

# 1

## Introdução

Uma ilusão de ótica ou ilusão visual é caracterizada por uma imagem que é percebida de maneira diferente da imagem real. Essas imagens enganam o sistema visual podendo adicionar à imagem percebida objetos que não estão na imagem real ou até inferir uma idéia de movimento. Por exemplo, em *Rotating snakes*, Figura 1.1, podemos observar uma ilusão de movimento criada por Kitaoka (12), onde os círculos aparentam estar se movendo espontaneamente embora se trate de uma imagem estática.

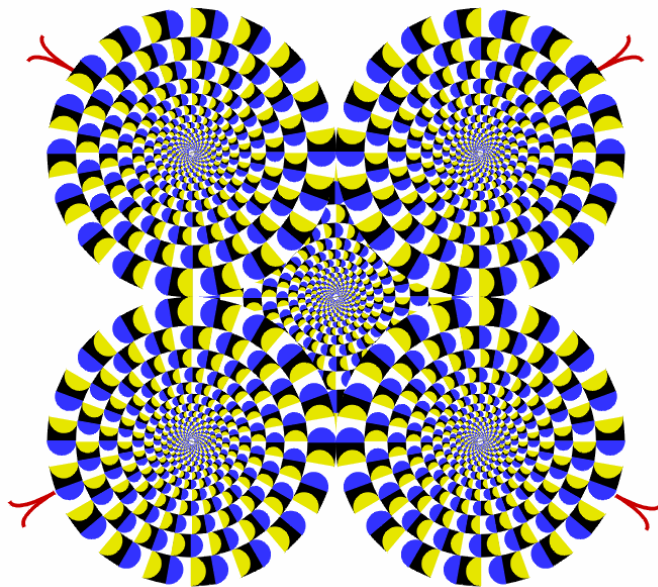


Figura 1.1: *Rotating snakes* (Figura extraída do artigo original (12)).

Em seus estudos, Kitaoka (14) mostrou que a combinação de cores que mais intensificam a ilusão de movimento é azul-amarelo ou vermelho-verde. Além disso, observou que 5% das pessoas não podem perceber esse tipo de ilusão. Baseado neste trabalho, Chi *et al.*(6), introduziram a conversão automática de uma imagem estática numa que possuísse a ilusão de movimento, criando um campo de vetores intermediário.

A visualização de campos vetoriais é um assunto que tem recebido atenção por suas numerosas aplicações e sua dificuldade. De fato, visualizar de

forma nítida a direção e magnitude de um fluxo, por exemplo, nem sempre é uma tarefa simples, principalmente quando tratamos de fluxos turbulentos.

Analisar um campo vetorial consiste em entender o comportamento de suas linhas de fluxo. Encontrar regiões características como *poços*, *fontes* e *selas*, pode ser um passo interessante para a visualização pois são essas regiões que determinam a dinâmica do campo vetorial.

De fato, a visualização de campos vetoriais por imagens auto-animadas, embora atrativa por expressar a movimentação do fluxo dentro do campo vetorial, é um método extremamente custoso pois as etapas geração e otimização do posicionamento dos fragmentos, se tratam de processos força bruta. O objetivo deste trabalho consiste em utilizar análises locais do campo de forma a otimizar independentemente cada região, garantindo a coerência global da imagem auto-animada.

## 1.1

### Motivação e Objetivos

Visando acelerar o processo de visualização de campos vetoriais por imagens auto-animadas, propomos uma etapa de pré-processamento que se utiliza da topologia do campo vetorial para segmentá-lo.

A segmentação particiona o campo em componentes conexas formadas por um par de pontos singulares, podendo ser selas, poços, fontes ou singularidades de bordo, e por linhas de fluxo que apresentam comportamento semelhante – por comportamento semelhante denotamos linhas de fluxo que têm duas singularidades em comum (Seção 4.2).

Em posse da segmentação, é possível realizar análises de forma local no campo vetorial já que dispomos da possibilidade de focar em regiões específicas. Propomos a utilização desta como forma de acelerar o processo de geração das imagens auto-animadas (Seção 4.3), onde a principal contribuição no processo ocorre na etapa de *Otimização do Posicionamento dos Fragmentos* do trabalho proposto por Chi *et al.* (6).

Propomos também um método para a detecção de pontos com potencial para ser um ponto singular (Seção 3.1.3) o qual denominamos *Regiões Fracas*.

