

Construção de recetores rádio como introdução à Física das Telecomunicações - parte II

Alexandre Aibéo¹, Nuno André², Ricardo Gama³

¹ Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Campus Politécnico de Repeses, 3504-510 Viseu

² VPIphotonics GmbH, Carnotstr. 6, 10587 Berlim, Alemanha

³ Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Lamego, Av. Visconde Guedes Teixeira, 5100-074 Lamego
rgama@estgl.ipv.pt

Colocar em funcionamento um sistema de recepção de frequências ultra baixas (denominadas na sigla inglesa como VLF) de 0 a 96 kHz, suficientemente económico e de fácil construção é, atualmente, uma tarefa acessível a qualquer pessoa com acesso a um computador pessoal. Este é o segundo artigo de uma série dedicada à descrição de atividades destinadas a professores e alunos ensino secundário. Nele, iremos explorar algumas características da antena de campo magnético descrita no primeiro artigo, otimizando assim a sua utilização. Iremos também descrever um pequeno amplificador

de áudio que aumentará o potencial da nossa estação recetora na exploração do rico mundo das frequências ultra baixas.

Introdução

No primeiro artigo desta série, começámos a nossa aventura na fascinante área do VLF. Nele aprendemos a construir um recetor muito elementar que permite a observação de frequências até 96 kHz. Como vimos, o circuito recetor pode ser entendido como um circuito ressonante LC, onde o elemen-

