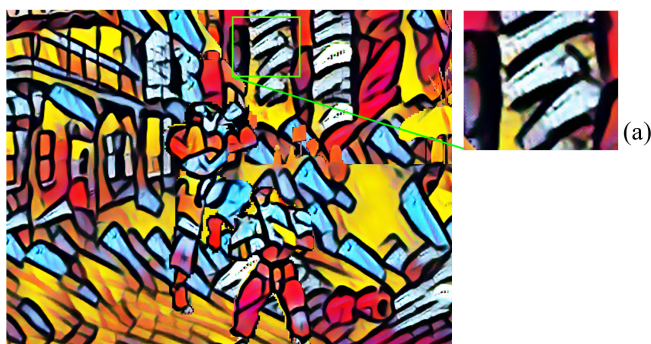


Fig. 9. Parte do jogo Street Fighter Alpha com uma obra Um Novo Dia aplicada.

No entanto, o fenômeno de interpolação ainda acaba influenciando em algumas transferências como, por exemplo, no surgimento de laranjas e verdes em Composição com Amarelo,

Azul e Vermelho ou magentas em O Grito (Fig. 10(a)). E, da mesma forma, certos elementos em particular padecem dessa distorção cromática, como é o caso do rádio alaranjado/avermelhado no cenário referente a A Grande Onda, por exemplo.

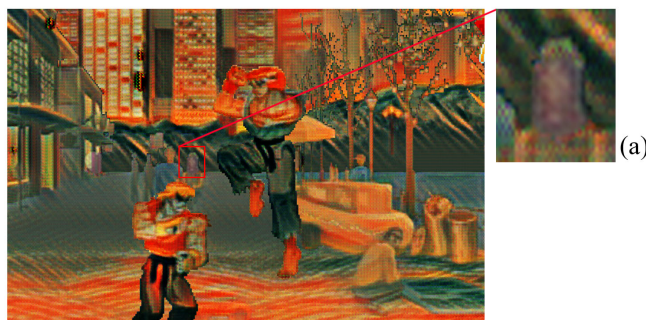


Fig. 10. Parte do jogo Street Fighter Alpha com a obra O Grito aplicada.

Percebe-se, porém, que tal efeito de interpolação é bem mais brando quando comparado aos resultados obtidos no jogo Sonic.

Vale ressaltar, no entanto, que os personagens algumas vezes preservam as cores originais de determinadas partes do corpo, independentemente do estilo da obra considerada. Isso ocorre, por exemplo, com o vermelho intenso dos punhos de Ryu, mesmo empregando as obras Noite Estrelada, O Grito e A Grande Onda, que originalmente sequer apresentam tal tonalidade.



Fig. 11. Parte do jogo Street Fighter Alpha com uma obra Composição com Amarelo, Azul e Vermelho aplicada.

2) *Formas dos Elementos*: Já com relação à forma dos elementos, os resultados obtidos foram bastante variados. Assim, nota-se inicialmente a manutenção da natureza geral das formas presentes em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho e em Um Novo Dia, com uma impressionante correspondência nesse último. E na transferência para o jogo de ambas as obras se observou a replicação de elementos originais, porém com diferentes interpretações de suas dimensões: surgiram retângulos horizontais e verticais dos mais diversos tamanhos com o emprego de Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig. 11); porém, com Um Novo Dia, os elementos com menores dimensões no jogo (janelas dos prédios e pedras do chão, por exemplo) praticamente desapareceram, sendo

absorvidos por elementos curvilíneos maiores (Fig. 9(a)), estes por sua vez bastante característicos da obra original.

Por outro lado, observaram-se grandes discrepâncias, por exemplo, obtidas com a aplicação em Guernica, como a perda dos subelementos (particularmente as linhas finas interiores e em alguns contornos) e o surgimento de áreas com bordas retas nos personagens do jogo, Fig. 8(a). E, em O Grito, houve no respectivo jogo gerado pouca presença dos feixes de curvas e retas, tão característicos nessa obra.

A Onda levou ao mesmo efeito de surgimento de linhas retas, presente na aplicação de Guernica nos personagens, mas agora mais pronunciado no chão do cenário do jogo (Fig. 12(a)) e à geração de subelementos com naturezas bastante distintas em outras partes do cenário, como nos prédios, por exemplo (Fig. 12(b)), características essas não encontradas na obra original.

