

Transferência Neural de Estilo: homem e máquina criando o inesperado

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

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

George Allan Menezes Gomes
Instituto Universidade Virtual
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza, Brasil
george@virtual.ufc.br

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

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

Resumo—O presente trabalho demonstra o uso de um algoritmo de transferência neural de características de sete obras de arte diferentes, cujos estilos foram aplicados a dois produtos interativos (um jogo digital e um aplicativo educacional) que empregam elementos tridimensionais. Apesar de muitos dos atributos visuais terem sido preservados no processo de transferência, a análise dos resultados demonstrou que parte das construções gráficas obtidas poderia até ser classificada individualmente como estilos digitais próprios, criados através das consideradas “falhas” do algoritmo utilizado. Assim, vislumbra-se algo um tanto surpreendente: homem e máquina trabalhando de forma integrada em uma sinergia maior do que a simples soma de suas atividades específicas.

Palavras-chave—transferência neural de estilo, redes neurais, experimentação, algoritmo, falha.

I. INTRODUÇÃO

O emprego de algoritmos computacionais para a geração de peças gráficas pode trazer resultados surpreendentes [1], muitas vezes tornando-se algo maior que a simples soma das atividades de seus envolvidos: homem e máquina. Dentre esses recursos, a transferência neural de estilos [2] pode se mostrar como uma interessante possibilidade. Em particular, apesar de algoritmos parecerem distantes dos estudos do Design, pode-se entender tais recursos, originalmente advindos da Computação, como uma base que, em última instância, expande possibilidades de trabalho [3]. E, tal como ocorre na experimentação com outras tecnologias, a utilização de tais algoritmos pode compor um *pipeline* para a criação de artefatos visuais, em especial possibilitando novos mecanismos de criatividade [4].

Assim, com base no impacto de algoritmos de transferência neural de estilos, [5] particularmente estuda a transposição das características individuais de determinadas obras de arte na customização de elementos visuais em jogos digitais bidimensionais (2D). Então, estendendo tal ideia, e não se restringindo mais aos jogos 2D, o presente artigo se propõe a demonstrar o emprego de um algoritmo de transferência

neural de estilos de obras de arte para dois produtos interativos, um jogo digital e uma ferramenta educacional, ambos empregando elementos tridimensionais (3D). Busca-se, assim, refletir sobre as representações gráficas que tais procedimentos podem apontar como possibilidades criativas, incluindo não só os comportamentos previstos, como a transferência correta dos estilos, mas também o aproveitamento do “erro” e do inesperado.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

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

A. Elementos visuais

Os elementos básicos de construção no design gráfico são: ponto, linha e plano. A partir deles, imagens, ícones, texturas, padrões, diagramas, animações e sistemas tipográficos podem ser devidamente estabelecidos [6]. Apesar de seu uso individual parecer uma simplificação do processo criativo, ao serem analisadas como forças dinâmicas, esses elementos apontam o seu papel estimulante e requintado no contexto da realização visual [7]. Então, sempre que algo é projetado e feito, esboçado, pintado, desenhado, rabiscado, construído, esculpido ou gesticulado, a substância visual da obra é composta a partir de tais elementos visuais [8]. A matéria-prima de toda informação visual é, então, a força que determina quais bases gráficas estão presentes, e com qual ênfase essa presença ocorre.

O contraste visual, por exemplo, é um efeito bastante amplo, podendo englobar valores como claro/escuro, amplo/estrito, características subjetivas como o humor ou o drama, ou o espaço acentuado por componentes fortes, que contribui para a expressiva apresentação de um determinado material gráfico. Nas imagens coloridas, o contraste se verifica entre as cores neutras e as de alta intensidade, entre as cores frias e quentes, e na justaposição deliberada das cores complementares, aquelas

que se encontram opostas no círculo cromático. Outra forma particular 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 esses tamanhos destaca ainda mais a escala empregada, seja ao acentuar a percepção da imagem grande ou pela impressão de reduzir a pequena. Por fim, há ainda o contraste das relações entre formas e intensidades: curvas e retas, horizontais e verticais, côncavas e convexas. Esse tipo de contraste influencia a percepção do espaço, fazendo-o parecer mais alto ou mais largo, por exemplo. Por fim, as variações em ângulos e formatos podem produzir ilusões de profundidade ou dimensões ou até mesmo de impulso e movimento [7].

Já elementos como as texturas adicionam detalhes, fornecendo, ou insinuando, a informação tátil ou visual em uma dada superfície gráfica. Elas são utilizadas para estabelecer um clima, reforçar um ponto de vista ou até transmitir sensações de presença física. Seu diferencial reside em sua justaposição ou contraste: espinhosa/macia, pegajosa/seca, difusa/lisa e assim por diante. Ao colocar uma textura em relação à sua oposta, o criador pode amplificar as propriedades formais únicas de cada uma [6].

Contudo, o simples emprego de elementos gráficos pode bombardear as pessoas com uma infinidade de informações visuais, a tal ponto que muitas delas se tornem confusas e sem significado. Neste caso, são necessários elementos de controle. Assim, a hierarquia visual considera a ordem de importância expressa por meio de variações dos elementos como escala, valor, cor, espaçamento e posicionamento, entre outros, tornando-se responsável pelo impacto de uma mensagem visual final [9].

Desta forma, a análise do conteúdo gráfico deve envolver um complexo processo de estudo e avaliação de múltiplos elementos, antes de se concentrar no estilo e na forma. Sendo assim, o correto balanceamento de informações visuais exige um conhecimento maior e um envolvimento mais profundo com o planejamento e com a solução dos problemas de comunicação como um todo [7].

Por fim, é importante considerar ainda que as mensagens visuais podem ser expressas e recebidas em três níveis distintos: 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 básicos e elementares, enfatizando os meios mais diretos, emocionais ou mesmo primitivos da criação de mensagens; e o simbólico, representado pela vasta gama de sistemas de símbolos codificados que o homem criou e ao qual acabou atribuindo significados [8].

B. Transferência neural de estilo

Estilo visual pode ser definido como o conjunto das qualidades de expressão características de um determinado autor na execução de um trabalho, sendo uma mistura de experiências acumuladas, do gosto pessoal e do talento do criador [7].

