



Desenvolvimento de tecnologia para ciência e educação fundamentado nos preceitos de liberdade do conhecimento: o caso do Centro de Tecnologia Acadêmica

Development of technology for science and education based on open and free knowledge: the case of the Center of Academic Technology

Rafael Pezzi *

Heitor Carpes Marques Fernandes **

Rafael Vasques Brandão ***

Marina Pinto Pizarro de Freitas ****

Leonardo Sehn Alves *****

Renan Bohrer da Silva *****

Jan Luc Santos Tavares *****

Guilherme Rodrigues Weihmann *****

* Doutor em Física pela UFRGS. Coordenador do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da UFRGS. Endereço: Caixa Postal 15051, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308-6444, E-mail: rafael.pezzi@ufrgs.br..

** Doutor em Física pela UFRGS, colaborador do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da UFRGS. Endereço: Caixa Postal 15051, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308-6553. E-mail: heitor@if.ufrgs.br.

*** Doutor em Ensino de Física pela UFRGS. Coordenador do Centro de Tecnologia Acadêmica Júnior e Diretor do Colégio de Aplicação da UFRGS. Endereço: Avenida Bento Gonçalves, 9.500, sala 211, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308-7120. E-mail: rafael.brandao@ufrgs.br

**** Graduada em Engenharia Física pela UFRGS. Colaboradora do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da UFRGS. Endereço: Avenida Bento Gonçalves, 9.500, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308 6553. E-mail: marinappdf@protonmail.com.

***** Engenheiro Físico pela UFRGS. Mestrando em Sensoriamento Remoto pela UFRGS. Colaborador do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da UFRGS. Endereço: Avenida Bento Gonçalves, 9.500, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308 6553. E-mail: leonardo.sehn@ufrgs.br.

***** Licenciando em física pela UFRGS. Aluno de graduação e bolsista da UFRGS. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS. Telefone institucional: (51) 3308 6553 e-mail: renan.silva@ufrgs.br.

***** Graduando em Engenharia Física pela UFRGS. Colaborador do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da UFRGS. Endereço: Avenida Bento Gonçalves, 9.500, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308 6553. E-mail: jan.luc@ufrgs.br.

***** Licenciando em Física pela UFRGS. colaborador do Centro de Tecnologia Acadêmica Júnior do Colégio de Aplicação da UFRGS. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9.500, sala 218, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. Telefone: +55 51 3308-7120. E-mail: grweihmann@gmail.com.

RESUMO

Neste trabalho, apresentamos como os conceitos de liberdade e abertura do conhecimento estão sendo integrados e postos em prática nos princípios e projetos do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física e no Colégio de Aplicação, ambos da UFRGS. Apontamos o desenvolvimento colaborativo de *hardware* aberto e livre como o desafio atual para a integração e consolidação da cultura livre. Descrevemos como os métodos e princípios do *software* livre, educação aberta e da ciência aberta podem ser integradas para a formação de equipes autogeridas de desenvolvimento de projetos de *hardware* abertos e livres (HAL), que servem como plataformas para ensino de ciências e engenharias, embasadas no conceito de hiperobjetos.

Palavras-chave: Conhecimento Livre; Ciência Cidadã; Recursos Educacionais Abertos; *Software* Livre.

ABSTRACT

In this article we discuss how the concepts of freedom and openness of knowledge are being integrated and adopted in the principles and projects of the Academic Technology Center of the Institute of Physics and of the College of Application, both in the Federal University of Rio Grande do Sul - UFRGS. We point to the collaborative development of Open and Free Hardware as the current challenge for the integration and consolidation of a culture of freedom. We describe how the methods and principles of free software, open education and open science can be integrated into the formation of self-managed Open and Free Hardware project development teams while also serving as educational platforms for teaching sciences and engineering, based on the concept of the hiperobject.

Keywords: Free Knowledge; Citizen Science; Open Educational Resources; Free Software.

INTRODUÇÃO

Acreditamos que a fim de suprir as necessidades atuais da humanidade, sem prejudicar as gerações futuras, é preciso que floresça uma cultura de esclarecimento, colaboração e de continuidade do conhecimento. Isso está alinhado com movimentos ligados à cultura livre, como *software* livre, *hardware* aberto e livre, ciência aberta e educação aberta. Tais movimentos têm chegado ao meio acadêmico de forma relativamente isolada, com grupos alinhados em diferentes desses aspectos. A integração desses conceitos, suas ferramentas e seus métodos em plataformas científicas e educacionais é o desafio do Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CTA IF/UFRGS) e o Centro de Tecnologia Acadêmica Jr. no Colégio de Aplicação da UFRGS. O Centro foi fundado em maio de 2012, reunindo professores e alunos do Instituto de Física da UFRGS. Atualmente, conta com dezenas de colaboradores, desde alunos da educação básica até alunos de pós-graduação. Entre os cursos envolvidos, podemos citar a participação de alunos e professores de licenciaturas, bacharelados em física, matemática e diversas engenharias, tais como física, elétrica, da computação.