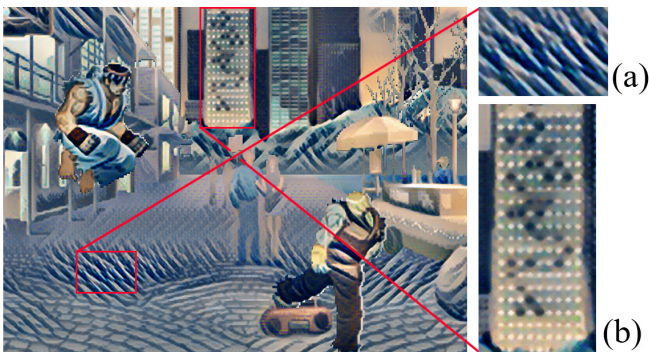


Fig. 12. Parte do jogo Street Fighter Alpha com a obra A Grande Onda aplicada.

Por sua vez, em um resultado híbrido, a aplicação do estilo de Concreção 5523 preservou linhas horizontais, incluindo suas espessuras e dimensões, mas também fez surgir formas um tanto granuladas e pontilhadas, principalmente na região do carrinho de vendas e na planta logo ao seu lado, no cenário do jogo (Fig. 13(a)). Vale destacar que, mais uma vez, as linhas verticais da obra foram desconsideradas pelo algoritmo, exatamente como aconteceu também com o jogo Sonic.

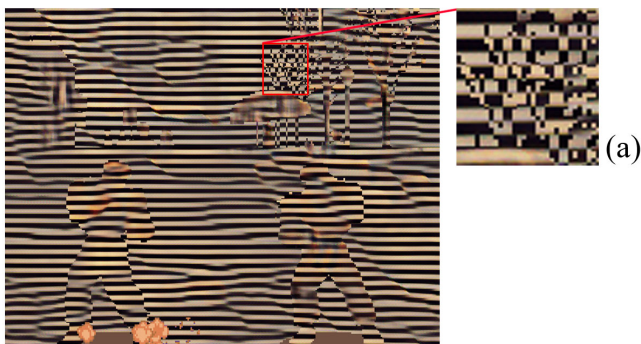


Fig. 13. Parte do jogo Street Fighter Alpha com uma obra de Concreção 5523 aplicada.

É interessante questionar o porquê de tais comportamentos tão distintos na transferência das características dessas obras,

uma vez que os mesmos elementos gráficos dos jogos gerados apresentaram respostas tão diversas.

3) *Contornos dos Elementos*: De um modo geral, o emprego do algoritmo de transferência de estilo respeitou a presença, preservando as respectivas características, ou ausência de contornos das obras utilizadas. Assim, os resultados obtidos em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho, Um Novo Dia e Concreção 5523 (nesse caso, considerando as barras da obra como sendo bordas) foram bastante coerentes, inclusive preservando cores e gradações de espessuras, quando existentes.

As exceções foram Guernica e A Grande Onda, cujos jogos não exibiram as finas bordas presentes em algumas regiões das obras. Mesmo assim, os resultados obtidos foram coerentes, uma vez que essas bordas finas não eram preponderantes em relação ao modelo construtivo das obras como um todo. Do mesmo modo, em uma análise mais atenta, os poucos casos de retângulos sem bordas presentes em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho também não foram replicados nos jogos gerados.

4) *Texturas*: Boa parte das texturas das obras originais não foi observada nas versões geradas de Street Fighter Alpha. Assim, as texturas presentes em Guernica, a Noite Estrelada e A Grande Onda não contribuíram na geração dos elementos gráficos dos jogos.

Já a ausência de texturas em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho, o Grito e Um Novo Dia foi preservada. E com relação especificamente a Concreção 5523, as barras horizontais foram preservadas, mas pode-se notar suavizações acentuadas em determinadas regiões no respectivo jogo gerado (Fig. 13).

