

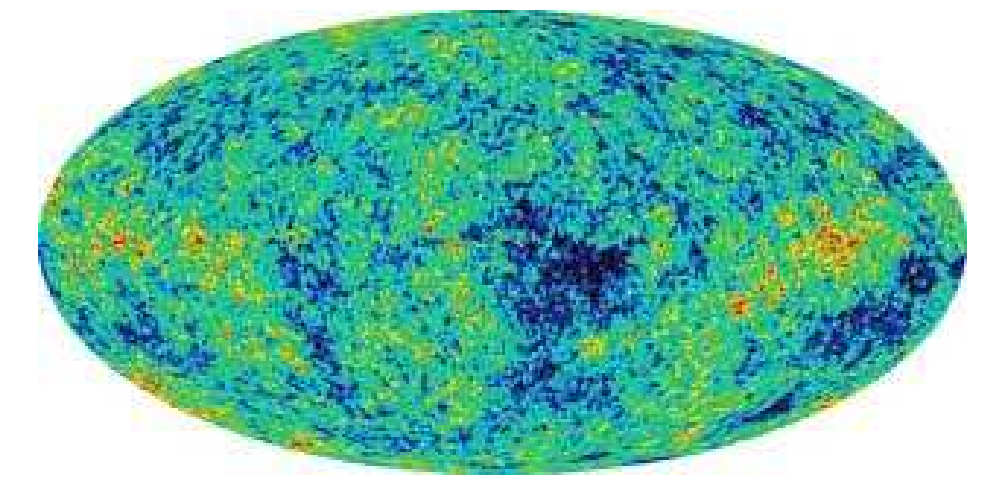
OS LIMITES NAS MASSAS DOS NEUTRINOS PELA COSMOLOGIA

Autor: César Peixoto Ferreira(e-mail:cesarpferreira@gmail.com)

Orientadores: Prof. Dr. Marcelo Moraes Guzzo(Orientador) e Fernando Rossi Torres

Instituto de Física "Gleb Wataghin"-IFGW, UNICAMP

Apoio Financeiro: PIBIC/CNPq(Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)



Palavras-Chave: Neutrinos-Cosmologia-Massa

1. Introdução:

A descoberta recente de que Neutrinos possuem massa criou uma corrida para encontrar o seu valor. Embora experimentos terrestres não sejam sensíveis à massa absoluta dos neutrinos, é possível dar a mesma um limite superior usando-se argumentos cosmológicos. Neste trabalho buscamos mostrar como a Cosmologia pode limitar a massa dos neutrinos, descrevendo o Modelo Cosmológico Padrão e o impacto de neutrinos massivos sobre o mesmo.

2. Metodologia:

O projeto consistiu em duas partes. Na primeira estudou-se o Modelo Cosmológico Padrão, e na segunda o impacto de neutrinos sobre a Cosmologia. O estudo de Cosmologia, baseado no livro *Modern Cosmology*, de Scott Dodelson, focou no entendimento das componentes do Universo e sua evolução, além de um estudo de formação de estruturas. O estudo do impacto de neutrinos massivos sobre observáveis cosmológicos foi feito analisando o limite de Gerstein-Zeldovich e verificando os limites que os dados experimentais cosmológicos colocam sobre a massa dos neutrinos.

3. Resultados e discussão:

Aplicando as equações de campo de Einstein a um Universo dotado de uma métrica FRW(que basicamente diz que ele é plano e em expansão) e com um tensor energia-momento de um fluido homogêneo e isotrópico, obtemos as equações de Friedmann:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3}$$

$$H^2 + \dot{H} = \left(\frac{\ddot{a}}{a}\right) = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p)$$

Que descrevem a evolução do Universo. Destas equações é possível deduzir a existência de uma singularidade inicial(chamada 'Big Bang'), uma vez que $a(t) \rightarrow 0$ em um tempo finito no passado, t_0 , chamado 'Idade do Universo'.

