

NEEP: Aplicação de um Nanossatélite como Nano Estação Espacial de Pesquisa Remota

André O. Gonçalves* Giulia Maria Ramella[†] Pedro R. C. Vieira*
Vitor de Souza Andrade* Alexsander C. A. A. Costa[‡]

Maio, 2021

Introdução

Desde a chamada “corrida espacial” que aconteceu entre os anos 1957 e 1975 entre os Estados Unidos da América (EUA) e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), a humanidade tem experimentado cada vez mais a influência de novas tecnologias espaciais que afetam diretamente a vida na terra. Desde o lançamento do primeiro satélite artificial ao redor do nosso planeta, o Sputnik I da URSS, é notável a evolução do setor aeroespacial e a grande tendência de investimentos públicos e privados para aprimorar os métodos já existentes.

Nanossatélites (até 10kg) e microsatélites (menos de 1kg) são inovações recentes que apresentam podem apresentar benefícios em relação aos satélites convencionais, em contextos específicos. Em 2010, estimou-se que havia entre 35 e 40 pequenos satélites orbitando a Terra. Eles contêm os mesmos componentes que satélites maiores — bateria, controle orbital e sistemas de posicionamento, sistemas de comunicação de rádio e instrumentos analíticos. Contudo, por possuírem todos os componentes miniaturizados, os pequenos satélites geram uma significativa economia financeira e causam menos impacto no espaço, reduzindo a poluição. De maneira sustentável, estes dispositivos são considerados plataformas ideais para a ciência e tecnologia, incluindo pesquisa na área da astrobiologia.

1 Contextualização

A astrobiologia é a área do conhecimento que tem por objetivo, em suma, entender importantes questões acerca da origem da vida; além de pesquisar o comportamento do que é considerado vida em outros sistemas que não sejam a Terra. nanossatélites são ferramentas capazes de viabilizar missões de astrobiologia, as quais muitas vezes não

*Engenharia Aeronáutica PUC-MG

[†]Biologia USP

[‡]Técnico, Engenheiro de Controle e Automação pela Universidade Federal de Minas Gerais

requerem plataformas maiores para serem bem sucedidas. Ainda, é importante considerar os recentes acontecimentos de exploração espacial e os interesses em uma possível colonização humana de outros planetas, como Marte ([ELON...](#)). Alguns notáveis recentes acontecimentos incluem a missão MOXIE, idealizada e lançada pela NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, do governo dos Estados Unidos) em abril deste ano de 2021 ([ABOARD...](#)).

Aproximadamente 95% da atmosfera em Marte é composta por dióxido de carbono, enquanto 21% da atmosfera terrestre é composta por oxigênio, crucial para foguetes e astronautas. Destaca-se, portanto, a relevância de se compreender como a vida se comporta em condições espaciais, que leva a avanços científicos e facilita a exploração humana do espaço.

Em um esforço para entender a resposta dos micróbios ao ambiente do voo espacial, uma série de experimentos microbiológicos foram lançados em *nanosats*. O primeiro foi GeneSat-1 ([KITTS et al., 2009](#)) (3U, NASA), que foi colocado em órbita circular de 460 km a 40,5° de inclinação, para cultivar e medir o crescimento de células de *Escherichia coli* via densidade óptica e detecção fluorescente de proteína fluorescente verde (GFP), além de telemetria dos dados de crescimento do espaço para receptores terrestres.

Com base no design do GeneSat-1, uma segunda missão, PharmaSat ([RICCO et al., 2010](#)) (3U), foi colocada em uma órbita de 459 km e 40,4° de inclinação, com o objetivo de cultivar a levedura *Saccharomyces cerevisiae* no espaço e comparar seu nível de resistência ao agente antifúngico voriconazol no espaço com amostras de controle de solo correspondentes.

Assim como em missões anteriores, um terceiro nanossatélite (3U), batizado O/OREOS ([EHRENFREUND et al., 2014](#)) (*Organism/Organic Exposure to Orbital Stresses*), foi lançado em novembro de 2010 em uma altitude de 650 km, com órbita de 72 ° de inclinação e exposto a cerca de 15 vezes a taxa de dose de radiação ionizante típica recebida dentro dos satélites em órbitas de inclinação inferior comparável à da Estação Espacial Internacional (ISS) (52°). O *nanosat* O/OREOS foi o único que realizou dois experimentos separados, chamados SEVO (*Space Environment Viability of Organics*) e SESLO (*Space Environment Survivability of Living Organism*). O experimento SESLO mediu a germinação, crescimento e metabolismo de esporos de *Bacillus subtilis* após estase de longo prazo (14, 91 e 181 dias) no ambiente espacial.

