

## Universo magnético<sup>1</sup>

Lincensed under  
[CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)Mario Novello<sup>2</sup>

**Resumo:** O Universo Magnético é uma combinação dos campos gravitacional e eletromagnético em interação gerando um universo cíclico sem singularidade. A gravitação é controlada pela teoria da Relatividade Geral e o campo magnético por uma teoria não linear e um procedimento de média que identifica a fonte magnética da curvatura do espaço-tempo como um fluido perfeito. O resultado é um universo espacialmente homogêneo e isotrópico eterno, cíclico, possuindo fases de expansão e colapso e, em alguns períodos, tendo sua expansão acelerada. Neste modelo, não é necessário invocar nenhuma forma desconhecida de energia. Somente os dois campos clássicos conhecidos unificados são suficientes para produzir um cenário cosmológico adaptável integralmente às observações.

**Palavras-chave:** cosmologia; eletromagnetismo; gravitação; autorregulação; não linearidade.

---

<sup>1</sup> Este texto está baseado no artigo Novello *et al.* (2008).

<sup>2</sup> Mario Novello é Professor Emérito do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Doutor em Física pela Universidade de Genebra (1972). Em 1979 descobriu o primeiro modelo cosmológico sem singularidade representando um universo eterno possuindo *bouncing*. Em 2004 recebeu o título de Doutor Honoris Causa da Universidade de Lyon por seus estudos sobre a origem do universo. É autor de inúmeros artigos científicos e dos livros *Máquina do tempo*, *Os sonhos atribulados de Maria Luísa*, *O que é Cosmologia?* e *Do big bang ao universo eterno*, publicados pela Editora Zahar. Publicou também os livros *O universo inacabado* (Editora N-1) e *Os cientistas da minha formação* (Livraria da Física). Este último recebeu um prêmio Jabuti. Em 2023 publicou pela Editora Global o livro *Os construtores do cosmos*. Fundou e dirige a revista eletrônica *Cosmos & Contexto* dedicada a pensar a cultura científica: [www.cosmosecontexto.org.br](http://www.cosmosecontexto.org.br). Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4686-9313>.

## **Magnetic universe**

**Abstract:** The Magnetic Universe is a combination of gravitational and electromagnetic fields in interaction generating a cyclic universe without singularity. Gravitation is controlled by the theory of General Relativity. The magnetic field is controlled by a nonlinear theory and an averaging procedure that identifies the magnetic source of spacetime curvature as a perfect fluid. The result is an eternal, cyclic, spatially homogeneous and isotropic universe, having phases of expansion and collapse and, in some periods, having its expansion accelerated. In this model it is not necessary to invoke any unknown form of energy. Only the two known classical fields are sufficient to produce a cosmological scenario fully adaptable to observations.

**Keywords:** cosmology; electromagnetism; gravitation; self-regulation; nonlinearity.

## Introdução

Recentemente, a demonstração de que todas as observações cósmicas poderiam ser entendidas a partir da hipótese de que o campo magnético seria o principal responsável pela dinâmica do Universo tem sido extensivamente examinada. Essa proposta começou, timidamente, quando no Congresso Solvay de 1958, o cientista Fred Hoyle sugeriu a possibilidade de existir enorme campo magnético primordial capaz de ser o principal responsável pela evolução do universo. Mais tarde, abandonou esta ideia para desenvolver sua teoria da criação contínua de matéria. Em 1965, o cientista russo Yakov Zeldovich explorou a proposta do campo magnético e apresentou argumentos de que ele poderia efetivamente gerar um universo com as características observadas (Zeldovich; Novikov, 1965).

Ao considerar o campo eletromagnético como principal fonte da energia capaz de controlar a evolução da geometria do universo, a primeira questão que aparece é: como compatibilizar este campo com uma geometria espacialmente isotrópica, como requer o cenário padrão baseado na solução de Friedmann? A dificuldade em considerar o campo eletromagnético como fonte da geometria do universo está relacionada à propriedade de que este campo tem caráter vetorial. Isso implica que a existência de um campo eletromagnético deveria fazer aparecerem direções privilegiadas, ou seja, geraria anisotropias não observadas.

