

Universidade de São Paulo  
Instituto de Matemática e Estatística  
Bacharelado em Ciência da Computação

Marcello Souza de Oliveira

## Correção de imagem em um modelo estelar

São Paulo  
Dezembro de 2015

# Correção de imagem em um modelo estelar

Monografia final da disciplina  
MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado.

Supervisor: Prof. Dr. Marco Dimas Gubitoso (IME-USP)

São Paulo  
Dezembro de 2015

# Resumo

O programa FRACS (*Fast RayTracing Algorithm for Circumstellar Structures*) tem sido amplamente utilizado por grupos de astronomia para simulação de aspectos astrofísicos em discos circunstelares. Este programa utiliza a técnica de *raytracing* para geração de imagem estelar bidimensional e é baseado em *quadtrees* para distribuição de processamento numérico. No entanto, para valores físicos de entrada extremos esta imagem final apresenta anomalias, sem interpretação física. O objetivo deste trabalho é eliminar estas anomalias sem interferir na modelagem física e sem impactar o tempo de processamento.

**Palavras-chave:** raytracing, quadtree mesh, aliases.



# Abstract

The FRACS (*Fast RayTracing Algorithm for Circumstellar Structures*) code has been used as a numerical tool by many astrophysical groups. This program make use of ray-tracing technique to generate a bidimensional stellar image and is based on quadtree meshes for numerical processing. However, for some specific input parameters the generated image presents some aliases. The goal of this work is eliminate those aliases with low impact on processing time while preserving the physical modeling.

**Keywords:** raytracing, quadtree mesh, aliases.



# Sumário

1	Introdução	1
2	Desenvolvimentos	3
3	Resultados	7
4	Conclusões	9
5	Agradecimentos	11
A	Diagrama de Classes	13
	Referências Bibliográficas	15



# Capítulo 1

## Introdução

A velocidade de processamento e a necessidade de precisão em simulações numéricas tem aumentado consideravelmente no ambiente acadêmico. Grupos de astrofísica são fortemente dependentes destes fatores para a análise dos dados obtidos, tanto por meio de radiotelescópios quanto por interferômetros. Atualmente, com o avanço nas técnicas de detecção astronômica, novas vertentes de pesquisa tem surgido, unindo áreas até então separadas. É o caso do presente trabalho, que se insere num vasto projeto de pesquisa, envolvendo uma colaboração entre instituições brasileiras e francesas: trata-se do *Protoplanetary discs with ALMA (PPDsALMA)*. Estão nele envolvidos o *Departamento de Astronomia do IAGUSP (IAG)*, o *Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da UFRJ (IBCCF)*, e o *Observatoire de la Côte d'Azur (OCA)* e a *Université de Nice Sophia Antipolis (UNS)*, ambos na França, além do *IME-USP*. O projeto visa estudos em Astrobiologia de longo termo, em particular centrados em exoplanetas, desde sua formação, [Janot-Pacheco et al. \(2013a\)](#). Uma das ferramentas utilizadas nesta colaboração é o programa FRACS, [Niccolini et al. \(2010\)](#).