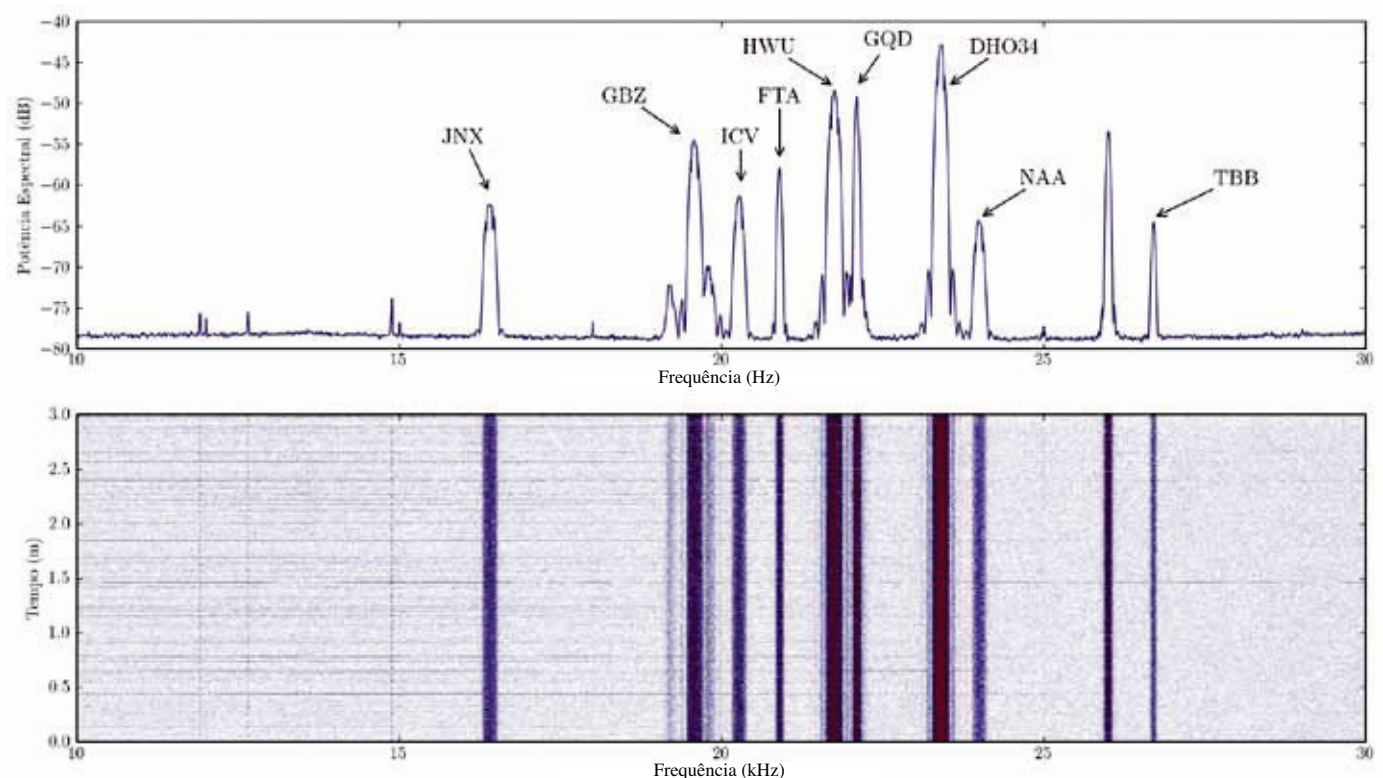


Fig. 1 - Espectro entre 10 kHz a 30 kHz, obtido no dia 2 de Fevereiro de 2011 no Miradouro de São Cristóvão, Serra do Montemuro (41.052°, -7.928°).

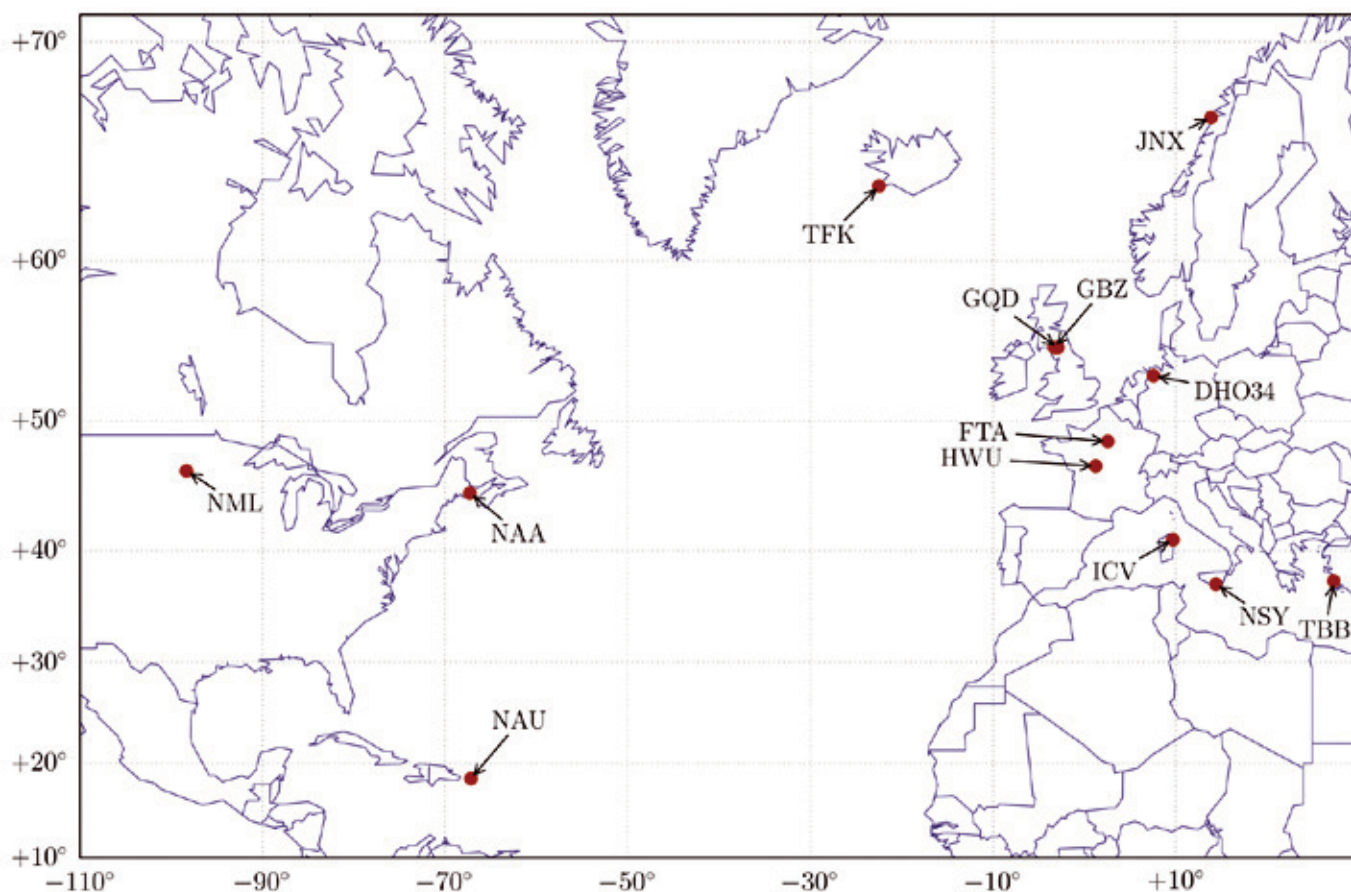


Fig. 2 - Mapa com a localização dos emissores.

to indutor é uma simples bobine de fio de cobre revestido, enrolado numa forma quadrangular, que assume o papel de antena.