Para contornar essa dificuldade, o físico Richard Tolman propôs um critério segundo o qual é possível que o campo eletromagnético possa dar origem a uma geometria do tipo proposto por Friedmann, ou seja, homogênea e isotrópica (Tolman; Ehrenfest, 1930). Para isso, um certo procedimento de média espacial deveria entrar em ação. Desde então, esse método de média tem sido usado e se tornou padrão, permitindo descrever uma geometria correspondente ao universo espacialmente homogêneo e isotrópico. É dessa forma que o cenário padrão da Cosmologia considera a geometria do início da fase atual de expansão como controlada pelos fótons lineares que obedecem à teoria do eletromagnetismo de Maxwell. Essa média reduz o vetor tridimensional elétrico e o magnético a duas únicas funções: E e B. Estas caracterizam completamente a configuração média. Chama-se universo magnético a estrutura composta das equações

da Relatividade Geral (RG), tendo como fonte a configuração do campo eletromagnético cuja média se restringe a  $B$ , ou seja, em que  $E$  se anula.

### Universo magnético

A proposta de Zeldovich foi retomada no século XXI. E cenários cosmológicos onde somente a parte magnética do campo eletromagnético sobrevive têm sido intensamente estudados. A contribuição do campo magnético à energia cósmica possui uma propriedade notável, associada ao processo de média. Diz respeito ao fato de que a evolução temporal do campo magnético médio independe da forma de sua dinâmica e é consequência somente da lei de conservação de energia. Ou seja, qualquer que seja a teoria eletromagnética (seja a forma linear de Maxwell, seja a expressão não linear de Born-Infeld ou seja uma sequência de expressões a determinar sua evolução), a dependência temporal do campo magnético médio é a mesma. A origem dessa propriedade se deve ao procedimento de média que reduz a importância da dinâmica do campo eletromagnético na formação da curvatura do espaço-tempo. Ou seja, a dependência do campo magnético com o tempo é controlada somente pela lei de conservação de energia.

Desde o primeiro modelo cosmológico, proposto por Einstein, um sistema de coordenadas gaussiano tem sido utilizado. Neste sistema, escolhe-se um tempo global e uma superfície tridimensional que chamamos espaço. Essa superfície é entendida como homogênea e isotrópica. Nessa geometria espacialmente homogênea e isotrópica, a única função que a determina completamente é a variação temporal de seu volume. Com efeito, a distância entre dois eventos no espaço-tempo é dada pela forma

$$ds^2 = dt^2 - a(t)^2 d\sigma^2$$

A lei de conservação de energia implica que nesse cenário geométrico o campo magnético varia com o inverso do fator de escala  $a(t)$  elevado à potência 2, isto é,  $B = B(0) \cdot 1/a^2$ , onde  $B(0)$  é uma constante.

Em consequência, em uma teoria não linear, a evolução da geometria descreve um universo possuindo fases de colapso e de expansão gravitacional. Cada vez que a densidade de energia atinge seu valor mínimo o universo passa de uma fase a outra, ou seja, transforma, por exemplo, a contração em uma expansão quando seu volume atinge o valor mínimo. Em outro momento, quando ele está em grande expansão, ocorre o inverso: quando a densidade novamente alcança seu menor valor, o universo passa da fase de expansão ao colapso. Essas fases se sucedem continuamente produzindo uma estrutura cíclica.

É possível entender esse cenário de um universo cíclico como o resultado de uma simetria cósmica entre a fase de energia magnética fraca e a fase de energia magnética forte. Dito tecnicamente, a densidade de energia magnética é invariante se o fator de expansão  $a(t)$  é trocado pelo fator inverso  $1/a(t)$ . Isso permite, de um só golpe e somente com uma só fonte — a energia magnética — resolver tanto o problema da “singularidade inicial” bem como da aceleração atrasada do universo. Na Física, encontramos outras formas de dualidade. Por exemplo, a dualidade campo e partícula no mundo quântico.