Assim, transferência neural de estilo é a aplicação de redes neurais artificiais à questão de manipulação de imagens digi-

tais, extraíndo o estilo de uma ou mais imagens (o treinamento da rede neural), e a aplicação de tais elementos a um novo conjunto de imagens (a transferência propriamente dita).

Porém, nesse contexto restrito, “estilo” se torna especificamente a coleção de características de formas, texturas e cores presentes nas imagens-fonte, extraída através de ciclos de processamento. Com esses elementos capturados pela rede neural, passa-se à transformação de uma imagem-alvo, que tem suas formas, texturas e cores então modificadas automaticamente através do algoritmo [10].

Um dos modos mais simples para tal transformação é a aplicação da interpolação [11], um processo de alteração gráfica onde os valores dos pixels são modificados de acordo com as cores presentes em suas vizinhanças, seguindo regras pré-estabelecidas – no caso particular, estabelecidas pela própria rede neural, assim ocorrendo a transferência de estilo.

Desta forma, em resumo, têm-se desenvolvido técnicas partindo da avaliação automática de imagens digitais [12], expandindo-as com modelos de redes neurais [2] e aplicando os resultados para obter novas criações visuais.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Vários trabalhos sobre a transferência de estilos em imagens usando redes neurais já podem ser encontrados na literatura. No entanto, considerando o contexto de aplicações de características de obras artísticas em ambientes tridimensionais, esse ainda é um problema que ainda precisa ser mais explorado. Assim, em tal contexto bem específico, alguns trabalhos merecem ser destacados.

A empresa NVIDIA¹ desenvolveu a ferramenta Ansel² para permitir que, em jogos digitais, os participantes possam posicionar uma câmera no espaço tridimensional de uma determinada cena e capturar imagens com diferentes recursos fotográficos, como reenquadramento, mudança de foco e emprego de filtros. Dentre esses filtros, um dos diferenciais é a transferência de estilo através do algoritmo FastPhotoStyle [13], voltado para obter resultados fotorealistas. Esse algoritmo, que se baseia em [2], realiza duas etapas bem definidas durante a transferência de características: a estilização e a suavização. Na etapa de estilização, o estilo de uma imagem de referência (incluindo obras de arte) é transferido para a imagem capturada no jogo. Já a etapa de suavização garante que as estilizações sejam espacialmente consistentes [13]; ou seja, nessa segunda etapa são realizadas as retiradas dos chamados *artefatos*, como falhas na composição de cores em certas regiões da imagem ou o aparecimento de formas não desejadas, e outros possíveis problemas visuais são corrigidos. No geral, os resultados obtidos com esse algoritmo são interessantes, não só pela alta fidelidade geralmente obtida, mas particularmente pela popularização do uso da técnica de transferência de estilo entre os jogadores.

Um outro trabalho relevante foi desenvolvido pela empresa Google LLC³ ao aplicar a transferência de estilo diretamente

¹<https://www.nvidia.com/>

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

³<https://www.google.com>



Fig. 1. Obras utilizadas na experimentação: (A) A Noite Estrelada; (B) Concreção 5523; (C) Composição com Amarelo, Azul e Vermelho; (D) O Grito; (E) A Grande Onda de Kanagawa; (F) Um Novo Dia; e (G) Guernica.

em uma partida em execução, diferente de outros trabalhos, como o citado anteriormente, que realizam a transferência em apenas uma imagem advinda de uma cena de jogo pausado. Tal trabalho, que também inclui a extração de características de obras de arte, prossegue atualmente na mesma linha, porém de forma ainda mais ampla, buscando implementar um modelo de customização rápida de texturas para jogos 3D no serviço online Google Stadia⁴.

No entanto, apesar dos resultados expressivos já obtidos pelos trabalhos anteriores, talvez devido ao caráter mais comercial dos mesmos, foram tecidas poucas considerações mais profundas acerca de como as características individuais das obras de arte utilizadas influenciaram na obtenção de elementos dos respectivos resultados visuais. Sendo assim, explorar tais considerações são particularmente o objetivo do presente trabalho, mas que busca também ir além da seara dos jogos digitais.

IV. EXPERIMENTO

A experimentação proposta neste trabalho objetivou a análise minuciosa, sob critérios bem estabelecidos, das características das obras originais utilizadas no processo de transferência neural de estilo para texturas de modelos tridimensionais e seus respectivos resultados. Em particular, visou-se identificar também os resultados destoantes, com efeitos gráficos não previstos, mas que, além de levantar questionamentos, pudessem levar a possíveis usos em contextos diferenciados, baseados na possível futura apropriação de tais “falhas”. Assim, para iniciar, foi definida a utilização da implementação em Python⁵ do modelo proposto em [14],

⁴<https://stadia.google.com>

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

comparando as características das obras originais com as obtidas nas imagens produzidas. A seguir são apresentadas as etapas do experimento realizado.

A. Etapa 1: Seleção de pinturas

Inicialmente foram selecionadas sete obras de arte diferentes para trabalho (Fig. 1) e, para fins de experimentação, intencionalmente empregadas suas imagens em diferentes dimensões (Tabela I. As obras selecionadas apresentavam características gráficas bastante distintas, a fim de verificar suas correspondências e possíveis anomalias no processo geral de transferência neural de estilo.

B. Etapa 2: Seleção de produtos interativos

Para a aplicação do processo de transferência neural de estilo em modelos tridimensionais, foram selecionados dois produtos interativos, escolhidos devido às suas diferenças de uso e ao fácil acesso às imagens que os compunham. A seguir são apresentados brevemente os dois produtos selecionados.

1) *Extreme Tux Racer*: O primeiro produto foi o jogo digital gratuito *Extreme Tux Racer*⁶, que emprega texturas multicoloridas, com dimensões variando de 256 x 256 a 512 x 512 pixels, para o estabelecimento de seu ambiente interativo. No jogo, essas texturas são aplicadas em diversas superfícies do mundo tridimensional, incluindo chão, morros e fundo (Figs. de 2 a 8). Tais superfícies podem ser planas ou apresentar formas mais complexas, baseadas em malhas tridimensionais⁷ que definem volumes no espaço virtual. Além disso, também fazem parte do ambiente do jogo alguns elementos específicos, tais como bandeiras, peixes e árvores.