Na banda de frequências que vamos receber, podemos encontrar sinais oriundos de estações emissoras de sinal horário, do sistema de rádio-posicionamento russo *ALFA* e, predominantemente, transmissões militares de emissores espalhados pela Europa e América do Norte (Figura 1).

A localização geográfica da grande parte destes emissores é conhecida (Figura 2). Consequentemente podemos tomar partido desta informação para melhorar a receção dos sinais emitidos por uma dada fonte particular.

A antena do nosso recetor pertence a uma classe de antenas conhecidas por antenas de campo magnético, uma vez que será esta componente das ondas eletromagnéticas emitidas pelas fontes de VLF, a principal responsável pela indução do sinal. Uma característica deste tipo de antenas é serem significativamente direccionáveis. Esta é uma propriedade muito vantajosa uma vez que, por um lado permite posicionar a antena para maximizar o ganho da receção de um dado sinal, por outro possibilita a redução do ruído indesejado de uma fonte pontual fixa.

Na primeira parte do presente artigo iremos explorar

a direcionalidade da antena construída. Veremos como na prática isto permite otimizar a utilização da mesma, melhorando consideravelmente as nossas observações. Posteriormente iremos apresentar e analisar um simples amplificador de áudio de fácil construção. Todo o material do pequeno circuito é de fácil aquisição e bastante económico, estando assim ao alcance de qualquer pessoa interessada. Este aperfeiçoamento ao nosso recetor permitirá aumentar a robustez e sensibilidade do nosso sistema, alargando consideravelmente o leque de atividades que podemos realizar com ele.

Direccionalidade da antena

Como sabemos pela Lei de Faraday [1], a tensão induzida na antena é proporcional à variação do fluxo magnético, através da área da mesma. Como a componente do campo magnético da onda recebida, oscila perpendicularmente à direção de propagação da mesma, o fluxo será máximo quando o plano da antena se encontrar na direção de propagação da onda, $\alpha=90^\circ$. Assim, vamos obter um ganho máximo na direção do plano da antena e um ganho nulo na direção perpendicular ao plano da antena (Figuras 3 e 4).

De facto, todos os emissores de VLF emitem ondas polarizadas verticalmente, ou seja, ondas cujo campo magnético oscila horizontalmente. Esta escolha de polarização destina-se a evitar perdas de energia que ocorreriam caso o campo elétrico fosse paralelo à superfície terrestre, originando a sua absorção. Podemos facilmente comprovar a polarização

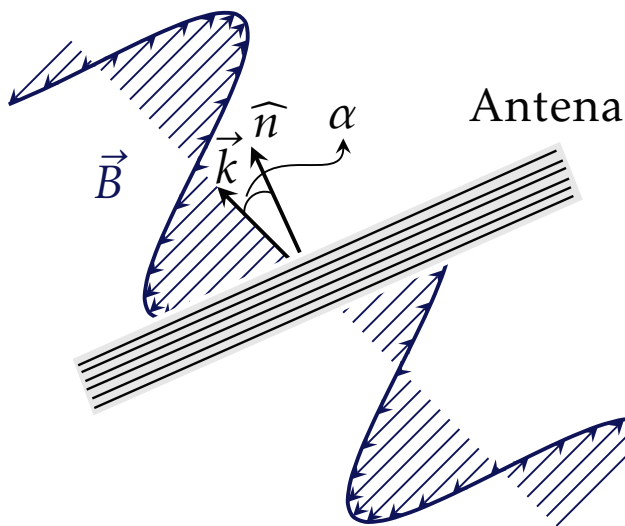


Fig. 3 - Onda eletromagnética incidente na antena.