Este trabalho relata o estado atual da implantação do CTA, destacando os princípios norteadores, sumarizados no conceito de hiperobjeto (PEZZI, 2015), o modelo de autogestão, as ferramentas livres e alguns de seus projetos, muitos adaptados de comunidades de *software* livre, assim como da Wikipédia. Também apontamos como se dá a inserção desses princípios em projetos inter e transdisciplinares, servindo de plataformas educacionais para ensino universitário (engenharias) e também na educação básica (ciências, física).

Iniciamos com uma breve reflexão sobre os impactos das tecnologias digitais na produção e circulação da informação, do conhecimento e da cultura. Apontamos para os benefícios dos conceitos de liberdade e abertura do conhecimento na ciência, tecnologia e educação. Apresentamos o *hardware* aberto e livre (HAL) como o passo natural e iminente na evolução da colaboração humana. Em seguida, apontamos para a infraestrutura e metodologias que consideramos importantes a fim de viabilizar o desenvolvimento colaborativo de instrumentos científicos e educacionais abertos em escala até então vista apenas em projetos de obras imateriais, como a Wikipédia e o sistema operacional GNU/Linux. Nesse contexto, surge a bancada dos hiperobjetos, composta por ferramentas livres para o desenho e fabricação de instrumentos científicos e educacionais abertos e livres (*hardware* aberto e livre).

A ERA DA INFORMAÇÃO E A ACADEMIA CONTEMPORÂNEA

Existem diversas abordagens que enriquecem a análise dos impactos da tecnologia da informação na sociedade contemporânea. Desde aquelas que abordam questões epistemológicas, como vistas pela perspectiva da ecologia cognitiva, conceito cunhado por Pierre Lévy (LÉVY, 1993), até aquelas que enfatizam seus impactos na economia, sociedade e cultura, como postos por Manuel Castells (CASTELLS, 1999) e Yonchai Benkler (BENKLER, 2006). Essas reflexões contribuem para a compreensão da profundidade do impacto das novas tecnologias da informação e comunicação para a humanidade.

No que se refere à academia, o surgimento desses novos referenciais pode ser identificado em dois movimentos complementares, o dos recursos educacionais abertos [REA] (SANTANA; ROSSINI; PRETTO, 2013) e o da ciência aberta. Sarita Albagli descreve o segundo da seguinte maneira (ALBAGLI, 2015):

O movimento pela ciência aberta deve ser pensado no contexto dos movimentos sociais que emergem em meio a mudanças nas condições de produção e circulação da informação, do conhecimento e da cultura, e que vêm desestabilizando arcabouços epistemológicos e institucionais vigentes. Trata-se de refletir sobre os desafios que essas mudanças trazem às dinâmicas científicas, seus valores e práticas, e sobre os novos olhares que se impõem para melhor compreender e lidar com tais desafios.

A universidade, definida como o “local de domínio e cultivo do saber humano”,¹ deveria ser, a princípio, uma das instituições mais impactadas com o surgimento de novas dinâmicas de produção e disseminação de conhecimento. É possível ampliar o contexto do argumento posto por Albagli para além das “dinâmicas científicas, seus valores e práticas”, abrangendo todas as dinâmicas, valores e práticas acadêmicas.

Por mais que a academia se mantenha em posição de destaque por ter certo monopólio de emissão de diplomas acreditados, a capacidade de atuação profissional dos egressos cada vez mais precisa ser complementada por formação extra-acadêmica, uma vez que a formação tradicional das universidades se mantém relativamente alheia às novas dinâmicas do conhecimento. Se, por um lado, as dinâmicas sociais e econômicas têm respondido aos novos meios de produção e disseminação do conhecimento advindos da tecnologia da informação, por outro, a

¹ Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

academia tem se mostrado mais lenta para adaptar-se às inovações nas suas dinâmicas produtivas. Observa-se um *modus operandi* no qual as limitações das ferramentas e métodos do passado são artificialmente impostas às novas, i.e., substituem-se ferramentas para realizar as mesmas tarefas, como por exemplo, a máquina de escrever por um editor de texto.