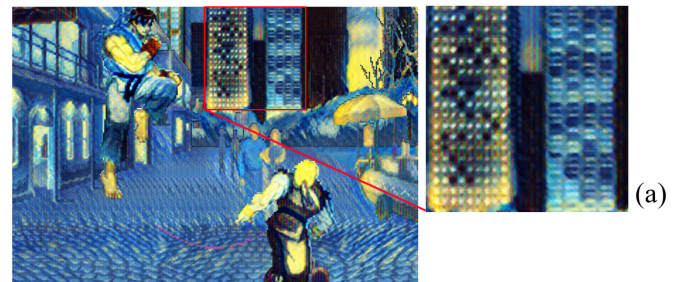


Fig. 14. Parte do jogo Street Fighter Alpha com a obra A Noite Estrelada aplicada.

Em particular, devem ser observados dois fenômenos específicos. O primeiro diz respeito ao bom resultado visual obtido em geral na aplicação de Noite Estrelada, principalmente em detalhes como as janelas dos prédios do cenário (Fig. 14(a)). E o segundo fenômeno se refere ao comportamento já observado no emprego do jogo Sonic, onde, em casos bem específicos, parte da própria obra acaba se tornando uma textura. No caso do jogo Street Fighter Alpha, isso fica bem patente nas transferências de Composição com Amarelo, Azul e Vermelho e de Um Novo Dia.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de transferência de estilo, apresentados no artigo, exploram o uso de obras de arte para a customização de elementos de jogos digitais bidimensionais. A motivação do projeto está no potencial que a técnica pode trazer, tanto em relação aos conceitos de arte quanto aos de tecnologia, trabalhando de forma integrada em uma sinergia maior do que a simples soma de suas partes.

Do aspecto técnico é possível apontar que as imagens animadas podem gerar resultados inconsistentes quando trabalhada em cada quadro individualmente tendo como solução encontrada empregá-las em tempo real. Além disso, tendo em vista o alto desempenho, foram descartados elementos do modelo de definição de estilo que não podiam ser processados de forma eficiente em GPU.

A análise dos experimentos apresentados leva a discussões e reflexões não abordadas neste artigo, tais como os resultados inesperados alcançados pela máquina, que poderiam ser considerados estilos digitais criados através das consideradas “falhas”. Neste caso, trabalhos futuros poderiam analisar tais resultados que não foram criados pelo homem ou pela máquina de forma isolada, mas através de seus esforços combinados.

E ainda do ponto de vista artístico, as análises realizadas não contemplam a discussão se os resultados obtidos podem ser considerados ou não como obras de arte. Como não foi esse o foco deste artigo, tal discussão também é apontada como uma possibilidade de trabalho futuro.

Por fim, tanto os resultados apresentados quanto a própria pesquisa, ainda em andamento, se propõem a mostrar o potencial da transferência de estilo como um importante recurso que pode integrar diferentes áreas, tais como a arte e a computação, aplicadas de forma integrada em jogos digitais.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho - CENAPAD/UFC pelos recursos computacionais disponibilizados e à Secult-Arte/UFC pela Bolsa Arte 2020.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Schell, *Arte de game design: o livro original*. Crc Press, 2010.
- [2] C. Melissinos and P. O'Rourke, *The art of video games: From Pac-Man to mass effect*. Welcome Books New York, NY, 2012.
- [3] K. Salen, K. S. Tekinbaş, and E. Zimmerman, *Rules of play: Game design fundamentals*. MIT press, 2004.
- [4] D. A. Dondis and J. L. Camargo, *Sintaxe da linguagem visual*. Martins fontes São Paulo, 1997.
- [5] A. Hurlburt, *Layout: o design da página impressa*. NBL Editora, 1986.
- [6] E. Lupton and J. C. Phillips, *Graphic design: The new basics*. Princeton Architectural Press, 2008.
- [7] T. Sylvester, *Designing games: A guide to engineering experiences*. "O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [8] L. A. Gatys, A. S. Ecker, and M. Bethge, "Image style transfer using convolutional neural networks," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 2414–2423, 2016.
- [9] A. A. Efros and W. T. Freeman, "Image quilting for texture synthesis and transfer," in *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 341–346, 2001.
- [10] Y. Li, N. Wang, J. Liu, and X. Hou, "Demystifying neural style transfer," in *International Joint Conference on Artificial Intelligence - IJCAI*, pp. 2230–2236, 2017.