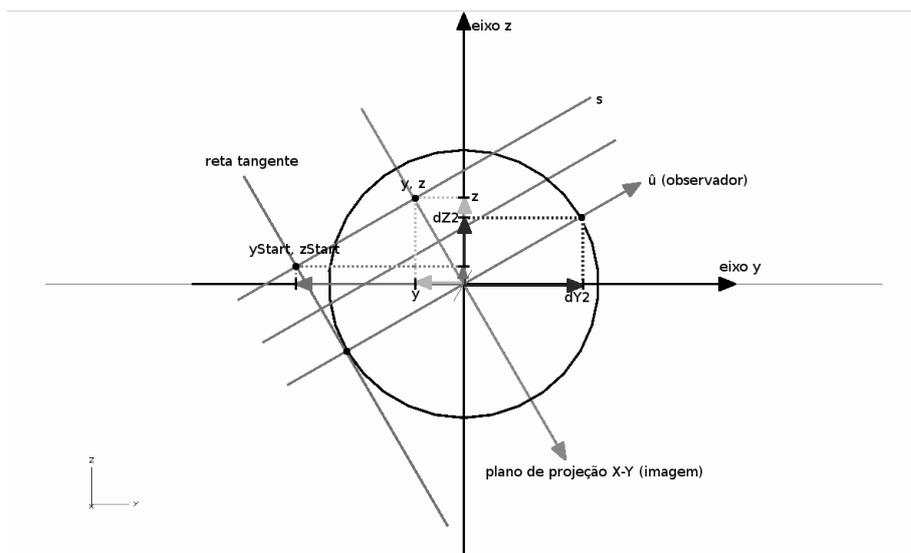
O programa FRACS (*Fast Ray-Tracing Algorithm for Circumstellar Structures*) tem sido amplamente utilizado para simulação de discos circunstelares, utilizando a técnica de *ray-tracing* para geração de imagem estelar bidimensional. O programa recebe diversos parâmetros de ajuste de um modelo estelar pré-estabelecido e faz calculos e interpolações nos parâmetros de densidade, temperatura, radiação e poeira estelar, gerando assim uma imagem de saída onde cada pixel representa o espectro de luz projetado sobre o plano do observador (telescópio), cuja posição é dada. O objetivo disso é, em menor tempo de processamento, poder pré-classificar dados obtidos por observatórios, comparando modelos anteriormente obtidos, já que o tempo de classificar esses dados é grande, acarretando uma grande latência na comprovação de hipóteses e teorias da área. No entanto, para alguns valores de entrada a imagem final apresenta anomalias sem interpretação física. Nosso objetivo é eliminar estas anomalias, mantendo a modelagem física e sem impactar o tempo de processamento.



# Capítulo 2

## Desenvolvimentos

Pesquisadores do *Observatoire de la Côte d'Azur (OCA)* e da *Universidade de Nice Sophia Antipolis* desenvolveram um programa para o estudo de envelopes circumstelares <sup>1</sup>. Este programa, chamado FRACS (*Fast Raytracing Algorithm for Circumstellar Structures*) foi desenvolvido por G. Niccolini (Niccolini *et al.* (2010)) se utilizando tanto da técnica de *raytracing*, Samet (1989), como da estrutura de *quadtrees* Frisken e Perry (2002) para a criação de malhas. Estas distribuem o cálculo utilizado tanto nas variáveis físicas de temperatura, densidade, temperatura, radiação e espectro estelar, Mihalas, D. (1978), como nas projeções dos raios de luz (*raytracing*) e geração dos pixels da imagem. No código, a malha é criada na classe Mesh (vide diagrama de classes no Apêndice A), e consiste em criar uma célula (que representa o toroide que contém a estrela) e subdividi-la recursivamente até que algumas condições de refinamento sejam satisfeitas, Niccolini *et al.* (2010), quando essas condições são menores que um valor epsilon (parâmetro de entrada), a subdivisão dessa célula para. A Figura 2.1 ilustra o processo de *raytracing*, onde o raio de luz vindo da estrela atinge o observador (telescópio), com direção definida pelo vetor  $\hat{u}$ . Raios paralelos ao do observador são projetados no plano da imagem (plano projetado na visão do observador).