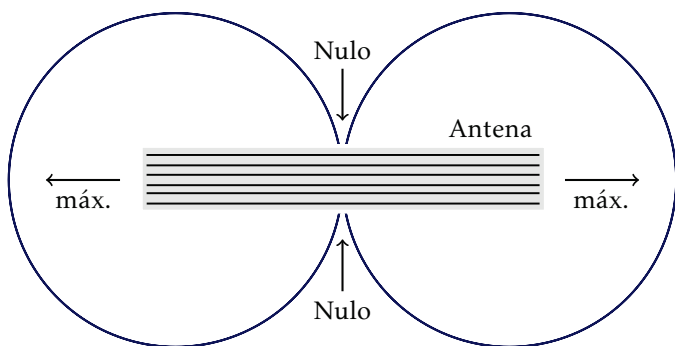


Fig. 4 - Diagrama de radiação da antena.

vertical das ondas de VLF colocando a nossa antena na posição horizontal e observando o que acontece ao espectro recebido.

Na prática, podemos usar esta característica de modo a maximizar o ganho de um sinal que se pretenda receber ou minimizar o ruído recebido das nossas observações, posicionando a antena de modo a que as fontes de ruído estejam na direção do ganho nulo da antena.

Considerando o exemplo da Figura 5, é fácil notar que mudando a direção da antena teremos variações de intensidade das riscas espectrais dos vários emissores. No caso particular do emissor ICV, é bem notório que atinge

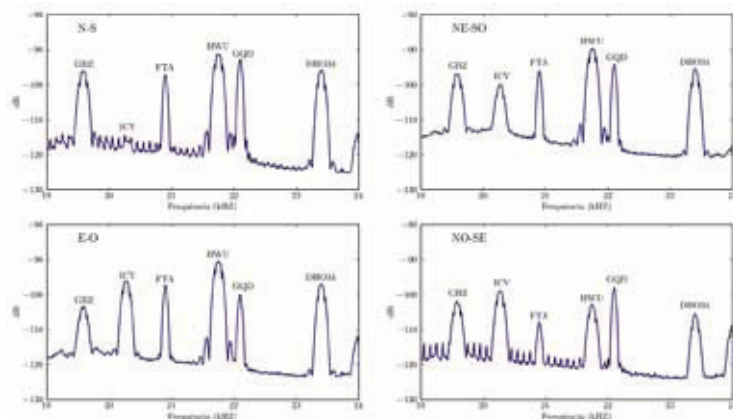


Fig. 5 - Espectro obtido com a antena direcionada em quatro posições.

um máximo quando a antena está na direção E-O e que praticamente desaparece do espectro quando rodamos a antena para a direção N-S. Este comportamento é fácil de compreender se repararmos que este emissor se encontra posicionado na Sardenha e a sua posição, relativamente a Portugal (ver Figura 1), faz com que o trajeto do sinal seja praticamente ao longo do paralelo.

Amplificador

Os sinais que vamos receber são muito fracos. Se em locais mais elevados e isolados se consegue registar um bom espectro, em locais urbanos as interferências tornam praticamente impossível uma boa receção, especialmente se usarmos apenas um recetor com a configuração descrita no artigo anterior.

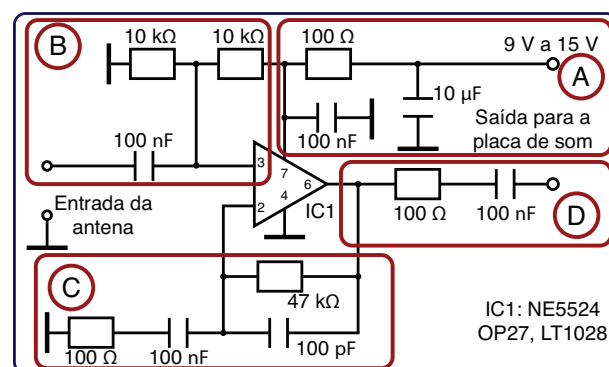


Fig. 6 - Plano esquemático do amplificador.

Para contornar este problema, podemos montar um pequeno circuito que irá amplificar o sinal recebido de modo a que possa ser registado e trabalhado convenientemente. Este circuito foi criado pelo rádio amador alemão Peter Schnoor, que mantém uma estação de VLF em funcionamento *online* [3]. Todas as componentes do circuito são facilmente encontradas em lojas de material de eletrónica e o preço total do circuito não custará mais que alguns euros.