⁶<https://sourceforge.net/projects/extremetuxracer>

⁷conjuntos de polígonos simples, geralmente triangulares, interligados no espaço [15]

Tabela I
CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DAS OBRAS DE ARTE EMPREGADAS NO EXPERIMENTO.

| Obra | Autor/Data | Largura (em pixels) | Altura (em pixels) |
|---|-------------------------------|---------------------|--------------------|
| A Grande Onda de Kanagawa | Katsushika Hokusai, 1830-1831 | 1.488 | 1.000 |
| A Noite Estrelada | Vincent van Gogh, 1889 | 960 | 600 |
| Guernica | Pablo Picasso, 1937 | 840 | 380 |
| O Grito | Edvard Munch, 1893 | 260 | 320 |
| Composição com Amarelo, Azul e Vermelho | Piet Mondrian, 1937 | 700 | 738 |
| Concreção 5523 | Luiz Sacilotto, 1955 | 448 | 648 |
| Um Novo Dia | Romero Britto, 2001 | 1.000 | 752 |

Empregando uma variação da técnica de 3D *billboard* [16], esses elementos são imagens com fundos transparentes aplicadas a planos no interior do mundo tridimensional. Os pixels formadores da imagem aparecem diretamente nos planos, enquanto suas porções transparentes escondem as respectivas áreas do plano. Assim, apesar de sua natureza bidimensional, os elementos parecem pertencer ao ambiente, "flutuando" no espaço tridimensional.

2) *SM3D*: O segundo produto foi o SM3D, um aplicativo móvel criado empregando a plataforma Unity⁸ e disponível para o sistema Android através da Google Play⁹. Esse aplicativo foi desenvolvido pelos autores do presente trabalho com fins educacionais para o Programa de Promoção da Cultura Artística (PPCA) da Secretaria de Cultura Artística da Universidade Federal do Ceará. Nele, o usuário tem acesso a um ambiente virtual em várias versões, alteradas através da transferência neural de estilo de obras de arte famosas, em particular, as sete elencadas anteriormente. Empregando texturas que variam de 162 x 339 a 800 x 800 pixels, o ambiente virtual reproduzido no aplicativo apresenta uma estrutura simplificada do saguão do bloco didático do Curso de Bacharelado em Sistemas e Mídias Digitais da Universidade Federal do Ceará, contendo os seguintes elementos: guarita, parte de uma escada para andares superiores, imagem dos elevadores do prédio e um corredor que leva a salas de aula. Cada porta de tais salas, identificadas pelas obras de arte citadas, transporta o usuário novamente para a entrada do prédio, mas agora empregando o respectivo estilo visual da pintura utilizada nos diversos planos formadores dos elementos do espaço 3D utilizado (Figs. de 9 a 15). Assim, avaliando as alterações visuais no ambiente, o usuário pode perceber as características das obras de arte originais e analisar como pode se dar, de forma prática, a apropriação das mesmas. Intencionalmente, os dois produtos interativos apresentam características técnicas bastante distintas entre si, como pode ser percebido pelas descrições anteriores, tanto em relação a resoluções e tamanhos das imagens empregadas como texturas quanto pelo modo como elas são aplicadas aos elementos tridimensionais presentes.

C. Etapa 3: Transferência neural de estilo

Após a seleção dos produtos interativos, foi escolhido o modelo proposto por [14] como técnica de transferência neural

⁸<https://unity.com>

⁹<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Artemaiscomp.SM3D>

para o experimento, devido à sua facilidade de uso, podendo ser diretamente aplicado sem necessidade de modificações profundas. Foram utilizados os valores padrão de configuração do processo de treinamento da rede neural proposto pela implementação, com utilização da base de imagens MS Coco [17] e dois ciclos de treinamento. O processamento necessário demandou cerca de uma hora para cada arquivo de obra de arte utilizada, empregando-se um computador de mesa contendo uma placa gráfica NVIDIA 2080¹⁰, agilizando deveras o processamento das redes neurais treinadas. Depois, realizou-se a transferência nas diferentes texturas que compunham as cenas dos produtos selecionados. Nessa fase, utilizou-se um equipamento de uso doméstico para o processo, um Notebook Acer Aspire 5 A515-54G-56SB. Porém, dado o processamento já realizado, o tempo de aplicação propriamente dito levou, em média, somente três segundos por imagem, variando de acordo com suas respectivas quantidades de pixels. Dados os objetivos da experimentação, não foi realizado qualquer tipo de pós-processamento, como, por exemplo, o possível tratamento de anomalias ou a correção de artefatos ou interpolações inconsistentes. Feitas as transferências, os arquivos originais foram substituídos nos dois produtos digitais selecionados, então gerando as diferentes versões para avaliação.

D. Etapa 4: Avaliação

Considerando os elementos visuais (ponto, linha e plano) e seus usos (contraste, hierarquia visual, etc.), já definidos na Fundamentação Teórica deste trabalho, foram estabelecidos os seguintes critérios para análise visual: harmonia cromática, formas dos elementos, contornos dos elementos e texturas. Assim, com base nesses critérios, procedeu-se a avaliação dos componentes gráficos obtidos em todas as quatorze variações de ambientes tridimensionais, geradas com as sete obras de arte aplicadas aos dois produtos interativos. Mais uma vez, tal avaliação visou não somente comparar as características das obras originais com os respectivos ambientes tridimensionais gerados; mas também, principalmente, de acordo com o objetivo deste trabalho, destacar as diferenças encontradas, visando apontar futuramente possíveis empregos aos mesmos.

V. RESULTADOS

Considerando os critérios de análise estabelecidos anteriormente, a seguir são comparadas as características obtidas nos produtos interativos resultantes em relação às obras que

¹⁰<https://www.nvidia.com/pt-br/geforce/graphics-cards/rtx-2080-super>

deram origem aos mesmos, incluindo resultados diretos da transferência de estilo e possíveis inconsistências encontradas.

A. *Extreme Tux Racer*

Dada a transferência neural de estilo das obras de arte para o *Extreme Tux Racer*, as características técnicas do jogo levaram ao estabelecimento de diferentes soluções visuais, discutidas adiante.