A inserção das novas dinâmicas informacionais na universidade não é trivial; requer pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias acadêmicas para atualizar o seu *modus operandi*. O Centro de Tecnologia Acadêmica (CTA) do IF/UFRGS foi criado para ser um laboratório de criação e experimentação dessas tecnologias e promover a sua disseminação. Busca aproveitar o potencial colaborativo das novas tecnologias e aplicá-lo para a continuidade do processo de evolução e continuidade do conhecimento e autogestão de grupos. No CTA, os princípios de autogestão são evidenciados pela rotatividade dos facilitados dos encontros periódicos, chamados de gestores, como apresentado na seção “Infraestrutura e práticas para expansão do conhecimento”. Essas características tornaram o CTA um centro interdisciplinar, com alunos de diversos cursos e níveis. Dedicamos a seção “O Centro de Tecnologia Acadêmica Jr. CAp – UFRGS” para descrever a inserção desses conceitos no ensino médio por meio de um CTA Jr. instalado no Colégio de Aplicação da UFRGS.

Tecnologias acadêmicas

As tecnologias acadêmicas aplicadas e desenvolvidas pelo CTA podem ser separadas em duas categorias:

- a) Tecnologias meio.
- b) Tecnologias fim.

As ditas tecnologias meio são as técnicas, métodos e ferramentas utilizadas como modo de a academia atingir seus objetivos. São aquelas para a gestão acadêmica e de projetos, publicação de resultados, canais de comunicação interna e externa, organização de grupos e de comunidades. Enfim, têm o objetivo de perpetuar a dinâmica acadêmica, os registros e a memória, dando continuidade à cultura.

A categoria das tecnologias fim são os métodos, processos e instrumentos científicos desenvolvidos e utilizados nos laboratórios de pesquisa e laboratórios didáticos de ensino. São tecnologias específicas para cada área do conhecimento. O CTA atua em ambas as frentes. As tecnologias meio empregadas pelo CTA são apresentadas na seção “Infraestrutura e práticas para expansão do conhecimento” e as tecnologias da categoria fim do CTA são apresentadas resumidamente na seção “Exemplos de projetos do CTA”.

A liberdade e abertura do conhecimento

A liberdade e a abertura do conhecimento, tomadas como princípio, estimulam a participação colaborativa no empreendimento acadêmico e uma competição que recompense mais a criatividade e a capacidade de inovação, em vez do acesso privilegiado aos meios (ABDO, 2015). Ao mesmo tempo, promove a extensão universitária, vista como a interação da universidade com a sociedade, pela remoção de barreiras artificiais à disseminação do conhecimento gerado, podendo atingir o ensino em todos os níveis, assim como atividades comerciais, de serviços, e industriais, sem discriminação ou favoritismo. Além disso, esses conceitos fortalecem

os princípios de transparência que são esperados de instituições científicas e, especialmente, aquelas mantidas com ou que recebem recursos públicos.

Buscamos um modelo de desenvolvimento e disseminação de tecnologia que preza pela autonomia. Essas características requerem treinamento e capacitação da comunidade recipiente, em vez da mera entrega de produtos fechados e licenças. Criam-se verdadeiras plataformas educacionais em que a atuação em projetos implica na capacitação nas ferramentas de desenvolvimento, de documentação e de organização de equipes. Como coloca Joshua Pearce (PEARCE, 2012a):

Pesquisa de código aberto mostra que é possível agilizar desenvolvimento de tecnologias para a sustentabilidade quando fundamentadas na ética *hacker* com i) revisão de pares massiva no desenvolvimento de materiais de suporte e desenhos experimentais, ii) maior visibilidade, que leva a iii) maiores oportunidades de financiamento e amplia o interesse dos estudantes e iv) melhora a educação e treinamento dos estudantes em atividades relacionadas à pesquisa.

São diversas as definições e declarações que foram criadas para se referir à liberdade do conhecimento. É adequado afirmar que, cronologicamente, a origem filosófica que embasa os atuais movimentos de cultura livre e abertura do conhecimento remonta ao movimento Software Livre e ao projeto GNU,² iniciado por Richard Stallman na década de 1980. Stallman definiu *software livre*³ em fevereiro de 1986, e esta definição é mantida atualmente pela Free Software Foundation. Stallman também escreveu a primeira licença de *software livre*, a General Public Licence.⁴ A partir de então, ficou entendido que:

Por “*software livre*” devemos entender aquele *software* que respeita a liberdade e senso de comunidade dos usuários. A grosso modo, os usuários possuem a liberdade de executar, copiar, distribuir, estudar, mudar e melhorar o *software*. Assim sendo, “*software livre*” é uma questão de liberdade, não de preço.

