



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

aa/bb/cc/dd

ESTUDO DO EFEITO WEDGE NAS MEDIÇÕES DE 21CM NO CONTEXTO DO RADIOTELESCÓPIO BINGO

Helissa Helen da Costa

Relatório de Iniciação Científica,
orientada pelo Dr. Carlos Alexan-
dre Wuensche.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos
2023



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

aa/bb/cc/dd

ESTUDO DO EFEITO WEDGE NAS MEDIÇÕES DE 21CM NO CONTEXTO DO RADIOTELESCÓPIO BINGO

Helissa Helen da Costa

Relatório de Iniciação Científica,
orientada pelo Dr. Carlos Alexan-
dre Wuensche.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Estudo do efeito wedge nas medições de 21cm no contexto do radiotelescópio BINGO / Helissa Helen da Costa. – : , INPE São José dos Campos 2023.

p. ; (aa/bb/cc/dd)

() – , , .

: .

CDU



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

RESUMO

Buscando estudar um setor ainda pouco explorado e até então, inacessível, o radiotelescópio BINGO representa um dos grandes projetos de cosmologia a serem concretizados nos próximos anos. Através da captação de sinais de rádio no comprimento de onda na faixa de 21cm, o empreendimento pretende produzir mapas de intensidade de sinal de forma a obter uma referência para a distribuição de matéria no universo e assim estudar as propriedades das Oscilações Acústicas de Bárions e do setor escuro do universo.

A contaminação dos dados, no entanto, dificulta a produção de mapas acurados e a análise precisa dos dados. Assim, neste trabalho buscou-se compreender como se forma uma figura característica de contaminação denominada wedge e em seguida analisar seus efeitos para a produção dos mapas de intensidade e a análise de dados.

Palavras-chave: BAO. Radiotelescópio BINGO. Efeito wedge.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 DESENVOLVIMENTO	3
2.1 O projeto BINGO	3
2.2 Oscilações Acústicas de Bárions - BAO	4
2.3 Efeito Wedge	5
3 CONCLUSÕES	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes temas de pesquisa e desenvolvimento científico da atualidade compreende o estudo das Oscilações Acústicas de Bárions (BAO), oscilações na matéria produzidas no universo primordial. Isto se deve ao fato de que as BAO representam uma das formas mais poderosas de se estudar as propriedades da energia escura (WUENSCHÉ et al., 2022) e assim, compreender melhor os processos de formação e evolução de estruturas no universo. Uma vez que as BAO foram produzidas em um período no qual o universo era muito jovem, elas nos permitem revisitar seu passado e estudar a física da era em que os fótons estavam presos aos núcleos de hidrogênio, impedindo que a radiação, e consigo a informação, se propagasse livremente e chegasse aos equipamentos de medida. Somente após o Universo tornar-se neutro, com os elétrons e prótons formando átomos de hidrogênio, o caminho livre médio dos fótons passou a ser da ordem do raio do próprio Universo na época. Esses fótons constituem o que conhecemos hoje por Radiação Cósmica de Fundo (em inglês, CMB). A propagação dos fótons da época da formação da CMB até hoje é que permite o estudo das condições físicas do Universo jovem.

É neste cenário que o radiotelescópio BINGO (Baryon Acoustic Oscillations In Neutral Gas Observations) surge, como uma colaboração internacional, com o objetivo de monitorar as BAO através da transição hiperfina do hidrogênio neutro (HI), no comprimento de onda de 21 cm. No entanto, diversos desafios estão presentes durante a realização do projeto e um destes é centrado na compreensão e mitigação da contaminação dos dados obtidos. Ao realizar medidas astrofísicas, o sinal emitido na faixa de 21 cm está sujeito ao efeito de contaminação por diversas fontes, como o sinal oriundo de fontes galácticas e extragalácticas, emissão em radiofrequência terrestre produzidos pelo homem e ruído produzido do próprio instrumento de medida. Tal contaminação afeta diretamente os dados obtidos, alterando-os e não permitindo uma análise acurada de suas propriedades e das informações que carregam. Um dos efeitos da contaminação é conhecido como efeito *wedge*, no qual o sinal da emissão galáctica, que é muito mais intenso do que o sinal que se quer captar (do HI), interage com a contaminação advinda do radiotelescópio. Essa interação cria uma região, no espaço de Fourier (correspondente às escalas físicas que se observa no céu) no formato de "cunha" (em inglês, "wedge") nos mapas de intensidade, dentro da qual não se pode observar o sinal cósmico (SEO; HIRATA, 2016; MORALES et al., 2012).