1) *Harmonia Cromática*: De uma forma geral, foi observada a transposição direta da paleta de cores das obras originais para as texturas do jogo. No entanto, o emprego de *Guernica*, baseada principalmente em tons de preto e branco, levou ao surgimento de alguns tons intermediários de cinza (Fig. 8), provavelmente advindos do processo de interpolação. Assim, o grande contraste cromático presente nessa obra acabou sendo suavizado no visual na respectiva versão do jogo gerado. O emprego de outras obras, como *Concreção 5523* (Fig. 3) ou *A Grande Onda de Kanagawa* (Fig. 6), apresentaram comportamentos semelhantes, levando à geração de diversos tons intermediários nas texturas geradas e aplicadas aos modelos 3D.

Entretanto, mesmo obras que apresentam paletas mais diversificadas também fizeram surgir gradações, mas menos evidentes, porém, que nos casos citados anteriormente. Isso é mais notável em porções do ambiente que aplicam texturas em grandes áreas, como o chão e o fundo do jogo. Já em elementos menores, como as bandeiras e os peixes, há uma menor visualização desses tons intermediários.

De toda forma, de um modo geral, ocorreu a transposição praticamente integral das paletas de cores originais de todas as obras para suas respectivas versões do jogo. Tal transposição pode ser especialmente notada ao se observar os resultados obtidos, por exemplo, a partir de *Composição com Amarelo, Azul e Vermelho* (Fig. 4), *A Noite Estrelada* (Fig. 2) ou *Um Novo Dia* (Fig. 7).

No entanto, alguns fenômenos específicos relacionados a cor podem ser notados, ainda. Dentre eles o surgimento de algumas anomalias cromáticas como, por exemplo, a obtenção de leves amarelos, verdes e magentas no fundo do jogo gerado a partir de *Guernica* (Fig. 8-C); de leves tons de magenta empregando *A Noite Estrelada* (Fig. 2-B) e até verdes, cianos e magentas saturados com *Concreção 5523* (Fig. 3), a Grande

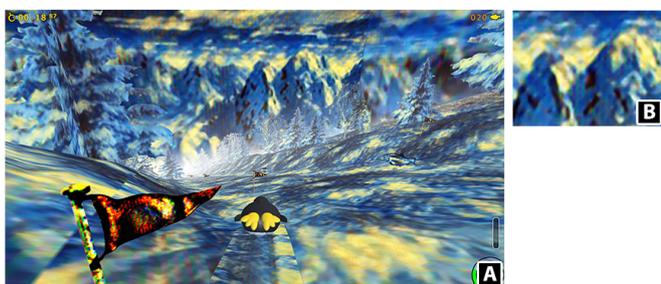


Fig. 2. Transferência neural de estilo da obra *A Noite Estrelada* para o jogo *Extreme Tux Racer* (A) e anomalia detectada (B).

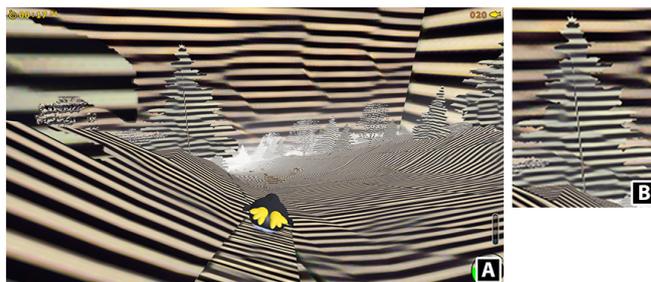


Fig. 3. Transferência neural de estilo da obra *Concreção 5523* para o jogo *Extreme Tux Racer* (A) e anomalia detectada (B).

Onda de Kanagawa (Fig. 6-B) ou *Composição com Amarelo, Azul e Vermelho* (Fig. 4-B). Deve-se salientar que tais cores não estavam originalmente presentes nas imagens utilizadas das obras. Além disso, vale destacar a concentração particular de tons quentes (especialmente vermelhos e laranjas) nas bandeiras da versão do jogo baseada em *O Grito* (Fig. 5-B).

2) *Formas dos Elementos*: No geral, as formas originalmente presentes nas obras não foram integralmente transferidas para as respectivas versões dos jogos gerados. Nos resultados, notam-se, por exemplo, a falta das finas linhas interiores de *Guernica* (Figs. 1-G e 8), a omissão de espirais e feixes de curvas em *A Noite Estrelada* (Figs. 1-A e 2) ou a perda de detalhes em *A Grande Onda de Kanagawa* (Figs. 1-E e 6). Além disso, em tais transferências específicas, percebe-se ainda uma grande diminuição do contraste geral entre os elementos gráficos originais. Tudo isso novamente se deve muito provavelmente aos efeitos da interpolação, já que essas obras apresentam poucas variações de cores.

Porém, alguns resultados mantiveram as principais características das obras empregadas. É o caso das retas e curvas tão presentes em *O Grito* (Figs. 1-D e 5) ou dos polígonos coloridos destacados e com diferentes dimensões em *Composição com Amarelo, Azul e Vermelho* (Figs. 1-C e 4) e em *Um Novo Dia* (Figs. 1-F e 7).

Já um caso intermediário ocorreu com o uso de *Concreção 5523* (Figs. 1-B e 3), pois suas linhas retas horizontais e inclinadas foram preservadas, porém ocorrendo a perda total



Fig. 4. Transferência neural de estilo da obra *Composição com Amarelo, Azul e Vermelho* para o jogo *Extreme Tux Racer* (A) e anomalia detectada (B).

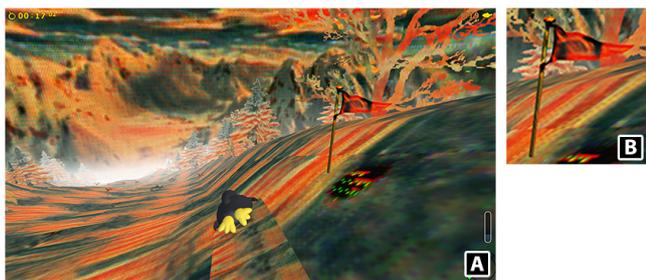


Fig. 5. Transferência neural de estilo da obra O Grito para o jogo Extreme Tux Racer (A) e anomalia detectada (B).



Fig. 7. Transferência neural de estilo da obra Um Novo Dia para o jogo Extreme Tux Racer (A) e anomalia detectada (B).

das verticais.