Em 5 de Julho de 1997, a comunidade de desenvolvedores da distribuição GNU/Linux Debian ratificou orientações Debian para *software livre*,⁵ especificando os critérios para o *software livre* aceitos na distribuição. Mais tarde, essas orientações foram utilizadas como base para a definição de *software* de código aberto (*open source definition*),⁶ buscando utilizar linguagem mais amena para maior disseminação do termo em meios mais conservadores. Stallman apontou que o termo *software* de código aberto deve ser evitado,⁷ enquanto Bruce Perens explicou como se deu essa

² A história do projeto GNU. Disponível em: <<https://www.gnu.org/gnu/gnu-history.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

³ FREE SOFTWARE FOUNDATION. O que é *software livre*? Disponível em: <<https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>>. Tradução: Rafael Beraldo. Acesso em: 4 jan. 2016.

⁴ GNU General Public License. Disponível em: <<https://gnu.org/licenses/gpl.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

⁵ Orientações para *software livre* para parte do Contrato Social Debian. Disponível em: <https://www.debian.org/social_contract#guidelines>. Acesso em: 8 jan. 2016.

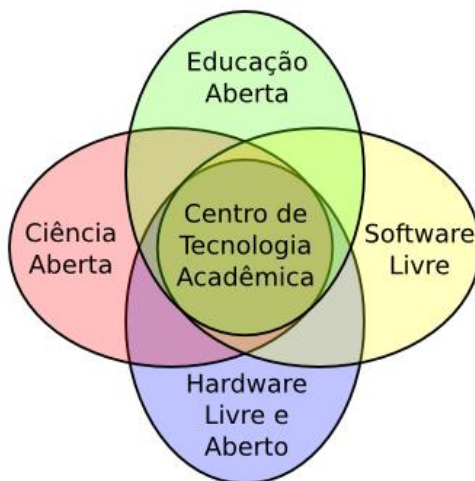
⁶ Open Source Definition. Disponível em: <<https://opensource.org/osd>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

⁷ Porque o código aberto não compartilha dos objetivos do *software livre*. Disponível em: <<https://www.gnu.org/philosophy/open-source-misses-the-point.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

definição em um capítulo do livro *Open sources: voices from the open source revolution* (PERENS, 1999).

Duas definições que sucedem essas são particularmente importantes para o trabalho desenvolvido no Centro de Tecnologia Acadêmica: a definição de obras culturais livres, a qual mantém o maior alinhamento com os princípios de liberdade do conhecimento; e a definição de *hardware* aberto e livre (HAL). As duas são apresentadas a seguir.

Figura 1. Princípios do Centro de Tecnologia Acadêmica - CTA IF/UFRGS



Fonte: elaborado pelos autores.

Definição de obras culturais livres

A definição de obras culturais livres⁸ foi inicialmente apresentada na Wikimania em agosto de 2006 por Benjamin Mako Hill e Erik Möller. Após deliberação pública, em março de 2007, passou a ser referência da política de licenciamento de conteúdo da Wikipédia.⁹ Obras culturais livres são aquelas que apresentam as seguintes liberdades:

- a liberdade de usar a obra e aproveitar os benefícios do seu uso;
- a liberdade de estudar a obra e de aplicar o conhecimento dele adquirido;
- a liberdade de fazer cópias e distribuí-las, em todo ou em parte, da informação ou expressão;
- a liberdade de fazer mudanças e melhoramentos, e de distribuir obras derivadas.

Essa definição é de caráter geral e expande as quatro liberdades fundamentais do *software* livre (SL) definidas por Richard Stallmann para todas as obras culturais fruto do intelecto humano. Cronologicamente, surgiu após a definição de SL, porém,

⁸ Definição da versão 1.1 de "Obras Culturais Livres". Disponível em: <<http://freedomdefined.org/Definition/Pt>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

⁹ Resolução: política de licenciamento. Disponível em: <https://wikimediafoundation.org/wiki/Resolution:Licensing_policy/pt>. Acesso em: 8 jan. 2016.

conceitualmente pode ser pensada como a definição mais fundamental, sendo que definições que tratam de áreas específicas podem ser vistas como adequações dessa.