Além disso, propomos uma técnica semi-automática para a remoção de ruído em campos vetoriais (Seção 4.1), onde o usuário controla as mudanças topológicas resultantes dos processos tradicionais de filtragem de campos vetoriais.

Esta técnica é aplicável, principalmente, em dados reais os quais estão sujeitos a ruído em diversas escalas devido ao processo de medição.

## 1.2

### Trabalhos Relacionados

**Linhas de fluxo:** A eficiência de técnicas de visualização de campos vetoriais por meio de *linhas de fluxo* é muito sensível ao posicionamento das sementes que irão originá-las. Um trabalho pioneiro nessa área foi proposto por Turk e Banks (33), onde a idéia principal consiste em minimizar uma energia para gerar posicionamento de sementes com qualidade. O algoritmo consiste em gerar um conjunto de pequenas linhas de fluxo - *streamlets* - e aplicar uma série de operações como união, remoção, aumento ou diminuição de comprimento, de forma a diminuir a energia. A energia é calculada fazendo a diferença entre uma imagem cinza uniforme e uma imagem criada do atual posicionamento com um filtro passa-baixa.

Posteriormente, Jobard e Lefer (10) propuseram um algoritmo para criar linhas de fluxo igualmente espaçadas em apenas uma passada (ver Figura 1.2 à esquerda). Esse método consiste em posicionar sementes na vizinhança de linhas de fluxo já posicionadas. Enquanto uma linha de fluxo está sendo integrada, sementes são posicionadas de ambos os lados da linha, de forma que essas semente têm prioridade para a construção da próxima linha de fluxo. Embora esse algoritmo proporcione um bom equilíbrio entre eficiência e tempo de computação, no resultado final aparecem espaços em branco além de linhas curtas ou quebradas. Mebarki *et al.* (17) tentou obter linhas de fluxo longas e igualmente espaçadas (ver Figura 1.2 à direita). O algoritmo consiste em posicionar uma linha de fluxo por vez, onde a semente que irá originá-la, está no ponto mais longe possível de todas as linhas posicionadas posteriormente. Para calcular essa semente é feita uma triangulação de Delaunay do domínio, sendo a semente o centro do maior círculo circunscrito da triangulação (ver Figura 1.3).

**Visualização por imagens:** A visualização de fluxos é frequentemente obtida pelo método de convolução da integral da linha (LIC) proposto por Cabral e Leedom (5) (ver Figura 1.4). O LIC é uma técnica popular para visualização densa de campos vetoriais. A metodologia para gerar o LIC consiste em pegar um campo vetorial num grid cartesiano e uma textura de ruído branco do mesmo tamanho. A textura de ruído é localmente filtrada ao longo das linhas de fluxo que são definidas pelo campo vetorial, resultando numa imagem que é uma representação densa do campo. Embora essa técnica mostre detalhes interessantes do campo, o custo para computá-la é alto pois necessita de um grande número de linhas de fluxo por *pixel*.

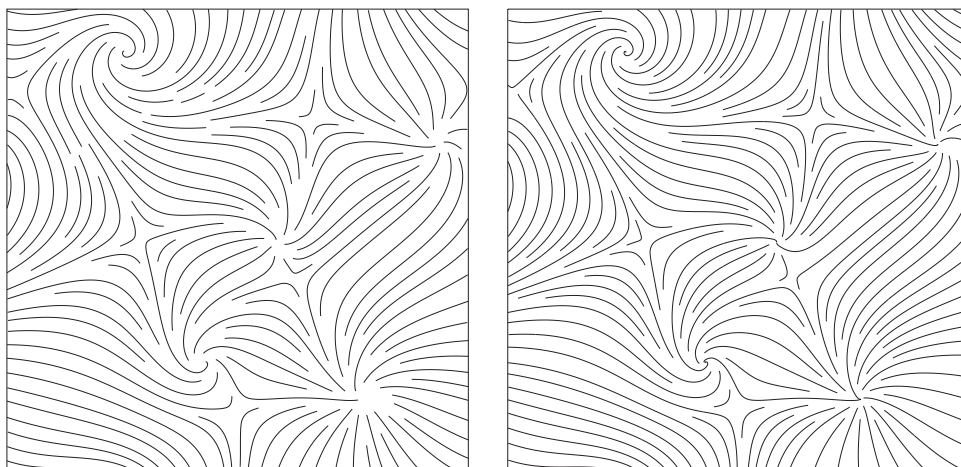


Figura 1.2: Linhas de fluxo igualmente espaçadas. Esquerda: técnica desenvolvida por Jobard e Lefer (Figura extraída do artigo original (10)); Direita: técnica desenvolvida por Mebarki *et al.* (Figura extraída do artigo original (17)).