Em abril de 2014, a quarta missão SporeSat-1 (3U) foi lançada pela SpaceX Falcon 9 como carga útil secundária na missão de reabastecimento da ISS CRS-3. O SporeSat-1 ([SALIM et al., 2014](#)) foi implantado a uma altitude de 325 km e uma inclinação de 51,6°; ele reentrou na atmosfera da Terra 47 dias depois. O objetivo científico da missão era medir a germinação de esporos de samambaia (*Ceratopteris richardii*) em função do nível de gravidade usando pares diferenciais de eletrodos sensíveis a íons de cálcio. O experimento foi iniciado aumentando a temperatura para 29 °C e estabelecendo a gravidade artificial por meio de suas duas microcentrífugas de 50 mm. A germinação deveria ter sido iniciada com iluminação vermelha, mas a fonte de luz falhou. No entanto, os discos giratórios contendo esporos foram mantidos na temperatura desejada e girados nas taxas predefinidas (0,06–1 xg); sinais diferenciais de íons de cálcio foram medidos a partir de cada um dos 96 esporos a bordo da carga útil, embora nos níveis de fundo esperados na ausência de germinação.

Assim, um microrganismo interessante de ser estudado em uma nova missão espacial são as bactérias que oxidam metano. Sua importância, pensando em termos de poluição ambiental, vem da possível viabilização de oxigênio e sustentabilidade. Duas espécies deste

tipo são: *Methylococcus capsulatus* e *Methylosinus trichosporium*. Pode-se analisar não somente o crescimento destas bactérias, mas como a alteração da gravidade e a maior exposição a radiação afeta sua oxidação de metano, que pode ser biodisponibilidade no meio líquido.

2 Objetivos e Missão Proposta

A missão proposta é do desenvolvimento de uma nano-estação remota de análise científica para viabilização de estudos biológicos em condições especiais de baixa órbita terrestre (distância de 450 km a 650 km da superfície).

Algumas das funcionalidades da estação são:

- Controle de condições básicas para desenvolvimentos de microrganismos no espaço.
- Análise e transmissão de pacote de informações coletadas no período de 24 horas.
- Avaliação do comportamento e desenvolvimento do microrganismo autótrofo para futuras missões interplanetárias.
- Estudo do funcionamento da nano-estação de pesquisa para análises precisas e comunicação com a base em terra.

3 Materiais

Os materiais necessários para o funcionamento do satélite devem seguir a proposta de desenvolvimento de um equipamento acessível, barato, com menor volume possível, de fácil construção e manutenção. Nesta etapa é importante selecionar materiais que já tenham boa aceitação no mercado de eletrônicos e boas fontes de informações técnicas, apoio teórico e compatibilidade com as plataformas de utilização mais comuns a maioria da população. Uma lista inicial com materiais que devem ser utilizados é apresentada na Tabela 1

4 Etapas do Desenvolvimento do CubeSat NEEP

A construção do CubeSat deve acontecer em três etapas divididas na seguinte ordem: estrutura externa exposta ao ambiente espacial; subsistemas internos; módulo de pesquisa; análise do micro-organismo.

4.1 Estrutura externa exposta ao ambiente espacial

A estrutura do CubeSat NEEP será construída de alumínio devido a suas características de alta resistência mecânica e baixa densidade volumétrica. As dimensões seguem o modelo padrão do CubeSat Design Specification (CDS) de 1U e podem ser adquiridas já no formato exigido. Também expostos à parte externa do satélite, serão acoplados os painéis solares fixados no corpo do equipamento através do uso de uma fita de aço flexível (trena) que manterá os painéis solares fechados durante o lançamento e liberá-los-á após envio dos primeiros comandos do segmento solo para início da operação remota (Figura 1). A fita de aço flexível também desempenha a função de antena receptora e emissora de sinais, já que deve ficar diretamente apontada para a terra. O corpo do satélite será

Tabela 1 – Lista de materiais necessários para construção do satélite.