A definição de hardware aberto e livre (HAL)

A comunidade de *hardware* aberto e livre se reuniu em meados de 2010 para criar uma definição para o *open source hardware*,¹⁰ que aqui é traduzida como “definição de *hardware* aberto e livre”.¹¹ A definição, na sua versão 1.0, inicia com uma declaração de princípios que podem ser traduzidos da seguinte maneira:

Hardware aberto e livre é o *hardware* cujos projetos são disponibilizados publicamente de modo que qualquer um possa estudar, modificar, distribuir, fabricar e vender o projeto ou o *hardware* baseado no projeto. A fonte do *hardware*, o projeto do qual ele é fabricado, é disponibilizado no formato mais adequado para que nele sejam feitas modificações. Idealmente, *hardware* de código aberto utiliza componentes e materiais facilmente acessíveis, processos padrões, infraestrutura aberta, conteúdo irrestrito, e ferramentas de desenho livres para maximizar a possibilidade dos indivíduos fazerem e utilizarem o *hardware*. *Hardware* de código aberto dá às pessoas a liberdade de controlar a sua tecnologia enquanto compartilham conhecimento, e encoraja o comércio através do compartilhamento aberto dos projetos.

Também foi demonstrado que o surgimento de máquinas de fabricação digital de baixo custo, como a impressora 3D RepRap (JONES et al., 2011) levam a uma drástica redução dos custos para obtenção de instrumentos científicos do tipo HAL (PEARCE, 2012b).

Esclarecimento: o que é *hardware*?

Hardware, em inglês, representa qualquer instrumento físico, seja uma ferramenta manual, como um martelo, ou uma impressora 3D. Equipamentos utilizados em laboratórios científicos e educacionais também podem ser chamados de *hardware*. Mais do que isso, vários instrumentos científicos abertos estão sendo concebidos dentro do conceito de open science hardware (PEARCE, 2012b). Assim, utilizamos aqui o uso do termo *hardware* na representação ampla de instrumentos e ferramentas, além dos computadores e dispositivos eletrônicos.

Da liberdade do software à do hardware

São comuns as análises das novas dinâmicas produtivas que se baseiam na Wikipédia e no *software* livre como casos de sucesso. Ambos se caracterizam por serem

¹⁰ Definição de “*open source hardware*”. Disponível em: <<http://freedomdefined.org/OSHW>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

¹¹ Optamos por traduzir *open source hardware* por “*hardware* aberto e livre”, pois, em português, não existe a ambiguidade de interpretação que o termo *free* no inglês tem para designar tanto livre como grátis. Essa foi a razão do uso do termo *open source software* em vez de *free software*. Além disso, a comunidade brasileira já tem utilizado o termo “livre” no contexto do *hardware*.

empreendimentos colaborativos de construção de intangíveis que floresceram quando os elementos para sua criação e disseminação estavam maduros a ponto de serem adotados em larga escala. Nesse ponto, a infraestrutura física necessária é um computador conectado à internet associado a elementos técnicos e legais:

- a) Aspectos técnicos que viabilizam colaboração em *software* livre:
 - *hardware*: um computador conectado à rede;
 - *software*: um editor de textos e ao menos um compilador de código, ambos livres;
- b) Aspectos legais: uma licença de *software* livre.

O desafio atual para ampliar as possibilidades de colaboração distribuída refere-se ao desenho e à construção de objetos físicos (tangíveis). Enquanto os computadores pessoais suprem a infraestrutura física para colaboração distribuída observada nas comunidades de desenvolvimento de *software livre* e textos, a infraestrutura necessária para o desenho colaborativo e fabricação distribuída de instrumentos e equipamentos físicos ainda é bastante imatura.

Atualmente, o desenvolvimento de HAL seguindo os princípios declarados na sua definição, é bastante limitado devido à carência de alguns dos elementos citados explicitamente na própria definição, tais como “processos padrões, infraestrutura aberta, conteúdo irrestrito, e ferramentas de desenho livres”. Além disso, boas práticas para organização e documentação de projetos de *hardware* envolvendo grupos distribuídos ainda são imaturas, como ilustrado por Javier Serrano (SERRANO, 2016). O esclarecimento deles e sua adoção é o desafio tecnológico e cultural a ser superado para atingir uma maior prosperidade no desenvolvimento de *hardware* aberto e livre.

O CTA IF/UFRGS está agindo para viabilizar ou ampliar as possibilidades de desenvolvimento de *hardware*, seguindo os princípios estabelecidos na definição de *hardware* aberto e livre, atuando nesses pontos fracos. Buscamos explorar o limite do que é possível fazer com ferramentas livres e formatos abertos, desenvolvendo o que está ao nosso alcance, tais como as ferramentas de fabricação digital, como apresentado na bancada dos hiperobjetos, como descrita na seção “Infraestrutura e práticas para expansão do conhecimento”. Existe forte interesse no desenvolvimento de CADs e CAMs livres, porém está fora da especialidade dos atuais membros do CTA IF/UFRGS.