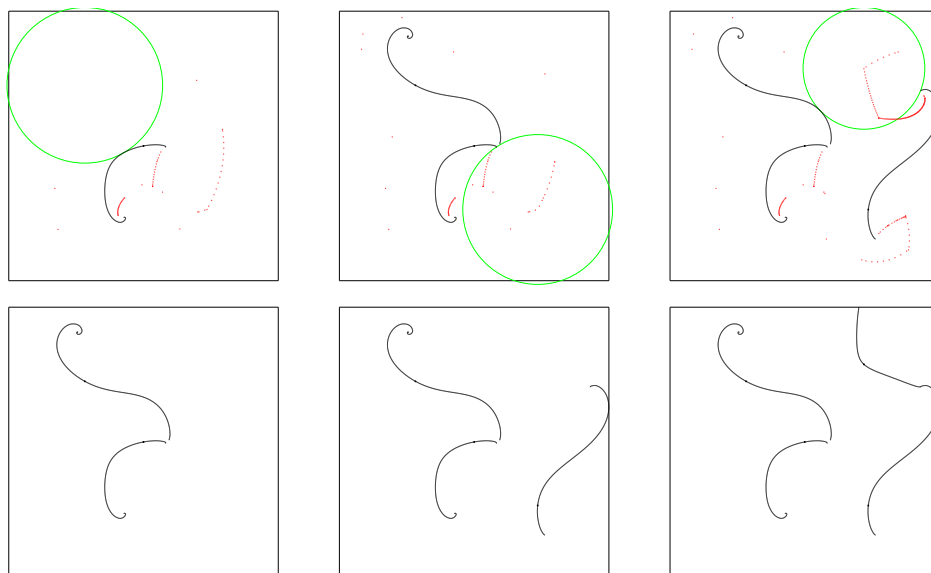


Figura 1.3: Passos intermediários na geração das linhas. Em cada etapa é escolhida uma semente que consiste no centro do maior círculo de Delaunay (Figura extraída do artigo original (17)).

**Visualização com topologia:** Outra forma de ser feita a análise de campos vetoriais planares é por meio de métodos topológicos (7, 8). Neste caso, é obtido um grafo que representa as relações topológicas entre linhas de fluxo vizinhas (ver Figura 1.5). Embora essa metodologia não seja muito antiga na área de Visualização Científica, tem suas origens em um trabalho de Poincaré no final do século XIX. O objetivo consiste em particionar o domínio por meio de um grafo em sub-regiões que apresentem comportamento semelhante. Para a construção do grafo topológico é feita a extração dos pontos críticos

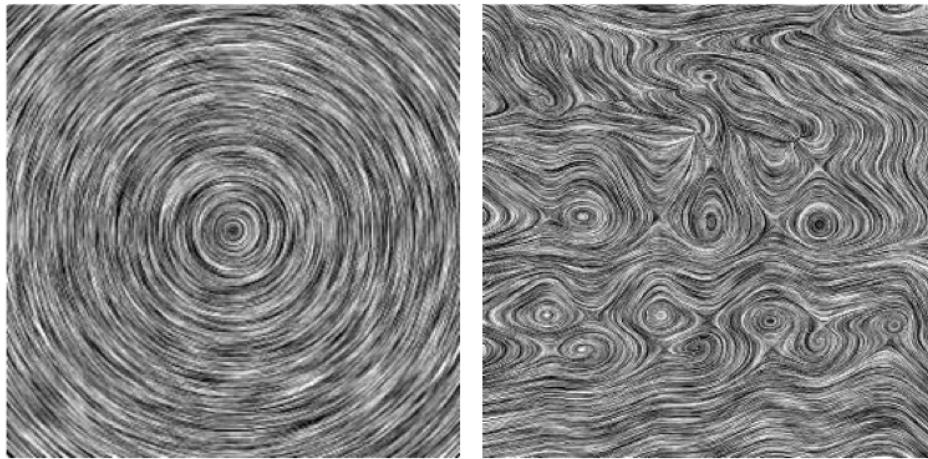


Figura 1.4: Visualização por LIC (Figura extraída do artigo original (5)).

e a integração das linhas de fluxo que conectam tais pontos. Essas linhas são conhecidas como *separatrizes*. Em Tricoche (31) e Tricoche *et al.* (32) são apresentados métodos para a simplificação da topologia de campos vetoriais planares turbulentos mantendo a consistência estrutural com o dado original.