Eletrônico	Demais
Microcontrolador ESP32	Estrutura mecânica CubeSat 1U
Transmissor/Receptor RF	Revestimento reflexivo
Sensor de luminosidade	Tinta preta
Sensor de temperatura	Fita térmica
Sensor de pressão atmosférica	Persiana
Sensor de CO2	Cola para altas temperaturas
Sensor de umidade	Vidro para altas temperaturas
Acelerômetro	Placa de Petri
Magnetômetro	Haste telescópica
Giroscópio	Trena
Motor DC	Vareta de barraca
Bateria recarregável	Placa de PVC
Painel solar	
Ponte H	
Resistores	

revestido externamente com manta térmica aluminizada para proteger os equipamentos eletrônicos dos altos níveis de radiação presentes no espaço e manter o equilíbrio térmico para o bom funcionamento dos demais subsistemas a bordo. No interior da estrutura, um revestimento plástico fará o isolamento elétrico com as partes metálicas e deve ser pintado com tinta preta para reter ondas de calor emitidas pelos componentes internos, fazendo com que sua temperatura seja preservada. Na parte superior do satélite, uma proteção transparente de vidro resistente a altas variações de temperatura permitirá a exposição ou não de experimentos a serem realizados no espaço, com controle de algumas variáveis. Para o desenvolvimento da haste fixa com peso na extremidade para o controle de atitude por gradiente de gravidade, esta deve ser feita usando varetas de barraca por permitir que sejam encaixadas automaticamente entre si após alinhadas, o que deve acontecer com o auxílio da fita metálica flexível e tencionada por uma mola.

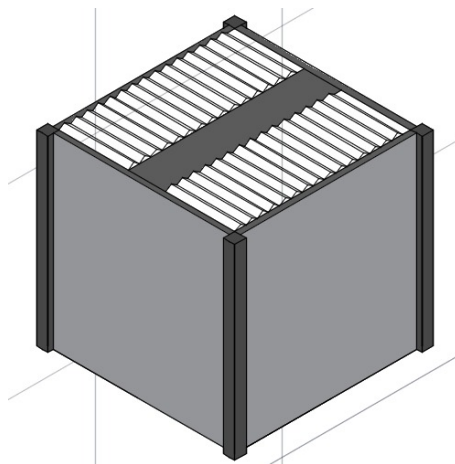


Figura 1 – CubeSat NEEP com painéis solares e haste de controle de atitude fechados aguardando comandos para início das atividades da missão.

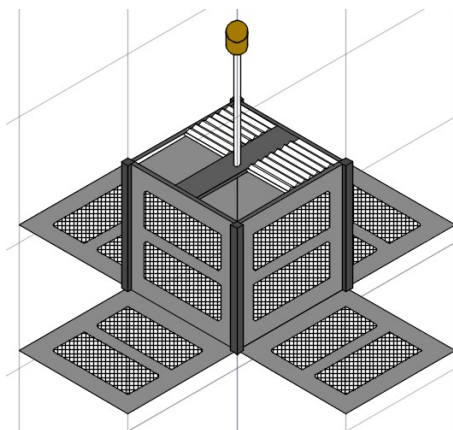


Figura 2 – CubeSat NEEP em operação com painéis solares e haste de controle de atitude já abertos na missão em andamento. Módulo de pesquisa aberto com exposição do experimento científico à radiação solar.

4.2 Subsistemas Internos

Os subsistemas que ficarão na parte interior do satélite, ao abrigo das condições espaciais extremas, serão compostos pelo computador de bordo de 32 bits — o ESP32 —, que conta com modulador de RF embarcado antena externa feita com fita de aço flexível como descrito anteriormente, funcionando como subsistema de telemetria, rastreamento e comando.