Em particular, ao considerar somente as árvores, baseadas em imagens com fundos transparentes, os recortes referentes aos pixels que não apresentam cores acabaram gerando diferentes efeitos nos resultados obtidos: de delicadas formações em Guernica (Fig. 8), A Noite Estrelada (Fig. 2) e O Grito (Fig. 5) ou suaves construções em A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 6) a “rasgos” em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig. 4); Um Novo Dia (Fig. 7) e Concreção 5523 (Fig. 3-B).

Já no caso das bandeiras e dos peixes, que também se baseiam em imagens transparentes, os efeitos obtidos foram mais coesos, preservando mais os formatos presentes nas obras originais. Assim, são bastante notórios os peixes obtidos com Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig. 4), Um Novo Dia (Fig. 7) e A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 6) ou as bandeiras de O Grito (Fig. 5-B) e de Concreção 5523 (Fig. 4). Nesses casos, o menor tamanho dos elementos gráficos (peixes e bandeiras) e o maior contraste entre suas cores na tela podem ter acabado influenciando diretamente em tal percepção de formas.

3) *Contornos dos Elementos*: Com relação especificamente à preservação dos contornos presentes nas obras utilizadas, nota-se que, de um modo geral, aquelas que apresentavam bordas mais contrastantes em cores e dimensões acabaram sendo transferidas para os elementos dos jogos gerados, como ocorreu em Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig.

4); Um Novo Dia (Fig. 7) e Concreção 5523 (Fig. 3).

Já em Guernica (Fig. 8), O Grito (Fig. 5), A Noite Estrelada (Fig. 2) e A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 6), por não apresentarem bordas destacadas ou as mesmas serem mais finas ou menos intensas visualmente, principalmente devido ao menor contraste entre as cores utilizadas originalmente, os contornos acabaram sendo praticamente omitidos nos jogos gerados.

É interessante informar que, no geral, as bordas que aparecem nos jogos obtidos, inclusive, respeitam as dimensões de cada elemento gráfico do ambiente. Assim, os contornos são geralmente mais grossos no chão e no fundo que aqueles visíveis nos peixes e nas árvores, por exemplo.

4) *Texturas*: Devido principalmente ao já citado processo de interpolação, algumas características gráficas das obras originais acabaram se dissipando nos jogos obtidos. Assim, por exemplo, Guernica (Fig. 8), A Noite Estrelada (Fig. 2) e A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 6) perderam muito de seus contrastes e, às vezes, em alguns elementos surgiram gradações até então inexistentes, deixando-os, em casos extremos, um tanto desfocados, particularmente nos fundos e nos chãos, que aparecem maiores na tela.

Já em obras que apresentam maiores contrastes visuais, como Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig. 4) e Concreção 5523 (Fig. 3), a interpolação causou menos efeitos. Com isso, as cores chapadas originais foram preservadas. Porém, novamente seguindo as dimensões dos elementos dos



Fig. 6. Transferência neural de estilo da obra A Grande Onda de Kanagawa para o jogo Extreme Tux Racer (A) e anomalia detectada (B).



Fig. 8. Transferência neural de estilo da obra Guernica para o jogo Extreme Tux Racer (A) e anomalias detectadas (B e C).

jogos, pode ter ocorrido o efeito de moiré¹¹ em áreas bem específicas, como ocorreu bastante pontualmente no fundo do jogo obtido com a Grande Onda de Kanagawa (Fig. 6) ou, de forma mais generalizada, com Um Novo Dia (Fig. 7-B).

Mas, um caso bastante notável de preservação da textura original, que merece ser mencionado, é o que houve no jogo elaborado com base em O Grito, que manteve, particularmente no chão, morros e fundo, uma textura que lembra o efeito obtido com giz de cera (Fig. 5-B), presente na imagem de relativas pequenas dimensões então empregada na transferência neural de estilo (Fig. 1-D).

B. SM3D

Conforme realizado na avaliação anterior, as diferentes soluções visuais resultantes da transferência neural de estilo para o aplicativo SM3D (Figs. de 9 a 15) são discutidas a seguir.

1) *Harmonia Cromática*: Assim como também aconteceu com o Extreme Tux Racer, as paletas de cores das obras originais foram transferidas sem grandes distorções, de maneira geral, para as texturas do aplicativo SM3D, conforme apresentado nas Figs. de 9 a 15. Algumas variações particulares, porém, merecem ser destacadas.

As texturas obtidas através da transferência de estilo de A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 13) apresentou tons mais quentes, puxando para o amarelo e laranja, que não se encontram presentes na obra original. Já para Guernica, que trabalha valores tonais evidenciados através dos contrastes presentes em cada uma das áreas do quadro, o estilo aplicado no ambiente virtual, no entanto, não trouxe o mesmo resultado, apresentando uma escala gradual que acabou suavizando de veras as transições, alterando a síntese do preto e branco para tons de cinza (Fig. 15). E a transferência de estilo que utilizou O Grito, por sua vez, obteve como resultado um tom vermelho alaranjado bastante predominante no ambiente, chegando a comprometer a cor azul que acabou se tornando um cinza esverdeado (Fig. 12).

Já na transferência da obra Composição com Amarelo, Azul e Vermelho, apesar de ser apenas em algumas áreas, foi possível identificar manchas cinzas e áreas esverdeadas pela forma como o estilo foi aplicado às texturas do aplicativo (Fig. 11-B). Apenas o amarelo e o vermelho estiveram presentes,

¹¹ surgimento de padrões gráficos bem definidos devido a distorções visuais [18]

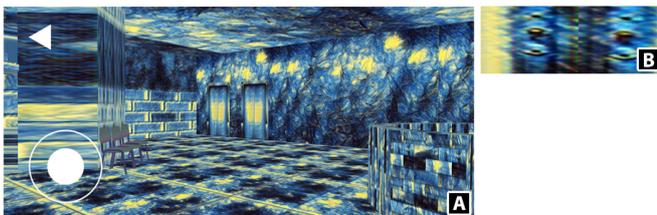


Fig. 9. Transferência neural de estilo da obra A Noite Estrelada para o aplicativo SM3D (A) e anomalia detectada (B).