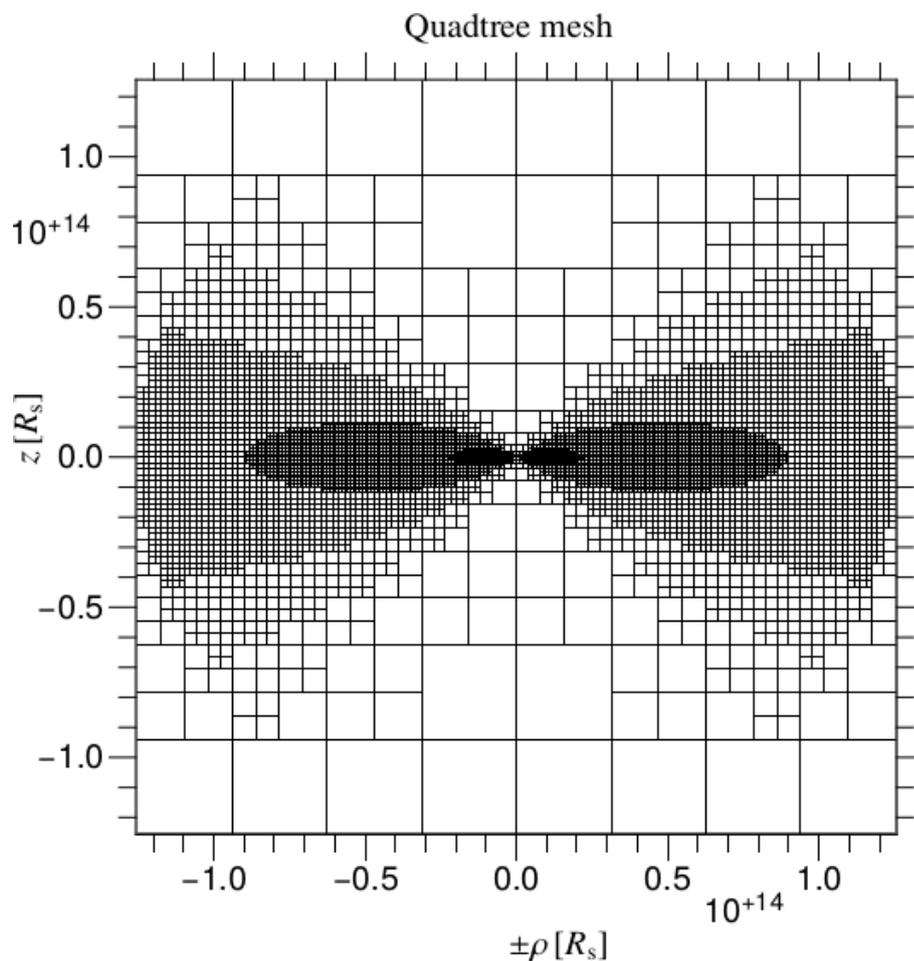


**Figura 2.1:** Interpretação geométrica do processo de ray-tracing para geração da imagem.

Cada um desses raios paralelos é parametrizado e discretizado em porções corresponden-

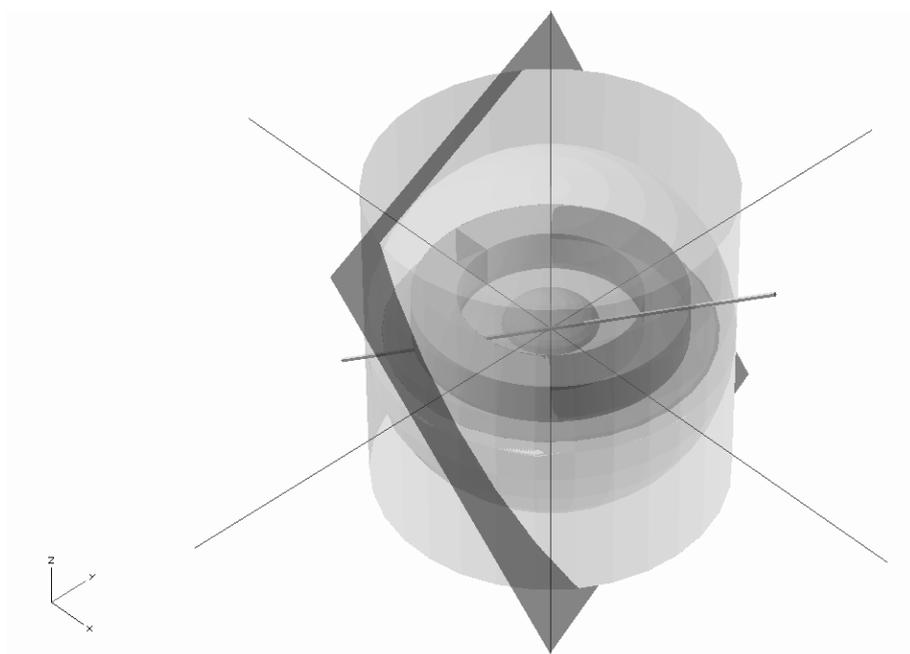
<sup>1</sup>Em uma estrela, o gás forma uma camada em expansão chamada envelope circumstelar e se resfria à medida que se afasta da estrela, permitindo a formação de partículas e moléculas, [https://pt.wikipedia.org/wiki/Evolu%C3%A7%C3%A3o\\_estelar](https://pt.wikipedia.org/wiki/Evolu%C3%A7%C3%A3o_estelar)