### Universo magnético autorregulador (cenário cíclico)

Trabalhos recentes mostraram o importante papel que a eletrodinâmica não linear (NLED) pode ter em duas questões cruciais da Cosmologia, relativas a momentos particulares de sua evolução para regimes de curvatura ou muito grandes ou muito pequenos, ou seja, para fase muito condensada e no atual período de aceleração.

Recentemente (2009), o grupo de Cosmologia do CBPF apresentou um modelo de um cenário cosmológico completo em que o principal fator responsável pela geometria é um campo magnético não linear que produz uma geometria espacialmente homogênea e isotrópica. Neste cenário, distinguimos quatro fases distintas: um período de ricochete, uma era de radiação, uma era de aceleração e um novo período de ricochete.

Já foi demonstrado que na NLED um campo magnético forte pode superar a inevitabilidade de uma região singular típica da teoria linear de Maxwell; na outra situação extrema, que é para campo magnético muito fraco, pode acelerar a expansão. O modelo atual vai um passo além: após a fase de aceleração, o universo se recupera e entra em uma era de colapso. Este comportamento é uma manifestação da invariância sob o mapa dual do fator de escala  $a(t) \rightarrow 1/a(t)$ , uma consequência da simetria inversa correspondente do campo eletromagnético ( $F \rightarrow 1/F$ , onde  $F \equiv F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$ ) da particular teoria NLED. Essa sequência colapso-*bouncing*-expansão-aceleração-*rebouncing*-colapso constitui um elemento unitário básico para a estrutura do universo que pode ser repetido indefinidamente, produzindo o que chamamos de universo magnético cíclico.

Esse modelo de universo controlado pelo campo magnético tem sido largamente investigado com sucesso. Cenários de universos sem singularidade, possuindo *bouncing* e capazes de serem acelerados em fase ulterior, têm atraído a atenção dos cosmólogos. A principal vantagem

desses cenários é que eles não requerem a introdução de matéria nova esdrúxula. Essa forma hipotética de matéria, jamais vista, foi postulada — tendo recebido o atraente nome de energia escura — para explicar uma fase acelerada do universo associada a um modo inusual, aparentemente repulsivo, de gravitação. A energia de origem magnética não é uma nova forma de matéria, mas possui propriedades novas como consequência da não linearidade do campo magnético no cosmos.

Embora a descrição linear do modelo tradicional de Maxwell seja suficientemente boa para descrever grande parte de processos convencionais em laboratórios terrestres e em situações de campo não muito fortes, sua extrapolação para o universo não condiz com a geometria cósmica e as propriedades que ela possui. O esquema linear de Maxwell produz dificuldades formais associadas a uma origem singular do universo, bem como não é compatível com uma fase ulterior acelerada. Processos magnéticos não lineares resolvem estas dificuldades.

Para entendermos as questões atuais da Cosmologia e algumas soluções propostas, é preciso considerarmos os conhecimentos acumulados nestas últimas décadas. Assim, iremos rever brevemente alguns avanços científicos que produziram uma descrição coerente do universo compatível com as recentes observações.

### **O cenário padrão (Friedmann)**

A cosmologia conseguiu avanços notáveis nas últimas décadas. Sabemos, por exemplo, que o universo é um processo dinâmico controlado em seu aspecto global pela interação gravitacional descrita pela teoria da Relatividade Geral. Sabemos também que o volume tridimensional a que chamamos simplesmente de “espaço” varia com o tempo cósmico. Embora isto seja uma escolha de representação, ela tem a vantagem de apresentar uma configuração global do universo dentro dos padrões convencionais que usamos para descrever processos observados em laboratórios terrestres onde a teoria que estabelece a geometria local do espaço-tempo é dada pela relatividade restrita.