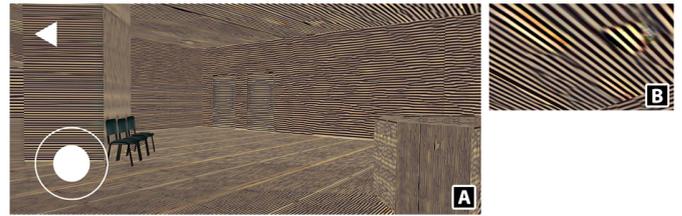


Fig. 10. Transferência neural de estilo da obra Concreção 5523 para o aplicativo SM3D (A) e anomalia detectada (B).

não sendo possível identificar mais a cor azul, que acabou totalmente suprimida na transferência de estilo.

Já no ambiente 3D que originou-se do quadro Concreção 5523, algumas pequenas áreas apresentaram forte saturação com linhas pretas e brancas bastante contrastadas e, em algumas delas, tons alaranjados (Fig. 10-B). E, por conta do consequente desfoque gerado no padrão geométrico das linhas originais, algumas áreas acabaram apresentando preenchimentos em cinza. A obra original Um Novo Dia apresenta áreas com cores bem definidas, possuindo padrões de texturas que utilizam cores análogas em seu interior. Em sua transferência de estilo, porém, esses padrões acabaram se perdendo e, com isso, acabaram sendo visualizados apenas como manchas coloridas. Além disso, a parte branca da obra original acabou sendo aplicada somente em pequenas áreas no formato de semicírculos (Fig. 14).

Curiosamente, em menor evidência, porém ainda presentes, é possível identificar, em alguns ambientes do aplicativo, a presença de aberrações cromáticas. Elas não chegam a comprometer a harmonia cromática do ambiente em si, mas são elementos que se destacam pela quebra dos padrões aplicados. A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 13-B) e O Grito (Fig. 12-B) apresentaram esferas pixelizadas com tons de verde e de azul; e em Guernica, falhas cromáticas ainda em verde e azul, mas assumindo a forma de faixas (Fig. 15). Já em A Noite Estrelada (Fig. 9-B) e em Um Novo Dia (Fig. 14-B) surgiram especificamente rastros esverdeados. Mas, diferentes das aberrações citadas anteriormente, essas duas últimas são menos presentes e menos visíveis.

2) *Formas dos Elementos*: As formas presentes nas obras de arte originais, conforme também aconteceu no jogo Extreme Tux Racer, não foram integralmente transferidas para

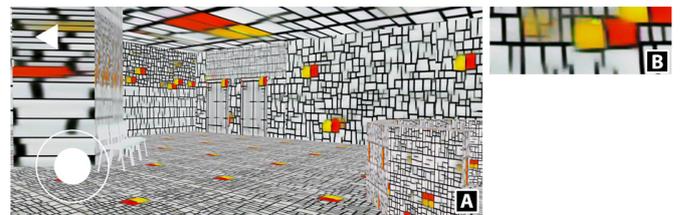


Fig. 11. Transferência neural de estilo da obra Composição com Amarelo, Azul e Vermelho para o aplicativo SM3D (A) e anomalia detectada (B).



Fig. 12. Transferência neural de estilo da obra O Grito para o aplicativo SM3D (A) e anomalias detectadas (B e C).

as texturas do aplicativo SM3D. Assim, os resultados obtidos foram bastante variados, oscilando de uma boa proximidade para as obras *Concreção 5523* (Fig. 10) e *Composição com Amarelo, Azul e Vermelho* (Fig. 11) até praticamente nenhuma identificação com as estruturas originais, como foi o caso de *O Grito* (Fig. 12).

Apesar das distorções de escala e de proporção, os padrões aplicados ao ambiente virtual do SM3D, presentes nas respectivas texturas resultantes do processo de transferência, conseguiram remeter às características mais marcantes de *Composição com Amarelo, Azul e Vermelho* (Fig. 11-B) com as cores primárias (amarelo e vermelho, mas sendo o azul suprimido), dispostas em figuras quadradas e retangulares delimitadas por nítidos traços pretos. Em algumas áreas, tais traços pretos se tornaram borrados ou mesmo assumiram o formato de manchas, possivelmente pela sobreposição de imagens nos ambientes 3D e pela interpolação gerada no processo de transferência de estilo. Um outro resultado que ficou muito próximo ao original foi o gerado com base na obra *Concreção 5523* (Fig. 10), apresentando o padrão de linhas horizontais original representado de maneira muito fiel. Porém, estranhamente, apenas as linhas horizontais apareceram, não trazendo os padrões verticais e inclinados presentes na obra original. E também no mesmo ambiente digital obtido, pequenas áreas acabaram perdendo definição gráfica e o registro das linhas acabou resultando em uma ilusão de ótica que, de certa forma, remete a relevos tridimensionais e curvaturas (Fig. 10-B).

O ambiente baseado na obra *Um Novo Dia* trouxe elementos visuais que também perderam definição, por vezes aparecendo borrados, apagados ou mesmo mesclados uns com os outros (Fig. 14). Contudo, ainda existe no resultado uma nítida



Fig. 13. Transferência neural de estilo da obra A Grande Onda de Kanagawa para o aplicativo SM3D (A) e anomalias detectadas (B e C).

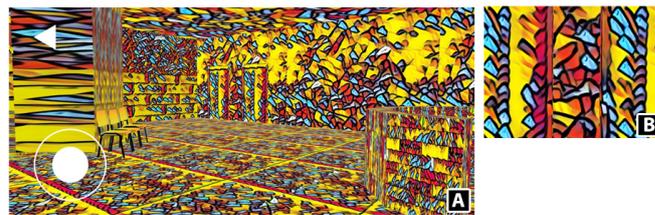


Fig. 14. Transferência neural de estilo da obra Um Novo Dia para o aplicativo SM3D (A) e anomalia detectada (B).

associação com a obra original, em particular pelo respectivo ambiente apresentar cores bem definidas em áreas contornadas com traços pretos espessos. No entanto, os padrões visuais em forma de corações ou outros elementos figurativos se perderam completamente durante a transferência, resultando agora em adornos semelhantes a trapézios com cantos arredondados (Fig. 14-B).

O estilo digital aplicado com base em *A Noite Estrelada*, diferente da pintura original, também não apresentou uma definição tão nítida da sobreposição de pinceladas em padrão espiral. Contudo, ainda é possível identificar essa particularidade muito característica da pintura de Van Gogh, principalmente na região que retrata o céu e as estrelas. As suas formas, no entanto, quando aplicadas no ambiente virtual, foram compreendidas indiretamente através do padrão cromático e pela disposição de cada uma das cores retratadas, sugerindo um padrão circular, mesmo que não tão evidente quanto na obra original (Fig. 9).