Algumas formas de minimizar os efeitos do *wedge* na produção de mapas de inten-

sideade foram propostas em diversos artigos (LIU; SHAW, 2020; MODI et al., 2019; ZHU et al., 2018) e representam alternativas válidas para a resolução do problema, mas esbarram em dificuldades práticas, como a perda de parte do sinal em regiões próximas ao *wedge*. Assim, ao longo desta iniciação científica foi abordado o problema do *wedge*, realizando-se um levantamento bibliográfico com o objetivo de criar uma base teórica para compreender os efeitos do *wedge* na operação do radiotelescópio BINGO, suas implicações para a cosmologia moderna e formas de minimizar seu efeito nas medidas de BAO.

2 DESENVOLVIMENTO

O setor escuro, compreendido pela matéria e energia escura, embora componham cerca de 90% da matéria e energia no universo, ainda é a fração menos compreendida deste. Como a matéria escura não interage eletromagneticamente, apenas gravitacionalmente, realizar medições ou estudos sobre ela não é uma tarefa trivial. Neste sentido, o radiotelescópio BINGO busca estudar o setor escuro, particularmente as propriedades da energia escura, através da investigação das Oscilações Acústicas de Bárions. As medidas do BINGO ocorrem num intervalo de redshift $0.127 < z < 0.449$, correspondendo a um intervalo de frequências $980 < \nu < 1260$ MHz, correspondendo a uma época em que a dinâmica do Universo passou a ser dominada pela energia escura. Estas medidas possibilitam o estudo de um problema físico cujas propriedades ainda são pouco conhecidas e compreender melhor a formação e evolução do universo.

2.1 O projeto BINGO

Baryon Acoustic Oscillations from Integrated Neutral Gas Observations (BINGO) será o primeiro radiotelescópio a detectar BAO por meio de ondas de rádio. O instrumento faz parte de uma colaboração multinacional e será instalado na Paraíba, observando o céu em frequências entre 980 to 1260 MHz, com uma resolução angular de aproximadamente 40 minutos de arco (WUENSCHÉ et al., 2022).

O BINGO fará um mapeamento de intensidade da emissão de HI em 21 cm, *redshiftada* para o intervalo de frequências mencionado no parágrafo anterior. Essas transições ocorrem por uma variação do spin do elétron, que está em um estado excitado e ao voltar ao estado fundamental, emite energia na forma de radiação na faixa de 21cm (MODI et al., 2019). Como o hidrogênio é o elemento mais comum no universo, a detecção de tal emissão permite gerar mapas de intensidade de 21 cm, que correspondem à distribuição de matéria no universo. Estes configuram-se como recursos que mapeam as emissões do hidrogênio e uma vez que regiões mais ricas no elemento representam regiões com maior intensidade de emissão, já que há maior número de agentes responsáveis pela transição, estas são também regiões com maior acúmulo de matéria (WUENSCHÉ et al., 2022).

