

INFLUÊNCIA DA NÃO GIROTROPIA DOS ELÉTRONS NA PROPAGAÇÃO DE ONDAS PARALELAS VIA SIMULAÇÕES PIC (PARTICLE-IN-CELL)

ROBERTA GONÇALVES SCHMITZ¹; FERNANDO JAQUES RUIZ SIMÕES JUNIOR.²

¹Universidade Federal de Pelotas – beta.schmitz@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – fernando.simoies@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Plasmas magnetizados podem ser descritos utilizando uma função de distribuição do tipo $F = F(v_{\parallel}, v_{\perp})$, onde a velocidade possui componentes na direção paralela e perpendicular ao campo magnético ambiente. Entretanto, em plasmas espaciais, frequentemente são encontradas populações de partículas cuja função de distribuição não depende apenas das velocidades, depende também do ângulo de giro ϕ em relação à linha de campo. Quando a distribuição de partículas é simétrica ao redor da linha de campo magnético, isto é, $\phi = 2\pi$, o feixe é dito girotrópico. Por outro lado, quando há uma quebra de simetria em relação à linha de campo magnético o feixe é dito não girotrópico (MOTSCHMANN, 1997).

Em um meio estável a não girotropia pode introduzir energia livre no sistema, propiciando a formação de instabilidade e o crescimento de ondas eletromagnéticas ou eletrostáticas. Mas se o sistema já possui energia livre suficiente que possibilite o surgimento de instabilidades, a não girotropia pode contribuir para o acoplamento dos modos de propagação paralela no plasma (BRINCA, 2000, 1992, 1993).

A ocorrência da não girotropia está relacionada a três condições de plasma: primeiro, quando as dimensões dos processos não homogêneos do plasma são menores que o raio de giro das partículas carregadas, o que ocorre na presença de intensos gradientes de campo magnético gerados em regiões de transição de domínios magnéticos como, por exemplo, no arco de choque terrestre (Earth's Bow Shock). Antes do choque os fenômenos são regidos pelo campo magnético interplanetário e após o choque passam a ser regidos pelo campo magnético terrestre, ou regiões de reconexão magnética. Segundo, quando ocorrem produção e perdas no espaço de velocidade das partículas devido à recombinação e ionização de partículas. Este processo produz uma diferença de densidade de partículas no plano perpendicular ao campo magnético ambiente. A terceira possibilidade ocorre quando as escalas não estacionárias do plasma são menores que o período de giro das partículas. Este fato gera uma modulação na função de distribuição, produzindo uma rotação com um período de giro. O resultado é caracterizado por uma estrutura que gira no espaço com o formato de uma hélice (LEUBNER, 2003; MOTSCHMANN, 1997).

Recentes trabalhos têm sugerido um novo mecanismo para o processo de geração eletromagnética em emissões de rádio solar tipo III (PECHHACKER, 2012a; SCHMITZ, 2013; TSIKLARI, 2011). Neste mecanismo distribuições não girotrópicas desempenham importante papel no processo de emissão.

Neste trabalho será analisada a influência da não girotropia de um feixe de elétrons no acoplamento entre os modos eletromagnéticos com propagação paralela ao campo magnético na presença de um plasma de fundo girotrópico. Serão realizadas simulações computacionais com base nos resultados teóricos já

obtidos, após solução numérica da relação de dispersão de plasma não girotrópico (SIMÕES, 2011).

2. METODOLOGIA

O método utilizado para a realização do trabalho é simulação por partículas, via PIC-code (Particle in Cell). Para a realização das simulações é utilizado o código numérico KEMPO 1D (Kyoto university's ElectroMagnetic Particle cOde) (OMURA, 1993), o qual calcula as equações de movimento, de Maxwell e de continuidade de forma auto-consistente. O código foi modificado a fim de considerar a não girotropia dos elétrons.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados mostram um aumento na energia magnética devido à introdução da distribuição não girotrópica, representado na Figura 1. Esta energia é associada à emissão eletromagnética de ondas.