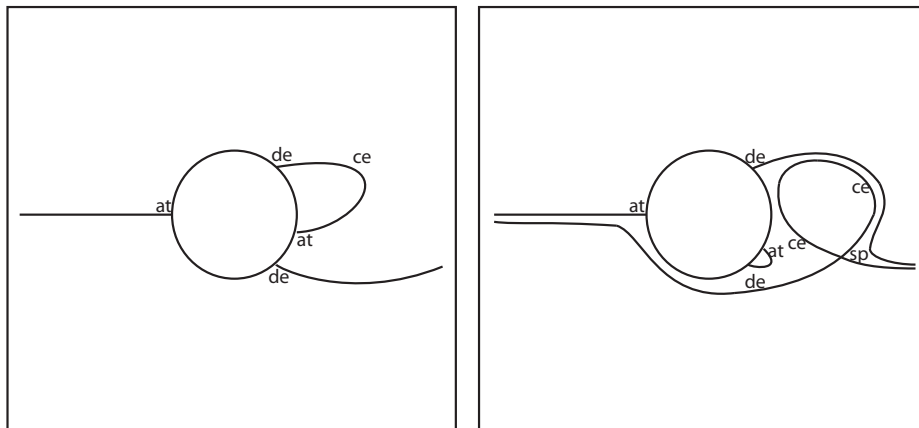


Figura 1.5: Esquema topológico de um fluxo em volta de um cilindro (Figura extraída do artigo original (8)).

Outra estratégia ainda, se utiliza do conhecimento do usuário sobre o campo vetorial, permitindo que de forma interativa, o usuário decida que singularidade topológica manter ou suavizar. Essa abordagem já foi proposta no campo de reconstrução de superfícies (11, 23) e foi estendida durante a preparação deste trabalho (18).

Mais recentemente, uma forma não tão usual para a visualização de campos consiste na produção de imagens auto-animadas. Esse modelo um tanto criativo, usa uma área de percepção humana onde uma ilusão de movimento é criada para uma imagem estática.

Wei (34), propôs um método completamente automático para visualizar campos vetoriais utilizando um padrão assimétrico repetido de cores (PAR). Para gerar essa visualização, círculos são dispostos ao longo do campo seguindo por exemplo, uma distribuição uniforme (ver Figura 1.6).

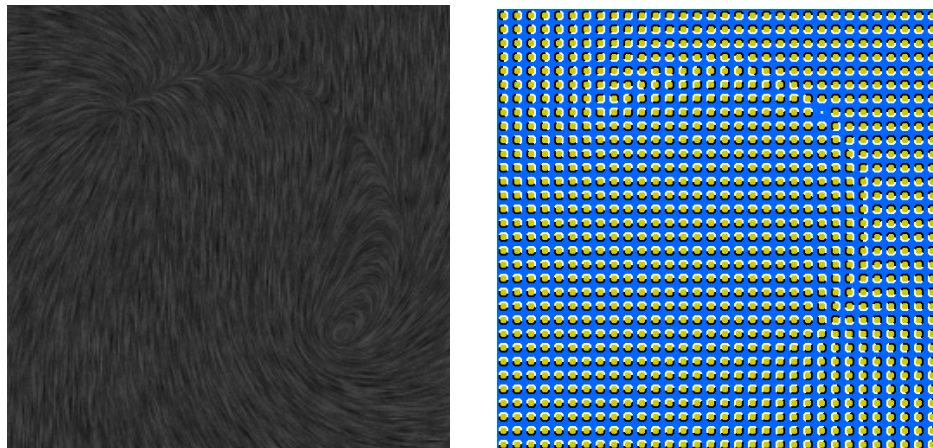


Figura 1.6: Visualização proposta por Wei. Esquerda: campo de entrada visualizado com LIC; Direita: visualização de Wei (Figura extraída do artigo original (34)).

Chi *et al.*(6) desenvolveram uma abordagem computacional para maximizar o efeito da ilusão de movimento (ver Figura 1.7).