No Modelo Cosmológico Padrão, o Universo tem 4 componentes principais: Radiação(menos de 1% do total), Matéria Bariônica(5%), Matéria Escura(25%) e Energia Escura(70%). Cada uma evoluiu de maneira diferente, e isso afeta a história do Universo: Este foi dominado por radiação de 0 a 70.000 anos, por matéria de 70.000 a 5 bilhões de anos, e por Energia Escura daí por diante. Tal comportamento é mostrado no gráfico 1.

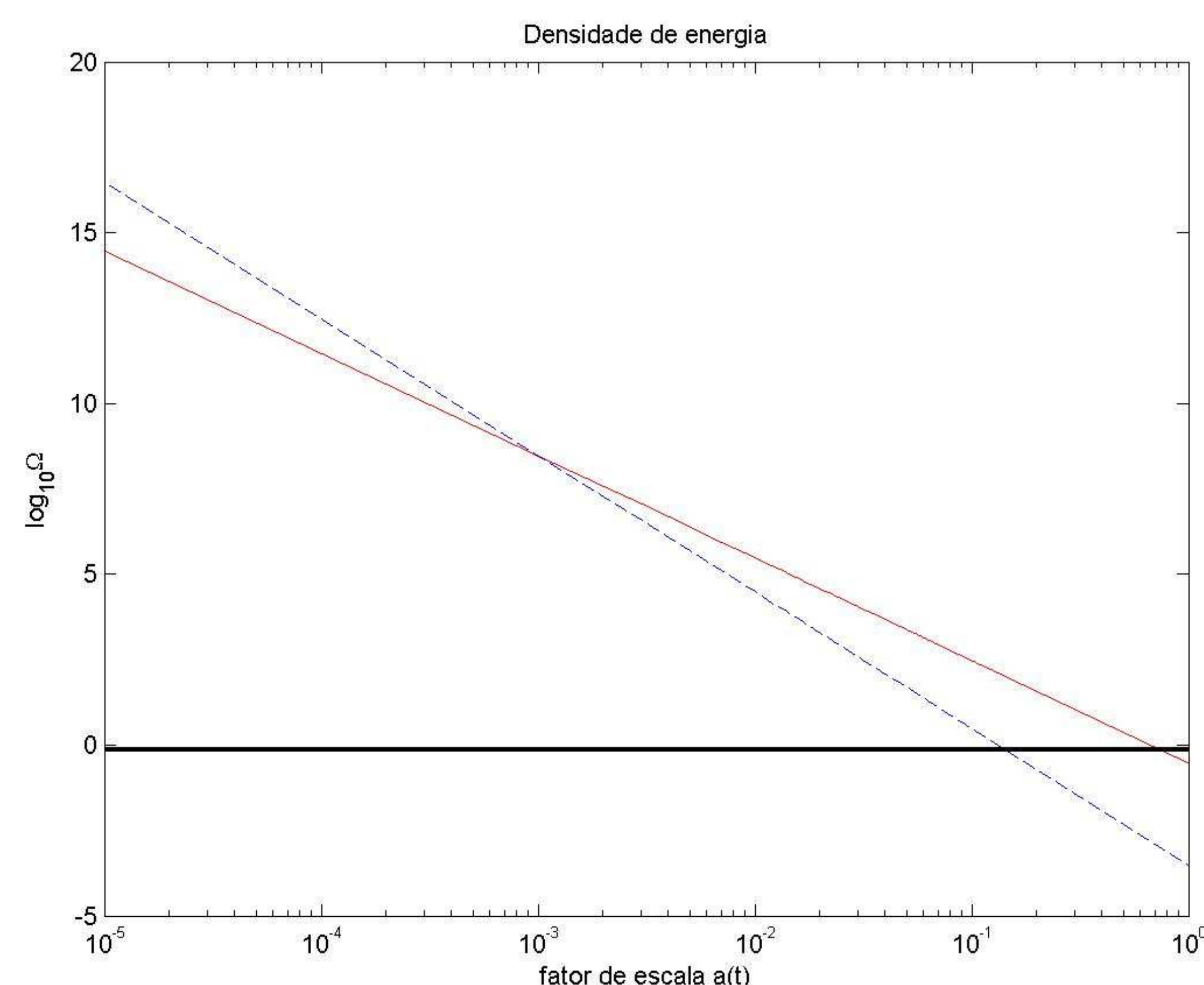


Gráfico 1: Evolução das densidades de energia das principais componentes do Universo em função do fator de escala, $a(t)$: Radiação(azul tracejado), Matéria(Vermelho) e Energia Escura(preto). A época em que ocorre a igualdade de matéria-radiação(interseção das linhas vermelha e azul) é afetada pela presença de neutrinos com massa.