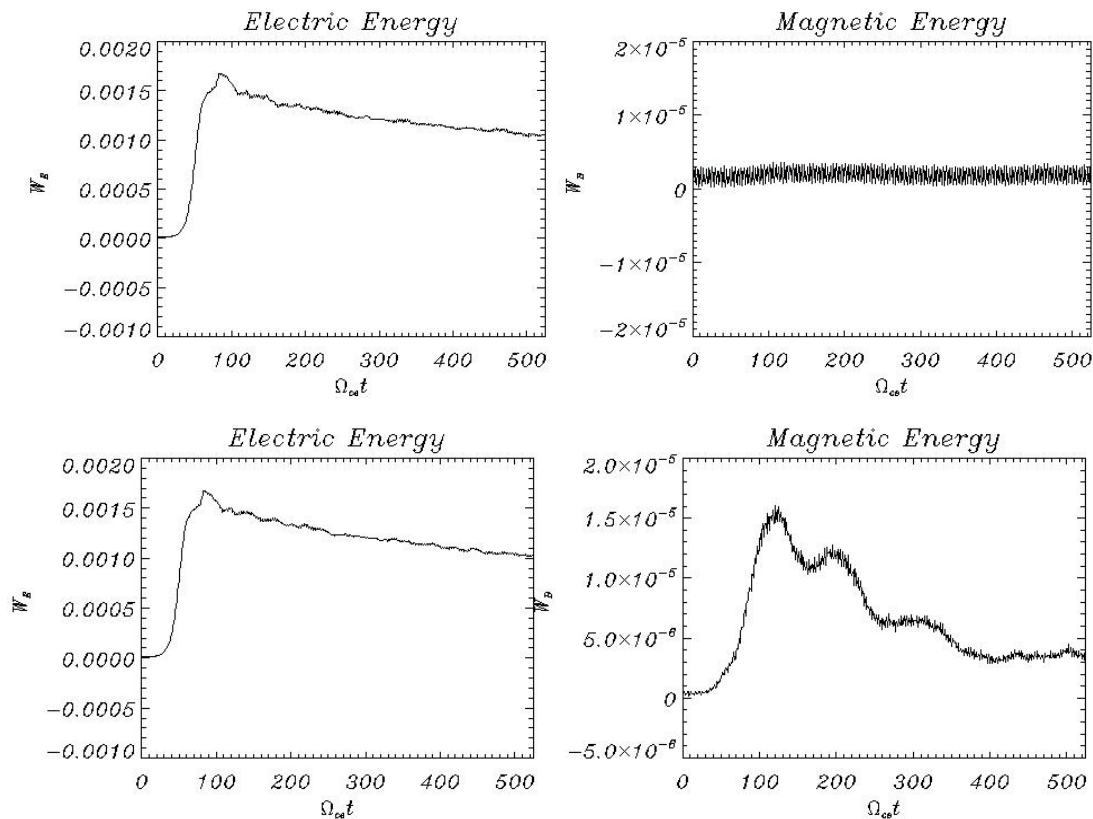


Figura 1 - Energias elétrica (esquerda) e magnética (direita) para as espécies girotrópicas (quadro superior) e não girotrópicas com $\phi = 45^\circ$ (quadro inferior).

O espaço de fase das partículas está representado na Figura 2. No quadro esquerdo é apresentada a distribuição girotrópica e no quadro direito a não girotrópica no instante inicial da simulação. O plasma de fundo está representado pela cor preta e os feixes girotrópico e não girotrópico pela cor vermelha.

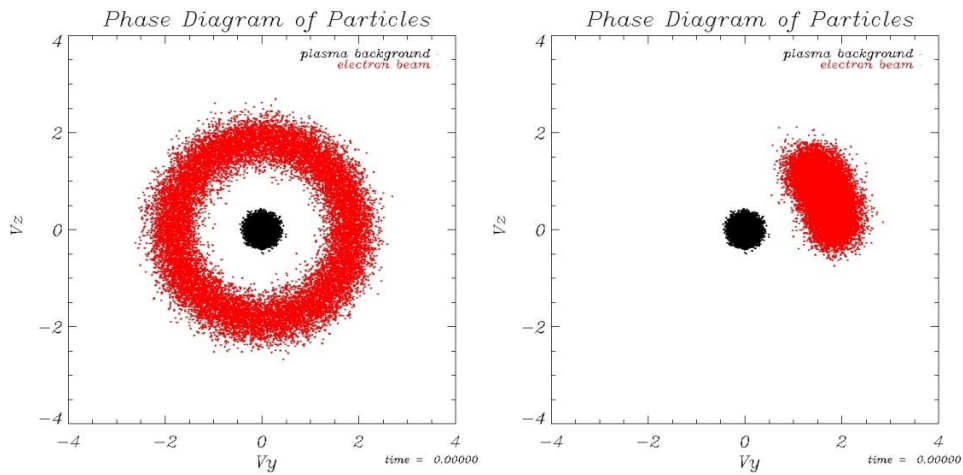


Figura 2 – Espaço de fase das partículas. Espécie girotrópica representada no quadro à esquerda e espécie não girotrópica no quadro à direita.