tes as células da malha (*quadtree*), exemplificada na Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Malha utilizada pelo FRACS. O refinamento acontece subdividindo sucessivamente as células, nas regiões onde o raio de luz atravessa, em 4 outras, seguindo uma tolerância especificada. Fonte: Imagem retirada do artigo [Niccolini et al. \(2010\)](#).

Essa malha é construída no plano de projeção do modelo sobre um cilindro que o contenha (similar ao modelo cartográfico cilíndrico). As células da malha são toroides no espaço do modelo, conforme mostra a Figura 2.3. Essa modelagem permite diminuir parte dos cálculos devido às suas simetrias em torno dos eixos. Dessa forma, o cômputo dos valores físicos ao longo de cada raio (integração numérica), é reduzido à somatória dos valores calculados em cada célula interceptada pelo raio [Niccolini et al. \(2010\)](#).



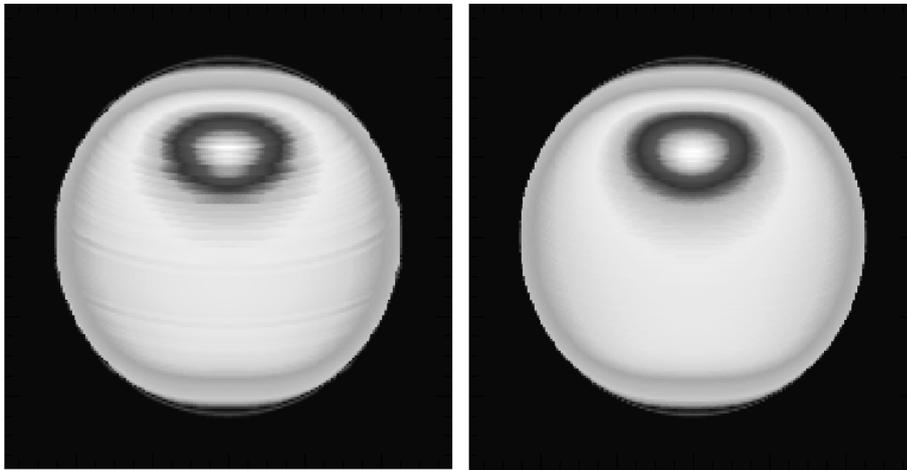
**Figura 2.3:** *Representação de um toroide que corresponde a uma célula na malha quadtree.*



# Capítulo 3

## Resultados

A imagem da Figura 3.1.a foi gerada a partir de um tamanho base da grade de  $10^{-3}$ , para este valor há a presença de anomalias da forma de ondulações. No entanto, ao mudarmos este valor para uma ordem de grandeza menor ( $10^{-4}$ ), estas ranhuras não aparecem. Este comportamento demonstra que a resolução escolhida não é satisfatória. Por outro lado, uma resolução mais fina implica em um grande aumento no tempo de processamento. Nossa preocupação foi corrigir as anomalias sem aumentar a complexidade computacional dos cálculos ou mesmo interferir na física adotada. A solução encontrada foi refinar a malha apenas na borda da estrela, mantendo o interior como na situação original. Na forma original, a geração da malha consistia em subdividir recursivamente cada célula em quatro células filhas até que as condições de refinamento sejam completamente satisfeitas (isto é, até que a densidade de matéria e temperatura calculada em cada subcélula seja inferior a uma tolerância pré definida pelo usuário [Niccolini \*et al.\* \(2010\)](#)), os cálculos físicos são feitos em cada uma dessas subcélulas. Na atual versão, a modificação feita verifica se a célula é de borda (se possui intersecção com a esfera do modelo), e se for, mesmo que as condições anteriores já tenham sido satisfeitas, o refinamento (subdivisão) da célula não é interrompido, até que uma nova tolerância pré definida no código (e que satisfaça o refinamento necessário para se produzir uma imagem de melhor resolução) seja também satisfeita. Dessa forma, mesmo que o programa seja executado com um tamanho de grade mais grosseiro, as células de borda serão tratadas com um refinamento melhor. A Figura 3.1.b apresenta o resultado final, após as modificações. Nela é possível observar a ausência de anomalias (a mesma imagem é obtida com um refinamento mais apurado).