Apesar de podermos sempre montar e usar o circuito como uma caixa negra, uma vez que o seu desenho é bastante simples, vamos tentar perceber os princípios básicos do seu funcionamento.

O circuito apresentado na Figura 6 é composto por quatro blocos, com diferentes funções, que vamos dividir e analisar separadamente para melhor compreensão.

A divisão é feita de modo a seguirmos o percurso do sinal, desde a captação pela antena até à entrada na placa de som do nosso computador:

- A. Filtragem da alimentação do circuito.
- B. Entrada de sinal e polarização do amplificador.
- C. Realimentação do amplificador.
- D. Saída de sinal.

A – Filtragem da alimentação

Como qualquer circuito de amplificação, este gera na sua saída um sinal de maior amplitude que o da entrada, o que implica que seja um circuito ativo, por definição consumidor de energia. Um dos grandes problemas com a alimentação de energia é a sua filtragem. Qualquer variação da tensão de alimentação que não seja filtrada poderá aparecer no sinal de saída devido à capacidade limitada do amplificador a rejeitar. Logo, é de extrema importância uma filtragem adequada, especialmente se os sinais a amplificar forem muito pequenos.

A alimentação é filtrada pelos condensadores de 10 μF e 100 nF e pela resistência de 100 Ω . A razão para utilizar dois condensadores é o facto a sua junção permitir a atenuação do ruído numa banda de frequências maior.

Estes componentes formam um filtro passa baixo, atenuando significativamente o ruído indesejado proveniente da fonte de alimentação.

B – Entrada de sinal e polarização

Uma vez que temos apenas uma alimentação positiva entre 0 e 12 V, precisaremos centrar o sinal numa tensão intermédia, neste caso 6 V.

O sinal proveniente da antena passa por um condensador, eliminando a componente contínua (0 Hz) que o sinal possa ter, bem como as frequências muito baixas. Eliminada a componente contínua, o sinal passa a estar centrado em zero, oscilando entre valores positivos e negativos. Como o circuito apenas é alimentado com tensões positivas, metade do sinal seria eliminado. Assim, para garantir a excursão correta do sinal, temos de o centrar numa tensão positiva pelo menos superior ao módulo da amplitude do sinal. Normalmente, também pelas características da electrónica utilizada, escolhe-se uma polarização de metade da tensão de alimentação, o que permite o máximo de excursão do sinal para esta implementação. Tal pode ser conseguido através das resistências de 100 k Ω . O conjunto actua como divisor de Thevenin, que atenua o valor da tensão de alimentação para metade do seu valor, fornecendo uma componente contínua de polarização à entrada do circuito, e ao mesmo tempo resulta numa resistência de entrada suficientemente elevada para o circuito ressonante da antena manter a sua qualidade.

C – Realimentação

A componente principal do circuito é o amplificador operacional que irá ampliar o sinal recebido. Como o ganho de um amplificador operacional é considerável, queremos que este seja controlado de modo a que o sinal na saída não seja demasiado elevado para a placa de som do computador. Isto é conseguido através da realimentação negativa. Este método

do fornece à entrada negativa do amplificador uma cópia da saída, fazendo com que o ganho seja menor.

A realimentação negativa é calculada através de [4]:

$$\frac{V_{\text{saída}}}{V_{\text{entrada}}} = \frac{100 + 47000}{100} = 1 + \frac{47000}{100} \quad (1)$$

garantindo um adequado fator de amplificação para sinais fracos. Uma alteração possível ao circuito será trocar a resistência de 47 k Ω , mudando assim o ganho, recordando sempre que o ganho será aproximadamente 100 vezes menor que o valor da resistência usada.

O condensador de 100 nF permite a passagem do sinal da antena para o amplificador, ao mesmo tempo evitando que uma corrente contínua, gerada pela polarização do amplificador, circule na direção da bobina da antena, por sua vez alterando o valor da polarização desejada. O condensador de 100 nF na zona (C) tem a mesma finalidade.

Finalmente temos o condensador de 100 pF, que é conhecido como a capacidade de Miller [2]. Este condensador tem a função de atenuar progressivamente as frequências mais elevadas. Isto é necessário porque diferentes frequências são amplificadas com diferentes alterações de fase, podendo originar oscilações indesejadas no circuito. Assim, é necessário atenuar progressivamente as diferentes frequências à medida que aumentam, garantindo que as frequências que possam ter a fase invertida, não tenham amplitude suficientemente elevada para causar instabilidades no sinal de saída.