Sem a disponibilidade de tal infraestrutura e práticas, observa-se um modelo centralizado de desenvolvimentos de projetos de *hardware* aberto, em que o desenvolvimento é feito por poucos indivíduos, tem acesso às ferramentas, gerando grandes contribuições. A seguir apresentamos o conceito de “hiperobjeto”, criado com o objetivo de buscar a interseção dos diferentes movimentos de liberdade e abertura de conhecimento, e que acreditamos poder ser benéfico para a integração das práticas acadêmicas.

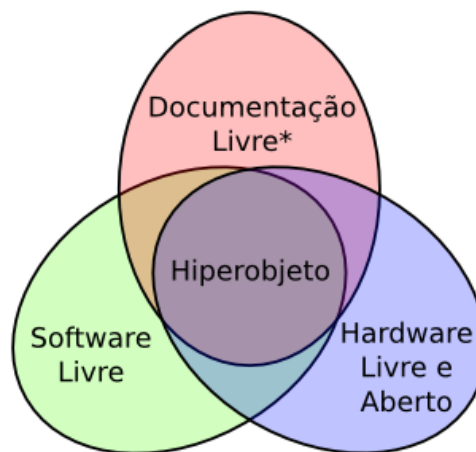
Hiperobjetos

Se por um lado, diversas vertentes de abertura e liberdade do conhecimento surgiram a partir dos ideais de *software* livre; por outro, essas diferentes vertentes têm dificuldade em encontrar pontos comuns para atuação. Por exemplo, muitos entusiastas de *hardware* aberto e livre não necessariamente prezam pelo uso de *software* livre para a realização de seus projetos. Também é comum que defensores

de recursos educacionais abertos utilizem plataformas proprietárias para produzir e distribuir seus materiais didáticos sob licenças permissivas. A fim de construir uma base conceitual para o ponto em comum entre todas as vertentes de conhecimento livre, do *software* aos materiais multimídia e aos equipamentos, foi criado o conceito de hiperobjeto (PEZZI, 2015), que é utilizado como princípio norteador das atividades do Centro de Tecnologia Acadêmica.

Hiperobjeto pode ser entendido como a interseção entre *hardware* livre, *software* livre e documentação livre, ou seja, é um objeto que foi criado com ferramentas livres, pode ser utilizado com *software* livre e sua documentação é livre. A documentação livre engloba todo o material multimídia acerca do objeto que esteja disponível sob os termos de licenças permissiva e formatos abertos, idealmente construída com *software* livre. Ela pode incluir também manuais de uso, guias de atividades e aplicações em contextos de educação e ciência. Isto é, a documentação integra ao hiperobjeto todo o material produzido relacionado a ele que foi disponibilizado em conformidade com as definições de obras culturais livres e de conhecimento aberto.¹²

Figura 2. Hiperobjetos.



* de acordo com a definição de obras culturais livres

Fonte: elaborado pelos autores.

Outro ponto de destaque com relação aos princípios declarados na definição de *hardware* aberto e livre refere-se à infraestrutura necessária para a fabricação do instrumento ou parte dele. A infraestrutura ideal para a fabricação de instrumentos livres são máquinas de fabricação digital livres, também chamadas de máquinas de fabricação personalizadas, e estão em pleno desenvolvimento. O conjunto delas, integradas com uma estação com ferramentas de desenho e projetos dos

¹² O hiperobjeto pode ser entendido como aquele que "utiliza componentes e materiais facilmente acessíveis, processos padrões, infraestrutura aberta, conteúdo irrestrito, e ferramentas de desenho livres". Enquanto a definição de HAL os apresenta como o caso ideal, no hiperobjeto são condições mínimas.

componentes, é chamado de bancada dos hiperobjetos (vide a seção “Infraestrutura para o desenvolvimento de HAL: a bancada dos hiperobjetos”).

Também buscamos manter as atividades do CTA IF/UFRGS alinhadas com o conceito de hiperobjeto por meio da documentação aberta dos encontros da equipe, com pautas e encaminhamentos de reuniões disponibilizados *on-line*, além de guias e manuais de funcionamento do CTA sob os termos de licenças permissivas. Material gráfico e de identidade visual são confeccionados utilizando *software* livre (Inkscape e GIMP), assim como é toda a infraestrutura digital utilizada pelo Centro de Tecnologia Acadêmica, como explicitado abaixo.