O resultado que utilizou *A Grande Onda de Kanagawa*, por sua vez, realmente apresentou o estilo digital associado com o quadro, através do conjunto geral de suas formas e cores. Porém, o resultado é de certa forma adaptado, tanto pelas medidas e padrões dos mapas de texturas empregados quanto pela transferência de estilo em si, que apresentou elementos que lembram a curvatura das ondas e seus adereços, mas de modo um tanto diferente do quadro original (Fig. 13). Possivelmente, esse resultado se deu, mais uma vez, devido à sobreposição de elementos do ambiente 3D.

Já no caso da *Guernica*, cujo original possui características cubistas perceptíveis pela presença de formas geométricas pronunciadas, os elementos figurativos bastante evidentes não foram transferidos para a sua respectiva versão digital do



Fig. 15. Transferência neural de estilo da obra Guernica para o aplicativo SM3D (A) e anomalia detectada (B).

aplicativo. O resultado obtido foi de um padrão semelhante ao de uma “camuflagem monocromática” (Fig. 15-B), com vários elementos em tons de cinza.

Por fim, de todos os resultados obtidos, O Grito foi o mais difícil de se conseguir associar o resultado da transferência de estilo com a obra original. Não é possível identificar formas bem definidas ou qualquer elemento que consiga remeter à pintura de Edvard Munch. No caso, mesmo a paleta cromática, diferente do que aconteceu com outras obras, não representa todo o conjunto de cores original, resultando em um padrão sem proximidade com a sua versão de origem (Fig. 12).

3) *Contornos dos Elementos*: Os resultados que trouxeram os contornos dos elementos mais definidos foram justamente os que utilizaram as obras originais com tais características mais destacadas, como Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig. 11); Concreção 5523 (Fig. 10) e Um Novo Dia (Fig. 14). Todas elas apresentavam contornos pretos bem evidenciados que conseguiram ser transferidos com sucesso.

O mesmo não aconteceu nas demais obras, provavelmente pela falta de um contornos mais evidentes e bem definidos nas mesmas. Mesmo em Guernica, com seu alto contraste e com figuras que exploram bastante formas geométricas e elementos estilizados, o resultado não conseguiu reproduzir os contornos originais na transferência digital (Fig. 15). Em casos extremos, como foram os ambientes 3D geradas a partir de A Grande Onda de Kanagawa (Fig. 13) e O Grito (Fig. 12), não foi possível observar quaisquer contornos nos resultados. O aplicativo gerado com base em A Noite Estrelada, apesar de trazer um contorno que lembra um padrão ramificado (Fig. 9), não se relaciona com o que se observa na imagem original; mas, sim, algo formado ao acaso por conta do processo de transferência de estilo em si.

Apesar disso, é importante destacar ainda que nos ambientes virtuais desenvolvidos para o aplicativo SM3D, de uma forma geral, podem ser identificados diversos contornos próprios, independente de qual estilo foi aplicado. Isso advém de sua modelagem tridimensional e respectivo processo de texturização. Sendo assim, o padrão de piso aplicado no chão, os blocos das paredes, as molduras das janelas, entre outros, destacaram contornos que estavam presentes nas versões digitais, mas que não foram decorrentes diretos dos elementos visuais das obras originais, gerando novos elementos figurativos ou mesmo padrões mais elaborados, porém casuais.

4) *Texturas*: O processo de interpolação, da mesma maneira como afetou o jogo Extreme Tux Racer, também interferiu nas transferências de estilos no aplicativo SM3D. Os impactos da interpolação e da sobreposição das imagens resultou em efeitos de transição que alteraram as características estéticas e definições das imagens obtidas em relação às obras originais. Tais alterações foram responsáveis por borrar, apagar ou mesmo mesclar características presentes em diferentes regiões de cada uma dos quadros utilizados.

Assim, as obras com maiores contrastes entre seus elementos visuais acabaram apresentando resultados com poucas diferenças das características já presentes nas obras originais. Então, as versões do SM3D que utilizaram como base

Composição com Amarelo, Azul e Vermelho (Fig. 11) e Concreção 5523 (Fig. 10) foram as mais fiéis visualmente, com pequenas mudanças, já especificadas nos itens anteriores. O ambiente baseado na obra Um Novo Dia, apesar da boa proximidade das características originais, apresentou algumas alterações decorrentes do processo de interpolação, modificando os padrões de textura, pois a repetição original de figuras, com formas geométricas ou outros elementos gráficos, não se encontravam mais presentes no resultados, sendo observadas apenas áreas com cores vibrantes, demarcadas por contornos pretos espessos (Fig. 14).

O ambiente que utilizou A Grande Onda de Kanagawa, diferente da obra original, que traz cores análogas para representar a tridimensionalidade das ondas, apresentou um contraste menor e, por vezes, causou até a ilusão de relevos e volumes tridimensionais inexistentes na pintura original (Fig. 13-C). E, em suas áreas maiores, foi possível notar novamente um padrão moiré, principalmente em suas regiões mais claras (Fig. 13-B).

Já no caso de Guernica, o resultado obtido trouxe muitos ruídos e uma padronização muito particular que, mesmo tendo semelhança com o original, devido à paleta limitada de cores, acabou ganhando uma identidade própria de texturas que chegam a lembrar rochas ou muros de pedras, por exemplo (Fig. 15-B).

O Grito, por sua vez, de todos os resultados obtidos foi o mais difícil de se conseguir associar o resultado da transferência de estilo com a obra original. Não é possível identificar formas bem definidas ou qualquer elemento que remeta à pintura original (Fig. 12). O efeito de relevo tridimensional, assim como aconteceu com A Grande Onda de Kanagawa, também se fez presente neste caso, sendo bastante semelhante à superfície de uma folha de papel amassada (Fig. 12-C). Além disso, surgiram ondulações horizontais e transversais que se diferenciaram pela direção e pelo contraste de cores quentes e frias (Fig. 12-B), também ficando um padrão moiré bastante nítido no emprego deste estilo.