4.3 Módulo de Pesquisa

O módulo de pesquisa está localizado na parte superior do satélite junto a haste fixa de controle de atitude por gradiente de gravidade. O espaço disponível no módulo de pesquisa é de 9x9x3 cm, suficiente para ser colocada uma placa de Petri onde o microrganismo a ser estudado deve ficar durante toda a missão — é nessa parte do satélite que maior parte dos sensores estão localizados com a finalidade de avaliar as condições ali criadas e o desenvolvimento do microrganismo. O módulo ainda conta com um sistema de persianas acionado por um motor DC e uma ponte H (sistema eletrônico que inverte o sentido de rotação do motor DC) permitindo exposição ou não do microrganismo a radiação solar. As persianas são revestidas com manta térmica aluminizada para proteger o interior do módulo quando for necessário para a missão. Para controle térmico mais preciso no módulo de pesquisa, haverá um sistema de aquecimento próprio com resistores elétricos.

4.4 Análise do microrganismo

Para a realização das análises do microrganismo, as seguintes condições devem ser consideradas:

- *E. coli* cepa BW25113
- Módulos de *bioblock*, cada um contendo 12 poços de amostra de 75 μ L de volume cada (incluindo meio de cultura ágar mínimo mineral)
- Velocidade e rotação devem ser controladas para evitar lise e sedimentação das células

- A temperatura deve ser controlada e estar entre 30-37°C.
- As bactérias devem estar encapsuladas fisicamente para embarcarem na missão em formato de esporo e, apenas quando estiverem em órbita, entrarem em contato com o meio de cultura e iniciar o crescimento
- As taxas de CO₂ serão mensuradas a cada duas horas e os dados devem ser disponibilizados na nuvem em tempo real.

5 Subsistemas

Um nanossatélite é um sistema complexo constituído de subsistemas, dentre estes existem os subsistemas essenciais e os que variam conforme a necessidade da missão. Para cumprir os objetivos propostos, serão usados os seguintes subsistemas: Determinação e Controle de Atitude; Telemetria, Rastreo e Comando; Computador de Bordo; Subsistema de Suprimento de Energia; Controle Térmico; Estrutura e Mecanismos. Será incluído o subsistema de pesquisa e coleta de dados científicos para suprir as demandas de pesquisa proposta, o desenvolvimento de um microrganismo autótrofo embarcado no módulo de pesquisa. Já o subsistema de propulsão foi desconsiderado para ser necessário no caso da missão proposta.

5.1 Subsistema de Determinação e Controle de Atitude (ADCS)

A posição do nanossatélite é um fator importante que influencia diretamente em seu funcionamento. É importante que o equipamento esteja na orientação correta, otimizando seu funcionamento. Os painéis solares e o módulo de pesquisa devem ficar apontados para o sol proporcionando geração de energia e exposição do experimento a maior recepção de radiação solar, já as antenas apontando para a terra melhoram a comunicação entre base de controle e o nanossatélite. Haja vista as características da missão e do sistema como um todo, será utilizado o método de controle passivo de atitude por gradiente de gravidade, maximizando o torque criado pela força gravitacional nos pontos de massa do satélite colocando uma longa haste ao final do satélite, com uma massa em sua extremidade, este ainda será fixo, sem a possibilidade de ajustes mais precisos, tendo apontamento em sentido único [2](#).

5.2 Subsistema de Telemetria, Rastreo e Comando

A comunicação com o nanossatélite é a porta de acesso para envio de comandos e recepção de dados coletados durante a missão. Esse é um dos subsistemas mais complexos de ser desenvolvido, já que envolve comunicação de longa distância com a base em terra por modulação de informações via rádio e qualquer falha de comunicação implica em atrasos no cronograma de análises, pois só pode ser realizada uma vez por dia devido ao alinhamento com o ponto de conexão.

É preciso um cuidadoso planejamento para favorecer a coleta dos dados necessários para uma boa conclusão final e análises precisas, bem como proposição de melhorias.

Além da importância do equipamento embarcado no nanossatélite, deve-se conhecer a importância do segmento solo (ou estação em solo) que é a base terrestre, que tem como funções identificar o momento em que é possível se estabelecer a comunicação com o nanossatélite e enviar comandos e receber as informações coletadas durante o período

determinado de análise, comunicação feita quando o segmento solo estiver no campo de “visão” do nanossatélite que acontece uma vez por dia. Satélites de baixa órbita (LEO) [3](#) se deslocam em velocidades muito altas e têm a capacidade de circunscrever a Terra várias vezes em um mesmo dia, cerca de 15 órbitas diárias, e isso permitirá uma conexão única ao longo do dia. Para que a conexão remota seja efetiva, o segmento solo deve possuir essencialmente uma antena, um computador e um rádio. Como ideia inicial, os dados, após serem reunidos e processados, serão enviados a um rádio modem contido no nanossatélite. Através de antenas, ligadas a esse rádio que ficarão embaixo dos painéis solares do nanossatélite garantindo que haja apontamento para o solo, os dados serão enviados para uma antena de ganho maior, que se encontrará no segmento solo que também pode transmitir sinais de comando ao equipamento para realizar controles no módulo de pesquisa e no início da missão iniciar os sistemas de atitude e fornecimento de energia.