A variação do volume com o tempo cósmico proposto pelo cientista russo Alexander Friedmann, há quase um século, provocou a questão crucial de saber se o universo teve um momento único de criação separado de nós por um tempo finito, como em sua proposta original, ou se ele tem um tempo de existência associado a um passado extremamente longínquo, infinito. Com a evolução dos estudos em Cosmologia, várias outras

questões passaram a exibir a dificuldade em considerar esse primeiro cenário de Friedmann como válido ao longo de toda a história do universo. Desde então, diversas propostas têm sido examinadas. Não iremos fazer um inventário dessas propostas para resolver aquelas dificuldades. Limitar-me-ei a descrever somente uma delas, que dá título a este texto (o leitor interessado em mais detalhes pode consultar meu livro *Os construtores do cosmos*, de junho de 2023).

No cenário proposto por Friedmann em 1922, e que se tornou a base do modelo padrão da Cosmologia, toda a geometria depende somente de uma única função do tempo  $a(t)$ , que é uma medida do volume total do espaço tridimensional. Nesse modelo, essa função possui um valor mínimo igual a zero, que foi interpretada como o momento inicial de existência e expansão do universo. A fonte dessa geometria é um fluido perfeito que, nos momentos primordiais, se identificaria com uma radiação, um gás de fótons, no qual a relação entre a pressão e a densidade de energia  $\rho$  se escreve  $p = 1/3 \rho$ . Esta densidade de energia diverge naquele ponto inicial. Não somente a energia tem valor infinito, mas igualmente a curvatura do espaço-tempo diverge. Isso se deve à conservação da energia, pois o campo eletromagnético interpretado como um fluido perfeito implica que a densidade de energia  $\rho$  é proporcional a  $(1/a)^4$ . Ou seja, se a função  $a(t)$  pode assumir o valor zero, então segue que a densidade  $\rho$  vai ao valor infinito. Nesse cenário tradicional vários problemas aparecem, tais como:

- (1) Existência de uma singularidade inicial e o infinito da densidade de energia, provavelmente indicando que ou a fonte dessa geometria deve ser alterada ou a própria dinâmica usada para descrever o campo gravitacional na Relatividade Geral deveria ser alterada;
- (2) Existência de um horizonte cósmico, impossibilitando que se possa entender como o universo em um tempo finito pode atingir um estágio tão homogêneo e isotrópico;
- (3) Incompatível com um estágio ulterior de aceleração da expansão.

Para resolver alguns desses problemas, várias alternativas foram examinadas. Não iremos descrever essas diversas propostas, mas, sim, nos concentraremos em uma só: o Universo Magnético.

## Campos de longo alcance

Existem somente dois campos de longo alcance no universo. Até o começo do século XX, a dinâmica desses campos era descrita por teorias lineares. Na gravitação, a famosa lei de Newton. No eletromagnetismo, as equações lineares de Maxwell. O uso dessas teorias ao longo do tempo produziu a compreensão de um grande número de problemas, desde o movimento dos planetas em torno do Sol até o comportamento de elétrons no interior dos átomos.

No século XX, a dinâmica da força gravitacional foi alterada profundamente por Einstein, em sua teoria da Relatividade Geral. Fenômenos não lineares no eletromagnetismo também apareceram. As razões que levaram os físicos a procurarem teorias mais sofisticadas, de caráter não linear, para essas duas interações, têm origens bem diferentes. No caso da gravitação, seria a compatibilidade com a teoria da Relatividade Especial, pois, na teoria de Newton, a interação gravitacional não se propaga sob forma de uma onda, mas é “instantânea”. No eletromagnetismo, à parte o desenvolvimento da teoria quântica, o principal fator a conduzir os físicos a uma versão não linear foi a presença de singularidades no eletromagnetismo de Maxwell. Uma proposta bem-sucedida foi apresentada por Max Born e Leopold Infeld na década de 1930.

## O campo eletromagnético como energia da evolução cósmica: universo magnético autorregulador

A principal motivação do cenário aqui apresentado está ligada à necessidade de se construir uma teoria na qual uma combinação dos campos de longo alcance gera um universo de comportamento regular.