INFRAESTRUTURA E PRÁTICAS PARA EXPANSÃO DO CONHECIMENTO

A integração dos princípios apresentados ao ambiente acadêmico na seção anterior, ao mesmo tempo que traz vantagens e cria novas oportunidades, é acompanhado por desafios. Faz-se necessária a criação e adaptação de infraestrutura e práticas para potencializar a expansão do conhecimento acadêmico. Nesta seção, destacamos a documentação como prática essencial para a execução de projetos e as ferramentas para a comunicação e memória de grupos e comunidades envolvidas em projetos. Execução de projetos orientada à documentação.

Documentação de projetos

Se por um lado a documentação de um projeto é muito importante para o seu desenvolvimento por ser o registro que permite aos próprios desenvolvedores acompanharem o seu avanço, por outro, tem um papel fundamental no desenvolvimento de *hardware* aberto e livre (HAL). A documentação é o que viabiliza as liberdades de fabricação, estudo, modificação do *hardware* mencionadas na definição, e também é sobre ela que incidem as licenças existentes para o HAL. Espera-se que um projeto de *hardware* bem documentado contenha os detalhes conhecidos, incluindo informações sobre as suas partes e peças e os processos e métodos utilizados para a fabricação e montagem. Há preferência para os formatos abertos, que permitam edição, além da devida atribuição aos autores e licenças de uso de projetos nos quais um HAL é baseado. Os projetos do CTA são desenvolvidos preferencialmente em *software* livre, visando um maior alinhamento com os princípios de HAL.

Organização, comunicação e memória

A comunicação e a memória dos grupos e comunidades que se organizam em projetos no CTA é realizada pela apropriação das ferramentas utilizadas por projetos colaborativos e distribuídos afirmados, como, por exemplo, o Kernel Linux e a Wikipédia. Citamos a seguir algumas das ferramentas e práticas utilizadas no CTA.

a) Website para gestão e documentação de projetos

O site do CTA¹³ conta atualmente com uma instância de um sistema de gestão de projetos chamado ChiliProject,¹⁴ inspirado no Repositório de *Hardware* Aberto do

¹³ Centro de Tecnologia Acadêmica. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/>>. Acessado em 08 de janeiro de 2016.

CERN.¹⁵A partir da página inicial, o visitante tem acesso a diversas plataformas de registros utilizadas pelo grupo, sendo também convidado para participar delas. Tem-se buscado a apresentação de uma página inicial clara, interessante e simples. Apesar dos grandes avanços no último ano, manter a organização de modo a destacar o conteúdo de acordo com a sua relevância para os diferentes públicos envolvidos tem-se mostrado um desafio.

b) Fóruns

Cada projeto pode contar com fóruns para discussão *online*. Na utilização dos fóruns para os projetos, procuramos integrar tanto os desenvolvedores dos projetos quanto a comunidade externa, que não está necessariamente vinculada à universidade. Como os projetos têm conceitos frequentemente interligados, procuramos discutir os assuntos comuns no fórum do suporte, onde temos discussão sobre as ferramentas utilizadas (como tutoriais, perguntas e dicas), discussão sobre as práticas do CTA, instruções e dicas sobre como colaborar com o Centro.

c) Dinâmica de encontros de grupo

Realizamos encontros semanais, em formato presencial, com a finalidade de colocar em contato os colaboradores do CTA e outras pessoas interessadas no nosso trabalho. São encontros que integram as pessoas, os projetos e as ideias que permeiam o Centro. Cada encontro é iniciado com uma apresentação de tema variado. Podem ser expostos os desenvolvimentos de trabalho dos membros da equipe como também ocorrem discussões organizacionais ou dos fundamentos e diretrizes de trabalho, estudos de casos onde conhecemos trabalhos desenvolvidos externamente. As apresentações podem ser proferidas pelos participantes do CTA ou convidados especiais e visitantes.

Cada reunião é gerida por um facilitador, chamado de gestor, encarregado de compor a pauta do encontro, coordenar a reunião e elaborar o relato e os encaminhamentos. Este papel é executado por um membro do CTA de forma rotativa, de forma a todos terem a oportunidade de desempenhar um papel ativo na organização da equipe, fortalecendo a autogestão do Centro, ao mesmo tempo em que não sobrecarrega ninguém com a tarefa. As chamadas com pautas e os encaminhamentos de cada reunião são expostas no fórum de suporte, nos “Encontros Periódicos”¹⁶. Outro ponto positivo é a atualização dos assuntos expostos, de forma que os apresentadores adquirem maturidade na apresentação de seu trabalho e recebem sugestões e orientações. Os encontros são abertos para a participação de todos os interessados e almejamos, existindo também a opção de participação *online*, por *webconferência*¹⁷.

d) Lista de *e-mails*

Complementamos a comunicação *online* utilizando listas de *e-mails*. Alguns projetos optaram por utilizar lista de *e-mails* e também contamos com uma lista geral do CTA

¹⁴ Página do sistema ChiliProject. Disponível em: <<https://www.chiliproject.org/>>. Acessado em 08 de janeiro de 2016.