D – Saída de sinal

O sinal na saída passará por uma resistência de 100 Ω e por um condensador para eliminar a componente contínua do sinal (o sinal na saída do amplificador aparece somado a metade da tensão de alimentação), uma vez que a placa de som deve receber sinais sem componente contínua.

A resistência serve ainda para limitar correntes elevadas que possam destruir o amplificador operacional caso haja um curto-circuito acidental da saída de sinal à massa.

Percebidos os princípios gerais do funcionamento do circuito, estamos prontos para o construir. É desejável que a sua construção seja feita com material adequado e que no final, nos certifiquemos que todo o conjunto, antena/amplificador/

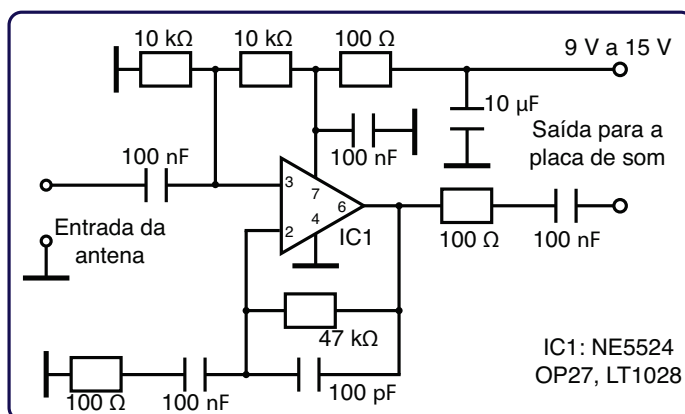


Fig. 7 - Plano esquemático do amplificador.

computador funciona em perfeitas condições. Será também desejável que o amplificador de sinal seja colocado dentro de uma caixa metálica que actuando como gaiola de Faraday reduzirá o efeito de possíveis interferências eletromagnéticas externas. Cuidado para que os componentes do circuito não toquem nas partes metálicas da caixa usando para tal suportes isolantes adequados.

E depois...?

Depois de construído e testado o nosso recetor de VLF, vamos descobrir o que mais podemos fazer e aprender com ele. No terceiro artigo desta série vamos aprender a utilizar no nosso recetor para receber as emissões bi-anuais do mais antigo emissor do mundo ainda em funcionamento, o SAQ. Este emissor sueco é uma verdadeira relíquia da tecnologia e, em boas condições, vamos conseguir ouvir e registar as suas mensagens, emitidas em código Morse.

Agradecimentos

Os autores agradecem os comentários e recomendações de melhoria feitas pelo revisor anónimo, as quais enriqueceram o documento final.

Referências

1. R. Serway e J. Jewett , *Physics for Scientists and Engineers*, Brooks Cole, 6 edition, 2003.
2. A. S. Sedra e K. C. Smith , *Micro-eletrónica*, 5ª edição, Pearson Education, 2007.
3. Kiel Longwave monitor - Peter Schnoor
- www.df3lp.de/
4. R. Mancini, *Op Amps For Everyone*, Design Reference SLOD006B Texas Instruments, 2002.



Nuno André é licenciado e mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Desenvolve os seus trabalhos de doutoramento como engenheiro óptico na empresa VPIphotonics, onde investiga tecnologias para redes de acesso ópticas. Nos tempos livres dedica-se, entre outras coisas, a atividades de rádio amadorismo.



Ricardo Gama é licenciado em Astronomia, Mestre e Doutoramento em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. É docente na Escola Superior de Tecnologia de Lamego e desenvolve projetos de divulgação científica/tecnológica, através da realização de *workshops* de construção de rádios de cristal e observações de sinais em VLF.

Alexandre Aibéo é licenciado em Astronomia, Mestre em Fundamentos e Aplicações da Mecânica de Fluidos e doutorado em Astronomia pela Universidade do Porto. É docente na Escola Superior de Tecnologia de Viseu e desenvolve trabalhos na área da Magneto-Hidrodinâmica aplicada ao Vento Solar. Dedicou-se à promoção da cultura científica desde 1996 com palestras, tertúlias, sessões de observação, exposições, etc. Foi vencedor da primeira edição nacional do "FAMELAB – Comunicar Ciência - 2010" e em 2012 publicou o livro de divulgação "Isto não é (só) Matemática".