**Figura 3.1:** a) primeira esfera: com presença de anomalias, para um refinamento de  $10^{-3}$ . b) segunda esfera: sem anomalias, para um refinamento de  $10^{-4}$  sem refinamento nas bordas, ou  $10^{-3}$  com refinamento nas bordas (modificado).

# Capítulo 4

## Conclusões

Programas de simulação numérica tem sido amplamente utilizados por grupos de astrofísica. Analisamos o caso do FRACS, que apresentou anomalias para casos específicos do modelo, e propusemos uma correção dessas a partir de uma intervenção geométrica na geração da malha que distribui o processamento numérico. Tal intervenção implementou um refinamento apenas nas regiões de borda da estrela, eliminando as anomalias sem grande impacto no tempo de processamento e preservando integralmente o modelo físico. A Tabela 4.1 apresenta o tempo médio gasto para os tamanhos base de refinamento da malha de  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  com e sem as modificações. Notamos que, embora o tempo médio seja maior para os casos com as modificações, para o tamanho base de  $10^{-3}$ , é consideravelmente menor que para o tamanho base de  $10^{-4}$ , sem as modificações (suficiente para que a imagem não apresente anomalias), o que era esperado uma vez que o refinamento mais criterioso é feito apenas nas bordas e não em toda a malha. Embora o refinamento proposto para as bordas tenha apresentado bons resultados, é interessante a identificação do refinamento ótimo, bem como o estudo do impacto de outras linhas e moléculas no desempenho do programa.

**Tabela 1: Tempo médio gasto para 100 execuções do programa com e sem correções nas bordas.**

Tamanho base para o refinamento da malha	Tempo médio (s)
$10^{-3}$	1.1032
$10^{-3}$ + correção nas bordas	1.8479
$10^{-4}$	2.8371
$10^{-4}$ + correção nas bordas	3.9419

**Figura 4.1:** Tempo médio gasto para 100 execuções do programa com e sem correções nas bordas.



# Capítulo 5

## Agradecimentos

Este projeto contou com o apoio do PROCAD 2013, projeto número 183794.<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Cópia deste trabalho contido em Web: [linux.ime.usp.br/~lopcep/mac0499/](http://linux.ime.usp.br/~lopcep/mac0499/)



# Apêndice A

## Diagrama de Classes



Figura A.1: Diagrama de classes das principais classes do FRACS.



# Referências Bibliográficas

- Frisken e Perry(2002)** Sarah F. Frisken e Ronald N. Perry. Simple and efficient traversal methods for quadtrees and octrees. Relatório Técnico TR2002-41, Mitsubishi Electric Research Laboratories <http://www.merl.com>. Citado na pág. 3
- Janot-Pacheco et al.(2013a)** Eduardo Janot-Pacheco, L. Bernardes e C. Lage. Transformational science with alma: from dust to rocks to planets. Em *Habitability of Extremophiles in Exoplanets*, página 812, Hawaii. Citado na pág. 1
- Niccolini et al.(2010)** Gilles Niccolini, Philippe Bendjoya e Armando Domiciano de Souza. Fast ray-tracing algorithm for circumstellar structures (fracs) i. Último acesso em Julho 2015. Citado na pág. 1, 3, 4, 7
- Samet(1989)** Hanan Samet. Implementing ray tracing with octrees and neighbor funding. Citado na pág. 3