Desta forma, o projeto busca contribuir para o desenvolvimento científico ao trazer uma nova possibilidade de estudo em uma área muito explorada, mas ainda pouco conhecida, explorando o chamado setor escuro. O BINGO ainda será capaz de obter medidas que auxiliam na compreensão das chamadas rajadas rápidas de rádio (em

inglês, Fast Radio Bursts - FRB) e Pulsares. No campo tecnológico, a tecnologia e os processos empregados para o desenvolvimento e construção dos itens necessários ao telescópio, apresentam aplicação em outras áreas e oportunidades para a indústria nacional, como explicitado no resumo do projeto. (REF)

2.2 Oscilações Acústicas de Bárions - BAO

Nos instantes iniciais do universo, quando matéria e energia ainda estavam acopladas, pequenas variações de densidade criaram poços de potencial gravitacional, que atraíram a matéria bariônica e escura. No entanto, a matéria atraída era composta de gás, que ao ser comprimido nestes poços de potencial aqueceu, emitindo radiação que por sua vez exerce pressão sobre o sistema (LOPES, 2020). Esta oscilação entre atração gravitacional e pressão de radiação sobre a matéria gerou flutuações na distribuição espacial da matéria.

Em consequência da expansão do universo, elétrons e prótons se combinaram para formar HI e ocorreu o consequente desacoplamento entre matéria e radiação. Com a ausência de fótons para impedir a evolução gravitacional dessas "perturbações de densidade", as primeiras estruturas do universo foram sendo formadas. As oscilações acústicas de bárions são consequência dessas perturbações de densidade.

Tais ondas ao se propagarem carregaram consigo bárions e fótons, que permaneceram juntos até que o universo se resfriasse, permitindo que a radiação se desacoplasse da matéria. Os fótons então se espalharam pelo universo e os bárions ficaram contidos em anéis de alta densidade de matéria, definindo um "raio primordial", que é o raio das BAO no momento do desacoplamento, no qual a matéria se organizou. A medida que o universo se expandiu, as dimensões das BAO se expandiram na mesma proporção. Logo, conhecendo a medida do raio primordial e sua variação pode-se estabelecer uma relação para a expansão do universo, fazendo com que as BAO ajam como "régua-padrão" da cosmologia.

Como as BAO organizaram a matéria após o desacoplamento em seus anéis de alta densidade, ao mapear a distribuição de tal matéria utilizando a emissão de 21cm nos mapas de intensidade, o BINGO busca trazer uma visão acerca da evolução das BAO no universo em grande escala e portanto caracterizar tais oscilações, de modo a permitir um estudo aprofundado da expansão do universo e de seu setor escuro, bem como dos seus momentos primordiais.

2.3 Efeito Wedge

Uma forma de se estudar as emissões em 21cm é construindo mapas de intensidade, ou seja, mapas integrados de uma grande região do céu que mostram a emissão do sinal em radiofrequência, permitindo uma leitura em grande escala da distribuição de matéria no universo. No entanto, a construção destes mapas está submetida a um problema de contaminação de dados, resultado da emissão de fundo oriunda de fontes galácticas e extragalácticas, além da contaminação própria do instrumento (SEO; HIRATA, 2016). Tal contaminação gera uma região no mapa de emissão da qual não se obtém informações, criando uma janela de observação e uma região opaca. A esta região inacessível, foi dado o nome de wedge, por ter um formato de cunha nos mapas de emissão. O efeito é consequência da contaminação do próprio instrumento de medida no chamado k-space, que é o espaço de Fourier em números de onda k (ZHU et al., 2018).

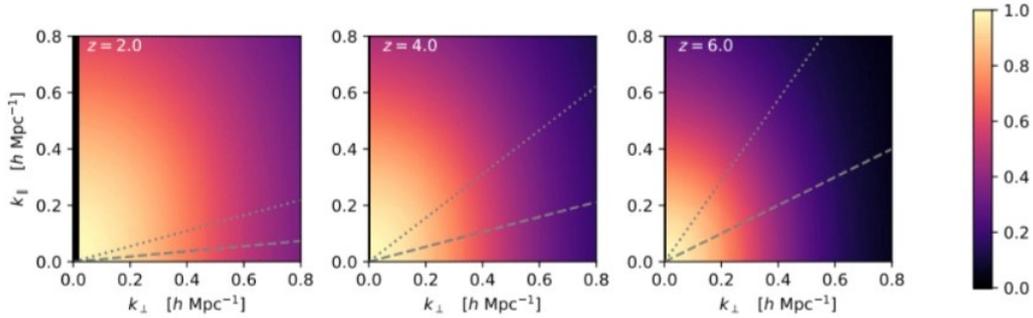


Figura 2.1 - Representação do sinal recebido em relação aos números de onda k_{\parallel} e k_{\perp} . Na direita temos $z=2$, no meio $z=4$ e na esquerda $z=6$. As linhas pontilhada e traçada representam previsões pessimistas e otimistas para o wedge da contaminação de fundo. Fonte: (MODI et al., 2019).