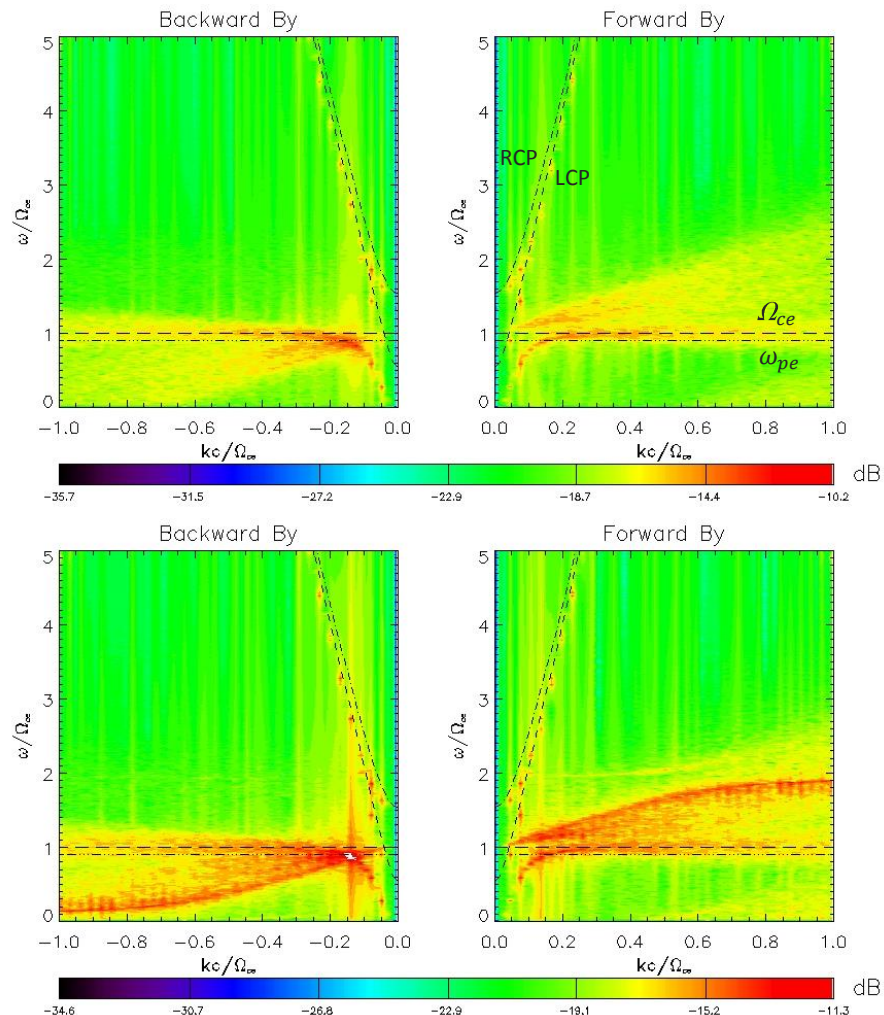


Figura 3 - Diagrama $\omega \times k$ para as espécies girotrópica (quadro superior) e não girotrópica (quadro inferior).

Na Figura 3 é apresentado o diagrama $\omega \times k$, onde nota-se uma intensificação da componente eletromagnética no caso não girotrópico, quando comparado com o caso girotrópico. É possível observar os modos circularmente polarizado à esquerda (LCP) e circularmente polarizado à direita (RCP), que são

ondas transversais que se propagam no plasma paralelamente ao campo magnético.

4. CONCLUSÕES

É possível observar que a não girotopia introduz uma fonte de energia livre no sistema. Essa energia livre é responsável pelo crescimento da energia eletromagnética, relacionada com a energia magnética na Figura 1. Ainda, podemos observar que no caso não girotrópico há uma intensificação das componentes eletromagnéticas, como pode ser visto na Figura 3. O próximo passo será analisar mais diagnósticos a fim de obter resultados mais conclusivos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRINCA, A. L. A first assessment of the free energy in nongyrotropic plasmas. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v.62, n.8, p.701-709. 2000.

BRINCA, A. L. ÁGUA, B. L.; WINSKE, D. Nongyrotropy as a source of instability and mode-coupling. **Geophysical Research Letters**. v.19, n.24, p.2445-2448. 1992.

_____. On the Stability of nongyrotropic ion populations: A first (analytic and simulation) assessment. **Journal of Geophysical Research-Space Physics**. v.98, n.A5, p.7549-7560. 1993.

LEUBNER, M. P. An analytical representation of non-gyrotropic distributions and related space applications. **Planetary and Space Science**. v.51, p.723-729. 2003.

MOTSCHMANN, U.; KAFEMANN, H.; SCHOLER, M. Nongyrotropy in magnetoplasmas: simulation of wave excitation and phase-space diffusion. **Annales Geophysicae**. v.15, p.603-613, 1997.

OMURA, Y.; MATSUMOTO, H. KEMPO1: Technical guide to one-dimensional electromagnetic particle code. **Computer Space Plasma Physics**. p. 21-65, 1993

PECHHACKER, R.; TSIKLARI, D. The effect of electron beam pitch angle and density gradient on solar type iii radio bursts. **Physics of Plasmas**. v.19, n.11, p.112903. 2012a.

SCHMITZ, H.; TSIKLARI, D. The effect of initial conditions on the electromagnetic radiation generation in type iii solar radio bursts. **Physics of Plasmas**. v.20, n.6, p.062903. 2013.

SIMÕES JR., F. J. R.; ALVES, M. V.; CARDOSO, F. R.; COSTA JR., E. Influence of electron nongyrotropy and anisotropy on parallel wave propagation: Numerical solution of dispersion relation. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v.73, p.1511-1519, 2011.

TSIKLARI, D. An alternative to the plasma emission model: Particle-in-cell, self-consistent electromagnetic wave emission simulations of solar type iii radio bursts. **Physics of Plasmas**. v.18, n.5, p.052903. 2011.