C. Padrões destoantes

Analisando as observações anteriores, em resumo, percebe-se que parte das características das obras originais foi preservada tanto no jogo quanto no aplicativo. Apesar disso, é exatamente na criação dos padrões destoantes encontrados que reside o aspecto mais importante deste trabalho.

De um modo geral, tais padrões destoantes assumiram diversos formatos, decorrentes de diversas “falhas”:

- Surgimento de tons intermediários devido aos processos de interpolação;
- Aparecimento de cores, inclusive às vezes com grande saturação, não pertencentes às pinturas originais, devido a possíveis problemas no funcionamento do algoritmo utilizado;
- Formação de padrões específicos (rasgos com diferentes intensidades e efeito moiré, por exemplo) em regiões específicas dos modelos tridimensionais gerados;

- Estabelecimento de novos elementos visuais, com borrados, cortes ou mesclas de porções das imagens originais utilizadas;
- Transformação casual de figuras geométricas e outros elementos figurativos em diversos outros formatos;
- Definição de texturas diversas, como giz de cera, pedra ou papel amassado;
- Geração espontânea de padrões diversos (intrincados, translúcidos, ramificados etc.) decorrentes ou não das características das obras originais e das particularidades dos ambientes do jogo ou do aplicativo utilizados.

Nota-se, inclusive, que os itens elencados acima podem até mesmo, por si, estabelecerem até novos estilos gráficos. Muitas vezes inesperados, porém muito bem-vindos.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou o uso de um algoritmo de transferência neural de diferentes estilos presentes em sete obras de arte. Tais estilos foram aplicados a dois produtos interativos, um jogo digital e aplicativo móvel educacional, ambos empregando elementos tridimensionais.

Após a transferência neural realizada, que intencionalmente não passou por qualquer tipo de pós-processamento para correção de anomalias gráficas, a análise dos resultados demonstrou que os estilos originais, apesar de apresentarem resultados gerais muitas vezes condizentes com aqueles presentes nas obras originais utilizadas, também resultou em diversas variações, de acordo com comportamentos particulares do algoritmo empregado.

Assim, dados os resultados gerais obtidos, percebe-se agora como principais oportunidades futuras de trabalho e de pesquisa:

- Empregar modelos tridimensionais mais específicos, baseados em primitivas tridimensionais simples (cubo, esfera, cone, etc.), para observar de forma especializada os respectivos efeitos da transferência;
- Realizar novos experimentos, empregando as mesmas imagens de obras e os mesmos produtos interativos, porém adotando outros algoritmos de transferência neural, avaliando-se se os mesmos tipos de alterações observadas também se mostram presentes;
- Realizar novos experimentos, porém envolvendo imagens com outras naturezas (desenhos, ilustrações, fotografias, etc.), para verificar se os mesmos tipos de comportamento são novamente observados;
- Comparar os resultados obtidos com aqueles apresentados inicialmente em MAIA et al. (2020), avaliando possíveis diferenças de uso da transferência neural no 2D e no 3D;
- E, após o devido aprofundamento, gerar peças gráficas 2D e 3D que se apropriem especificamente do conjunto de “falhas” observadas, explorando-as como elementos de criação espontânea em Design (harmonias cromáticas, formas, contornos e texturas).

Por fim, analisando parte das construções gráficas obtidas no experimento aqui descrito, entende-se que alguns resultados

inesperados, alcançados muitas vezes por casualidades do processo, podem até ser classificados individualmente como estilos digitais próprios, criados através de comportamentos anômalos. Sendo assim, vislumbra-se agora algo um tanto surpreendente: homem e máquina trabalhando de forma integrada em uma sinergia maior do que a simples soma de suas ações individuais. Então, em um futuro próximo, poderá haver peças gráficas criadas não somente pelo homem ou pela máquina, de forma isolada, mas através de seus esforços combinados, aí incluindo seus acertos e – por que não? – erros, também.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Gaafar, “Glitch: Art & technology: Processing media matter,” *NEC-SUS_European Journal of Media Studies*, vol. 9, no. 2, pp. 421–433, 2020.
- [2] 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*, 2017, pp. 386–396.
- [3] C. Olivieri, M. Angelillo, A. Gesualdo, A. Iannuzzo, and A. Fortunato, “Parametric design of purely compressed shells,” *Mechanics of Materials*, vol. 155, p. 103782, 2021.
- [4] L. Wyse, “Mechanisms of artistic creativity in deep learning neural networks,” *arXiv preprint arXiv:1907.00321*, 2019.
- [5] T. C. O. Maia, R. A. F. d. Carmo, N. A. Chicca Junior, and A. J. M. Leite Junior, “Análise da transferência neural de estilos de obras de arte aplicadas em jogos digitais,” in *2020 19th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames)*. IEEE, 2020.
- [6] E. Lupton and J. C. Phillips, *Graphic design: The new basics*. Princeton Architectural Press, 2008.
- [7] A. Hurlburt, *Layout: o design da página impressa*. NBL Editora, 1986.
- [8] D. A. Dondis and J. L. Camargo, *Sintaxe da linguagem visual*. Martins fontes São Paulo, 1997.
- [9] T. Samara, *Design elements: A graphic style manual*. Rockport publishers, 2007.
- [10] 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)*, 2016, pp. 2414–2423.
- [11] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Processamento de imagens digitais*. Editora Blucher, 2000.
- [12] 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*, 2001, pp. 341–346.
- [13] 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)*, 2018, pp. 453–468.
- [14] J. Johnson, A. Alahi, and L. Fei-Fei, “Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution,” in *European conference on computer vision*. Springer, 2016, pp. 694–711.
- [15] X. Chen, A. Golovinskiy, and T. Funkhouser, “A benchmark for 3d mesh segmentation,” *Acm transactions on graphics (tog)*, vol. 28, no. 3, pp. 1–12, 2009.
- [16] T. Shin, N. Kasuya, I. Kitahara, Y. Kameda, and Y. Ohta, “A comparison between two 3d free-viewpoint generation methods: Player-billboard and 3d reconstruction,” in *2010 3DTV-Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video*. IEEE, 2010, pp. 1–4.
- [17] 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*. Springer, 2014, pp. 740–755.
- [18] I. Pedrosa, “Da cor à cor inexistente,” in *Da cor à cor inexistente*. Senac São Paulo, Brasil, 1995, pp. 220–220.