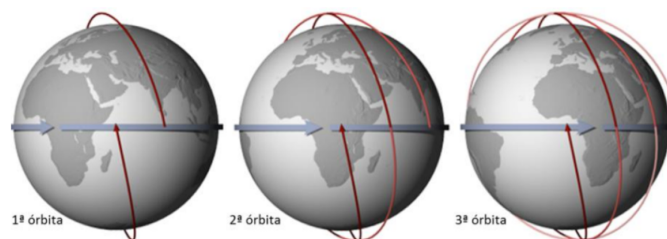


Figura 3 – Órbita baixa da terra (NASA, 2012).

5.3 Computador de Bordo

O computador de bordo é o subsistema central que recebe, analisa, decodifica, grava e comanda os demais subsistemas. A partir do computador de bordo, que deve conter um único microprocessador, todas as instruções serão recebidas da base em terra e o mesmo deve realizá-las para a boa execução da missão que posteriormente devolverá um relatório com os dados coletados em um determinado período de tempo, tornando a comunicação mais fácil e segura.

5.4 Subsistema de Suprimento de Energia

O Subsistema de Suprimento de Energia é dividido nas seguintes partes: fonte; armazenamento; distribuição; e controle. O uso de células solares fotovoltaicas se torna mais eficaz devido ao volume e massa reduzido e funcionamento por transformação da radiação solar incidente em energia elétrica, trabalhando em conjunto com baterias secundárias de íons-lítio (Li-ion), que armazenam e alimentam os componentes do satélite durante o período em que o satélite se encontra sob eclipse da terra. Para o dimensionamento do subsistema fatores como o tempo de missão, carga para alimentar o equipamento e o tempo que o satélite estará em eclipse e sob a luz solar devem ser verificados antecipadamente. Um controlador de carga PPT (*Peak Power Tracker* - Rastreamento de Potência Máxima) será instalado no nanossatélite para evitar sobrecarga da bateria e consequentemente aquecimento indesejável, extraindo apenas a energia que o equipamento espacial necessita, e ainda possui seis outras saídas independentes que podem ser controladas com limitador de corrente para a distribuição e cablagem e chaves como relés mecânicos ou chaves semicondutoras.

5.5 Subsistema de Controle Térmico

O subsistema de controle térmico é sem dúvida essencial para o funcionamento adequado dos equipamentos durante toda a missão visto que os mesmos operam bem quando trabalham nos seus limites de temperatura. Geralmente essa é uma das primeiras etapas desenvolvidas em um projeto como esse. Para determinar o sistema a ser usado devemos considerar as seguintes características do nanossatélite e ambientes de órbita em questão: volume de 1U (10cm³); órbita baixa entre 400 km e 1500 km de altitude (LEO); período de órbita entre 90 min. a 100 min.; baixa potência do equipamento. Neste caso nota-se que o sistema de controle térmico passivo é mais vantajoso por não necessitar de fornecimento de energia elétrica nem movimentação, sendo também fácil de projetar, implementar e testar, mesmo apresentando baixa capacidade de transportar calor, favorecido pelo fato de que a órbita baixa proporciona menores períodos orbitais consequentemente menores períodos de iluminação e eclipse. O controle térmico é vantajoso se considerarmos que podemos utilizar naturalmente do fornecimento de calor da radiação emitida diretamente pelo sol, pelo albedo (radiação solar refletida pela terra), radiação infravermelho do planeta terra e ainda o aproveitamento do calor gerado pelos próprios componentes eletrônicos do nanossatélite. O desenvolvimento desse sistema controle térmico é possível baseado no uso de pinturas com propriedades termo-ópticas, revestimento, isolante de multi camadas (MLI) entre outros.