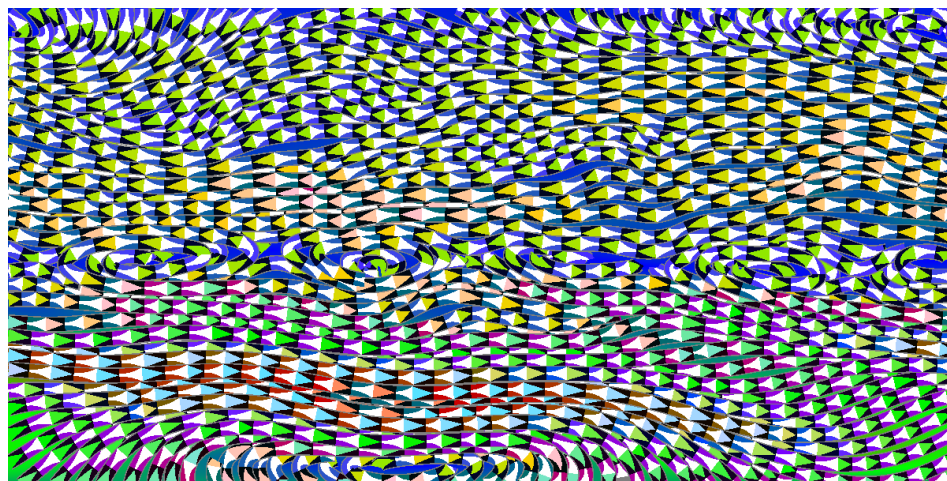


Figura 1.7: Visualização proposta por Chi *et al.* (Figura extraída do artigo original (6)).

Para a geração da ilusão, dado um campo vetorial como entrada, primeiramente são extraídas as linhas de fluxo. Posteriormente é feita a disposição de um PAR ao longo das linhas de fluxo gerando a ilusão de movimento em um campo vetorial estático. O objetivo deste trabalho consiste em melhorar essa geração usando a análise topológica do campo.



**Pré-processamentos:** Já na área de filtragem de campos vetoriais em grades regulares, parte dos trabalhos são especificamente dedicados no tratamento de imagens (20). Em particular, filtros para imagens coloridas focam na redução de ruído impulsivo (16, 25, 30). Mais recentemente, Westenberg e Ertl (35) propuseram um algoritmo para filtragem de campos vetoriais 2D que suprime ruído aditivo limitando os coeficientes do vetor de *wavelets*. Um conjunto de filtros para remoção de ruídos foi visto como uma generalização de *random walk*: em imagens (29), malhas (27, 28) e campos vetoriais (19) (ver Figura 1.8).

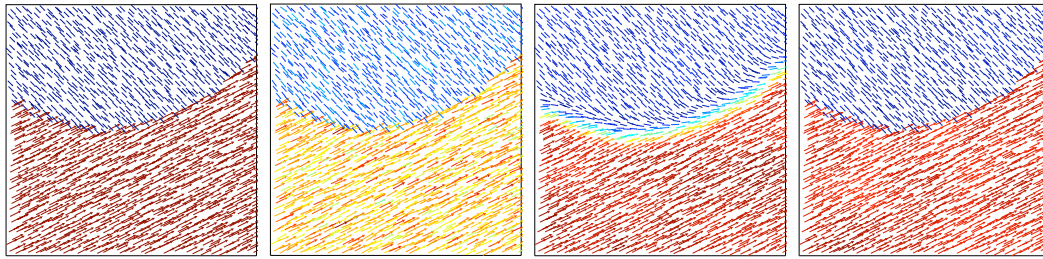


Figura 1.8: Esquerda: campo vetorial simples descontínuo; Meio à esquerda: perturbado com ruído Gaussiano; Meio à direita: filtro Gaussiano; Direita: *random walk* (Figura extraída do artigo original (19)).

As técnicas envolvendo espaços de escala se tornaram populares em Visão Computacional pela sua capacidade de representação de dado em multi-escala (ver Figura 1.9). Em particular, Bauer e Peikert (3) usam espaço de escala para rastrear vórtices em simulações 2D de dinâmica dos fluidos. Klein e Ertl (15) propuseram uma estratégia para rastrear singularidades em múltiplas escalas de forma a avaliar a importância dos pontos críticos na análise e interpretação do campo vetorial. O pré-processamento proposto no presente trabalho se baseia nesta linha de trabalho, mas aproveitando o conhecimento do usuário para escolher a escala localmente.



Figura 1.9: Espaço de escala.