Partimos da ideia genérica que guiou Max Born na tentativa de construir uma nova Eletrodinâmica não-linear para apresentar um comportamento regular do campo elétrico de um corpo carregado. A aplicação da teoria não linear de Born-Infeld, no contexto cosmológico e no âmbito da Relatividade Geral, mostra um comportamento singular que não é aceitável à luz de sua proposta original. Somos assim conduzidos a uma forma alternativa para a dinâmica que retém todas as boas propriedades do eletromagnético puro da teoria de Born-Infeld, sem implicar sua principal dificuldade quando se trata de Cosmologia. O modelo aqui apresentado exhibe propriedades regulares, sem as dificuldades dos modelos tradicionais. Em particular, tem uma propriedade básica que uma teoria clássica deve perseguir, ou seja, um comportamento regular dos campos combinados da eletrodinâmica e da gravitação em uma estrutura cosmológica.



No artigo do grupo de Cosmologia do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) (Novello; Araújo; Salim, 2009), mostrou-se que no Universo Magnético representando uma geometria do tipo Friedmann-Lemaître, espacialmente homogênea e isotrópica, não há espaço para um comportamento singular — ao contrário da descrição de Einstein-Maxwell e Einstein-Born-Infeld. Este modelo pode ser entendido como uma configuração vácuo-a-vácuo. Para tornar tal modelo mais realista, deve-se introduzir matéria comum que contribui para a densidade total de energia com um termo que, por exemplo, depende do fator de escala como  $(l/a)^3$ . Este termo deve ser adicionado ao cenário acima apresentado. Não é difícil ver que uma fase controlada por tal poeira se interpola entre a fase controlada por  $(l/a)^4$  e a aceleração do vácuo cósmico.

Nesse cenário, a evolução da geometria do universo é dominada integralmente, em toda sua história, pela interação entre os campos magnético e gravitacional. Uma combinação dos dois únicos campos de longo alcance produz a evolução da estrutura métrica do espaço-tempo cujas dinâmicas são controladas pela teoria da Relatividade Geral e por uma teoria não linear para o campo eletromagnético gerada pela invariância dual. Isso implica a existência de um ciclo básico de evolução que se repete a partir da simetria campo forte-campo fraco. Os detalhes dessa estrutura do universo estão contidos no artigo de 2009 e uma síntese é descrita pelas seguintes etapas:

- I. O universo possui uma fase colapsante até atingir um valor mínimo para o seu volume. Neste ponto, a densidade de energia vale zero e o fator de expansão, ou seja, o volume espacial total, tem um mínimo;
- II. Passada aquela fase, o universo inicia uma fase de expansão;
- III. Em momento posterior, uma fase de aceleração acontece;
- IV. Essa fase se encerra quando a densidade de energia volta a ter o valor zero e o universo transforma sua expansão em colapso.

## Referências

DE LORENCI, Vitorio A.; KLIPPERT, Renato; NOVELLO, Mario; SALIM, José M. Nonlinear electrodynamics and FRW cosmology. *Physical Review D*, College Park, MD, v. 65, n. 6, 2002.

NOVELLO, Mario; ARAÚJO, Aline N.; SALIM, José M. Cyclic magnetic universe. *International Journal of Modern Physics A*, Singapore, v. 24, n. 30, p. 5639–5658, 2009.

NOVELLO, Mario; BERGLIAFFA, Santiago Esteban Perez. Bouncing cosmologies. *Physics Report*, Amsterdam, v. 463, n. 4, p. 127–213, 2008.

NOVELLO, Mario; GOULART, Érico; SALIM, José M.; BERGLIAFFA, Santiago Esteban Perez. Cosmological effects of nonlinear electrodynamics. *Classical and Quantum Gravity*, Bristol, v. 24, n. 11, 2004.

TOLMAN, Richard C.; EHRENFEST, Paul. Temperature equilibrium in a static gravitational field. *Physical Review D*, College Park, MD, v. 36, n. 12, 1930.

ZELDOVICH, Yakov B.; NOVIKOV, I. D. 1965. Gipoteza zaderzhavshihsia v raschirenii yader. [A hipótese dos núcleos atrasados em expansão.] *Astronomicheskii Zhurnal*, Moscou, v. 42, 1965.