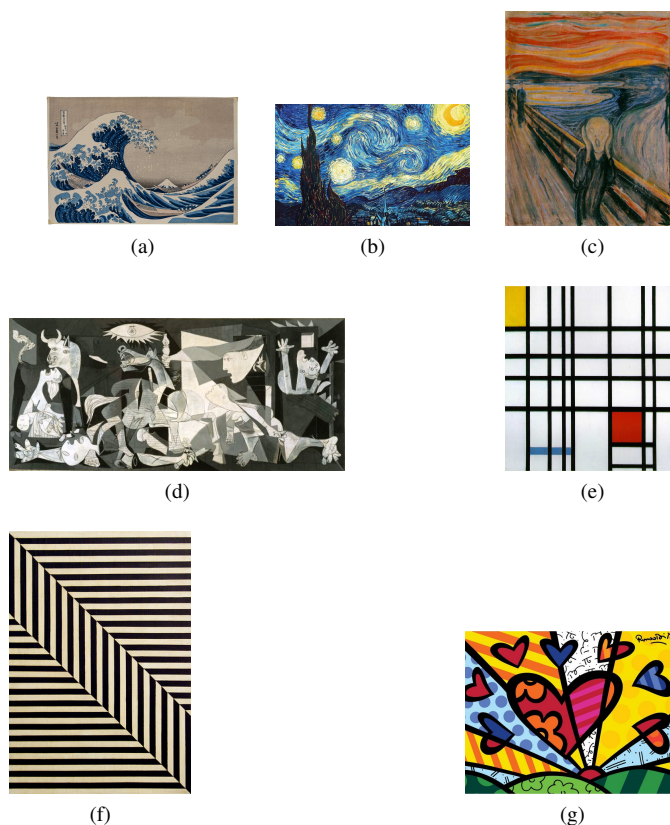


Fig. 15. Obras utilizadas na experimentação: (a) A Grande Onda de Kanagawa (Katsushika Hokusai, 1831); (b) A Noite Estrelada (Vincent van Gogh, 1889); (c) O Grito (Edvard Munch, 1893); (d) Guernica (Pablo Picasso, 1937); (e) Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Piet Mondrian, 1942); (f) Concreção 5523 (Luiz Sacilotto, 1955); e (g) Um Novo Dia (Romero Britto, 2012) .

- [11] R. C. Gonzalez and R. C. Woods, *Processamento digital de imagens*. Pearson Educación, 2009.
- [12] Y. Li, M.-Y. Liu, X. Li, M.-H. Yang, and J. Kautz, "A closed-form solution to photorealistic image stylization," in *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp. 453–468, 2018.
- [13] Y. Li, C. Fang, J. Yang, Z. Wang, X. Lu, and M.-H. Yang, "Universal style transfer via feature transforms," in *Advances in neural information processing systems*, pp. 386–396, 2017.
- [14] H. Huang, H. Wang, W. Luo, L. Ma, W. Jiang, X. Zhu, Z. Li, and W. Liu, "Real-time neural style transfer for videos," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 783–791, 2017.
- [15] G. Ghiasi, H. Lee, M. Kudlur, V. Dumoulin, and J. Shlens, "Exploring the structure of a real-time, arbitrary neural artistic stylization network," *arXiv preprint arXiv:1705.06830*, 2017.
- [16] M. Ruder, A. Dosovitskiy, and T. Brox, "Artistic style transfer for videos," in *German Conference on Pattern Recognition*, pp. 26–36, Springer, 2016.
- [17] Y. R. Serpa and M. A. F. Rodrigues, "Towards machine-learning assisted asset generation for games: A study on pixel art sprite sheets," in *2019 18th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames)*, pp. 182–191, IEEE, 2019.
- [18] J. Johnson, A. Alahi, and L. Fei-Fei, "Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution," in *European conference on computer vision*, pp. 694–711, Springer, 2016.
- [19] T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, and C. L. Zitnick, "Microsoft coco: Common objects in context," in *European conference on computer vision*, pp. 740–755, Springer, 2014.
- [20] A. Williams, *History of digital games: Developments in art, design and interaction*. CRC Press, 2017.