5.6 Subsistema de Estrutura e Mecanismos

A estrutura do nanossatélite é que permite que os subsistemas possam ser montados e ainda suporte com segurança os esforços gerados durante toda a missão, desde o lançamento até o descarte do equipamento. Esse subsistema além de desempenhar suas funções estruturais e de proteção deve primeiramente seguir os padrões requisitados pelo regulamento *CubeSat Design Specification* (CDS) propostos pela Cal Poly. O desenho do CubeSat deve se adequar também a plataforma de lançamento P-POD (*Poly Picosatellite Orbital Deployer*) e que deve ser submetido a testes de qualificação, *protoflight* e de admissão.

5.7 Módulo de Pesquisa

O Subsistema de Pesquisa e Módulo de Missão é parte fundamental para cumprir os objetivos propostos. É nele que se encontram os principais equipamentos / sensores que possibilitam controlar as condições para o desenvolvimento do microrganismo, e, consequentemente, dar êxito a nossa missão. Entre esses sistemas, estão presentes:

- Sensor de umidade
- Sensor de pressão;
- Sensor de gás carbônico (CO₂);
- Sensor de luminosidade;
- Sensor de temperatura.

Importante destacar que nesse subsistema há um equipamento para aumento forçado da temperatura necessária para os momentos em que o satélite se encontrar no período de ausência de luz solar, este ainda se encontra isolado do restante do satélite, onde

será criado um ambiente pressurizado. Este subsistema tem relação direta de funcionamento com o computador de bordo, dependendo totalmente dele para o seu funcionamento. Além dos sensores também é usado uma persiana que permite o controle da luz e radiação incidente na pesquisa a ser realizada.

6 Cronograma

Esse cronograma inclui um planejamento prévio — provisório — da construção do satélite que perpassa todas as fases, que são:

	FASES	PERÍODO
Formulação (FASE 1)	Conceitos e projeto de satélite	1 dia
	Revisão bibliográfica	2 dia
	Desenvolvimento do conceito	2 dias
	Definição da missão e viabilidade	2 dias
	Projeto preliminar	7 dias
	Escrita da proposta definida	7 dias
Implementação (FASES 2 a 4)	Projeto final e montagem	1 mês
	Integração de testes	2 meses
	Preparação para o lançamento	1 mês

Fase 1: consiste na elaboração de um documento contendo os objetivos e missões propostas para o nanossatélite, além do planejamento do nanossatélite como um todo, abrangendo sua estrutura, seus sistemas e subsistemas e sensores. Além disso, também inclui-se a gravação de um vídeo descrevendo a proposta de todos os subsistemas.

Fase 2: trata-se da construção, programação e teste do nanossatélite. Nessa fase, toda a ideia sai do papel e é colocada em prática.

Fase 3: compreende as etapas regionais para lançamento do nanossatélite.

Fase 4: compreende as etapas nacionais para lançamento do nanossatélite.

Fase 5: sendo a fase final, consiste em apresentar o projeto para o mundo.

Referências

ABOARD NASA's Perseverance rover, MOXIE creates oxygen on Mars. <<https://news.mit.edu/2021/aboard-nasa-perseverance-mars-rover-moxie-creates-oxygen-0421>>. Accessed: 2021-05-14. Citado na página 2.

EHRENFREUND, P. et al. The o/oreos mission—astrobiology in low earth orbit. *Acta Astronautica*, v. 93, p. 501–508, 2014. ISSN 0094-5765. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576512003669>>. Citado na página 2.

ELON Musk diz que SpaceX vai pousar foguetes em Marte bem antes de 2030. <<https://www.uol.com.br/tilt/noticias/reuters/2021/03/23/elon-musk-diz-que-spacex-vai-pousar-foguetes-starship-em-marte-bem-antes-de-2030.htm>>. Accessed: 2021-05-14. Citado na página 2.

KITTS, C. et al. Initial flight results from the pharماسat biological microsatellite mission. 01 2009. Citado na página 2.

RICCO, A. et al. Pharماسat: Drug dose dependence results from an autonomous microsystem-based small satellite in low earth orbit. In: . [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 2.

SALIM, W. W. A. W. et al. Sporesat: A nanosatellite platform lab-on-a-chip system for investigating gravity threshold of fern spore single-cell calcium currents. In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 111–114. Citado na página 2.