Assim, após o estudo das consequências do efeito wedge para as medidas, através da leitura de artigos selecionados, o trabalho voltou-se para a compreensão de formas de se eliminar ou suavizar a contaminação. No entanto, por se tratar de um problema complexo e que exige grande tempo de dedicação, optou-se por seguir os estudos da área em um momento posterior ao desenvolvimento desta iniciação científica, como um possível tema de pesquisa durante a realização do mestrado.

3 CONCLUSÕES

O estudo da física do universo primordial permitirá uma nova visão sobre os processos evolutivos das estruturas cosmológicas, trazendo um aprofundamento do entendimento científico acerca de sua formação, aglutinação e, mais recentemente, do efeito da aceleração da expansão no processo da formação das grandes estruturas. Projetos como o radiotelescópio BINGO são empreendimentos essenciais ao avanço científico, pois acessarão uma grande região do céu, tanto em área projetada, quanto em hipervolume (correspondendo a cerca de 30% da idade do Universo) e produzirão informações sobre a evolução das estruturas em diferentes épocas, contribuindo para a caracterização das BAO em rádio e das propriedades da Energia Escura.

O problema da contaminação dos chamados "foregrounds", especialmente a formação do *wedge* nos mapas de intensidade, representa um dos desafios a serem superados na análise dos dados produzidos pelos instrumentos que medem a emissão em 21 cm. É importante, portanto, compreender suas implicações para as medidas do BINGO e desenvolver técnicas que suavizem tais contaminações e permitam a produção de mapas mais acurados e, conseqüentemente, mais adequados às análises cosmológicas. A continuidade desse trabalho será feita durante o programa de mestrado, que será realizado na Divisão de Astrofísica do INPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LIU, A.; SHAW, J. R. Data analysis for precision 21 cm cosmology. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, IOP Publishing, v. 132, n. 1012, p. 062001, 2020. 2
- LOPES, C. O. d. S. Oscilações acústicas de bárions e sua importância. Universidade Federal de São Paulo, 2020. 4
- MODI, C.; WHITE, M.; SLOSAR, A.; CASTORINA, E. Reconstructing large-scale structure with neutral hydrogen surveys. **Journal of Cosmology and Astroparticle Physics**, IOP Publishing, v. 2019, n. 11, p. 023, 2019. 2, 3, 5
- MORALES, M. F.; HAZELTON, B.; SULLIVAN, I.; BEARDSLEY, A. Four fundamental foreground power spectrum shapes for 21 cm cosmology observations. **The Astrophysical Journal**, IOP Publishing, v. 752, n. 2, p. 137, 2012. 1
- SEO, H.-J.; HIRATA, C. M. The foreground wedge and 21-cm bAO surveys. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, The Royal Astronomical Society, v. 456, n. 3, p. 3142–3156, 2016. 1, 5
- WUENSCHÉ, C. A.; VILLELA, T.; ABDALLA, E.; LICCARDO, V.; VIEIRA, F.; BROWNE, I.; PEEL, M. W.; RADCLIFFE, C.; ABDALLA, F. B.; MARINS, A. et al. The bingo project-ii. instrument description. **Astronomy & Astrophysics**, EDP Sciences, v. 664, p. A15, 2022. 1, 3
- ZHU, H.-M.; PEN, U.-L.; YU, Y.; CHEN, X. Recovering lost 21 cm radial modes via cosmic tidal reconstruction. **Physical Review D**, APS, v. 98, n. 4, p. 043511, 2018. 2, 5