As equações de Einstein dotadas da métrica FRW e do tensor especificado anteriormente descrevem um Universo *perfeitamente* homogêneo e isotrópico. Porém nesse caso nunca haveria regiões mais densas que outras, e estruturas não poderiam formar-se por colapso gravitacional. Logo é necessário perturbar a métrica adotada, de modo a que se permita o surgimento de pequenas inomogeneidades e anisotropias.

Perturbações na métrica geram perturbações nas funções de distribuição de fótons, neutrinos e matéria. Após um cálculo extenso, obtém-se o seguinte conjunto de equações diferenciais que regem a formação de estruturas no cosmos.

$$k^2\Phi + 3H(\dot{\Phi} - \Psi H) = 4\pi G a^2[\rho_{dm}\delta + \rho_b\delta_b + 4\rho_\gamma\Theta_0 + 4\rho_\nu N_0]$$

$$k^2(\Phi + \Psi) = -32\pi G a^2[\rho_\gamma\Theta_2 + \rho_\nu N_2]$$

Que descreve como perturbações na métrica(Φ e Ψ) afetam as distribuições de fótons, neutrinos e matéria(cujas funções perturbativas são Θ , N e δ). Junto com outras 6 equações, e com condições iniciais determinadas pela teoria da inflação, a evolução destas perturbações pode ser especificada. Da evolução na perturbação de matéria, δ , é possível traçar o *espectro de potência* para a matéria, que descreve como a matéria está distribuída. Os efeitos de neutrinos massivos sobre o espectro de potência da matéria são mostrados no gráfico 2:

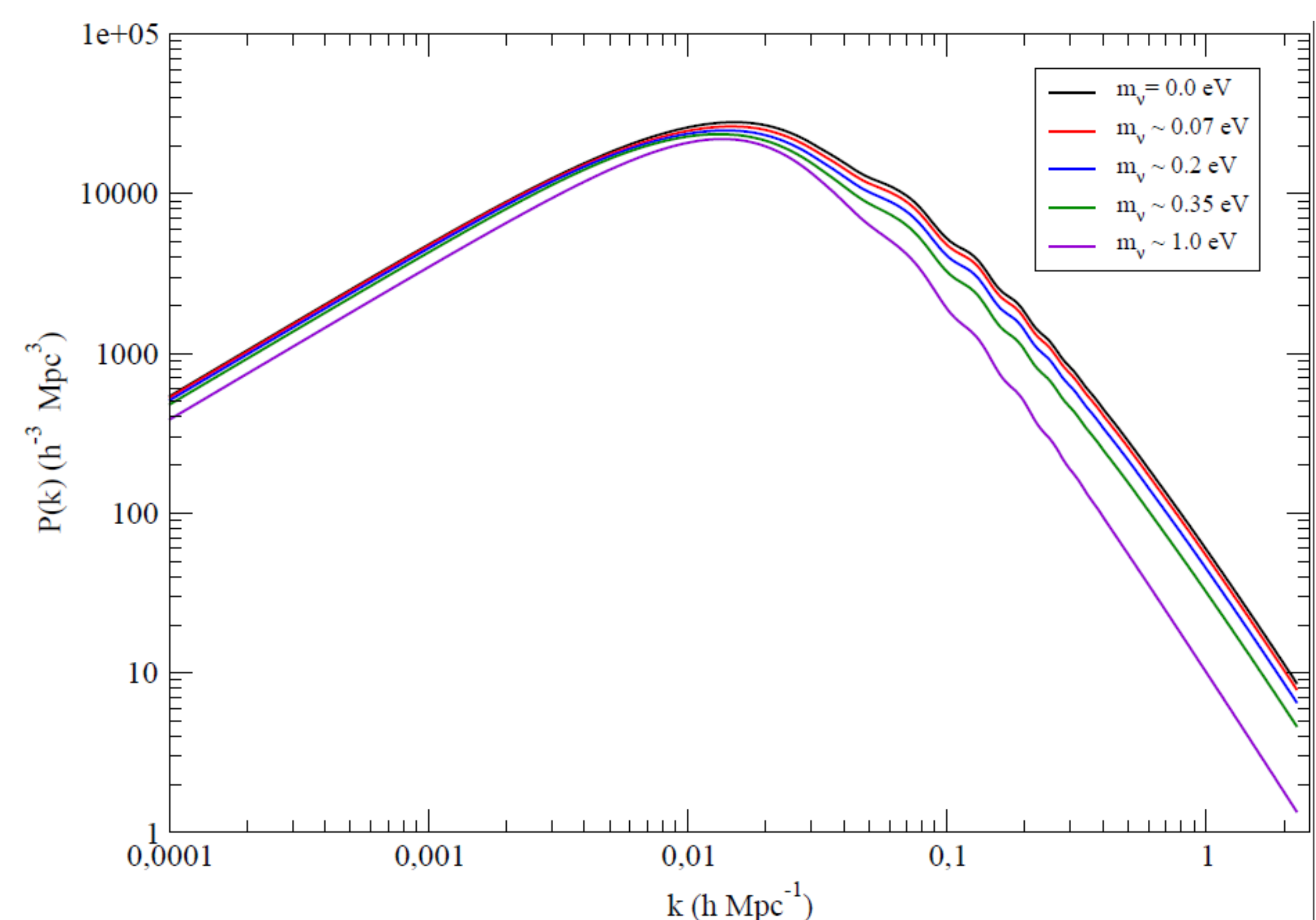


Gráfico 2: Espectro de Potência para a matéria(bariônica e escura) para diferentes massas de neutrinos. Como principais efeitos, neutrinos massivos atrasam a igualdade matéria-radiação(o pico do espectro), e quando tornam-se não-relativísticos diminuem o valor de $P(k)$.

Sabendo que a densidade de energia dos neutrinos cosmológicos massivos não pode ser maior que a densidade total de energia da matéria, obtemos $\sum m_j \leq 13eV$, conhecido como limite de Gerstein-Zeldovich. Se os 3 tipos de neutrinos forem degenerados, obtemos $m_j \leq 4,3eV$. Usando informações de espectro de potência da matéria, anisotropias na CMB e outras observações cosmológicas, o limite mais robusto até o momento para massas dos neutrinos é $\sum m_j \leq 0,42eV$.

4. Conclusões

Neste trabalho foi feita uma revisão dos fundamentos da Cosmologia moderna, estudando-se o Modelo Cosmológico Padrão, o que permitiu entender o processo de formação de estruturas, o espectro de potência e como neutrinos massivos afetam eventos cosmológicos. Neutrinos com massa atrasam a igualdade matéria-radiação e diminuem o espectro de potência da matéria para escalas menores. Usando-se argumentos gerais, obtém-se o limite de Gerstein-Zeldovich, com $\sum m_j \leq 13eV$. Dados experimentais do WMAP, SDSS, de Floresta Alfa de Lyman e Supernovas, fornecem um limite mais robusto de $\sum m_j \leq 0,42eV$.

5. Referências Bibliográficas

- S.Dodelson, "*Modern Cosmology*", Amsterdam, Netherlands: Academic Press. (2003), 440p.
- R. Cowsik e J. McClelland, "*An Upper Limit on the Neutrino Rest Mass*", Phys. Rev. Lett. 29, 669 (1972).
- U. Seljak et al. [SDSS Collaboration], Phys. Rev. D 71, 103515 (2005) [arXiv:astro-ph/0407372].