¹⁵ *Open Hardware Repository*. Disponível em: <<http://www.ohwr.org/>>. Acessado em 08 de janeiro de 2016.

¹⁶ Fórum Encontros Periódicos do CTA. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/projects/suporte-cta/boards/7>>. Acessado em 08 de janeiro de 2016.

¹⁷ Utilizamos o Jitsi. Disponível em: <<https://meet.jit.si/>>. Acesso em 31 de Janeiro de 2016.

(cta-adm-l). Nela, costuma-se informar sobre eventos, sobre reuniões e anúncios, e discussões em tópicos específicos.

e) GitLab como gestor de repositórios Git

O Git é um dos mais importantes e poderosos sistemas de controle de versão distribuída. Foi originalmente concebido para controle de versão de grandes projetos de *software* colaborativos, mas também pode ser utilizado para qualquer tipo de projeto. O servidor do CTA abriga uma instância do GitLab, um gerenciador de repositórios Git que permite aos desenvolvedores armazenarem seus projetos e controlarem as suas versões localmente.¹⁸

f) Oficinas e *hackatonas*

O CTA oferece regularmente oficinas de introdução às ferramentas livres utilizadas para o desenvolvimento de seus projetos, assim como conduz *hackatonas* para desenvolvimento de projetos. Possuímos uma página chamada *Portfólio de Oficinas*,¹⁹ na qual listamos e registramos materiais de algumas das oficinas ministradas. Percebemos que manter esse registro facilita o reoferecimento das oficinas e a evolução do seu material de apoio. Existe um cuidado especial para que o material disponibilizado tenha licenças permissivas e seja confeccionado integralmente em *software* livre, facilitando a sua derivação.

Infraestrutura para o desenvolvimento de HAL: a bancada dos hiperobjetos

Identificando que a carência de infraestrutura aberta e ferramentas de desenho livres limitam as possibilidades de criação de *hardware* de acordo com os princípios de abertura e liberdade do conhecimento, o CTA se propôs a atuar nesse elo fraco da cadeia produtiva dos HAL, concebendo o conceito da bancada dos

hiperobjetos (PEZZI, 2015). Nesse sentido, o CTA tem atuado como um *meta fab Lab*, ao desenvolver as ferramentas de interesse para *fab labs*, inclusive máquinas que fazem máquinas. Fazemos isso com o objetivo de desenvolver instrumentos padronizados e de custo mais acessível que facilitem o compartilhamento de projetos entre *fab labs* e outras instituições de ensino e pesquisa. Acreditamos que isso ampliará as possibilidades de colaboração no desenho e fabricação de HAL.

A bancada dos hiperobjetos é composta por: i) um conjunto de máquinas de fabricação digital que tem por objetivo a materialização dos hiperobjetos e ii) as ferramentas digitais para desenho e simulação dos componentes de *hardware*. A intenção é que as máquinas da bancada sejam autorreplicantes, assim como o que ocorreu com a impressora 3D RepRap (JONES et al., 2011), pois essa liberdade estimula a inovação e a colaboração no desenvolvimento da própria bancada. A impressora RepRap (JONES et al., 2011) é um exemplo dessa prática, que rapidamente se tornou um sucesso e criou uma grande comunidade de usuários e desenvolvedores.

A bancada de hiperobjetos sendo desenvolvida com esses princípios visa abrir o caminho para que boas práticas de desenvolvimento colaborativo se fixem na comunidade e, com isso, que padrões e parâmetros para o desenvolvimento de HAL

¹⁸ Repositório Git do CTA. Disponível em: <<https://git.cta.if.ufrgs.br>>. Acesso em: 8 jan, 2016.

¹⁹Portfólio de Oficinas do CTA. Disponível em: <http://cta.if.ufrgs.br/projects/suporte-cta/wiki/Portfólio_de_Oficinas>. Acesso em: 8 jan. 2016.

sejam estabelecidos. Atualmente, o desenvolvimento de HAL apresenta dificuldades devido à carência de *software* livre para CAD (*computer aided design*) com funcionalidades equivalentes às de um *software* proprietário para algumas áreas, dificultando a criação de hiperobjetos mais complexos. Ou seja, para que os conceitos de liberdade necessários na elaboração de hiperobjetos sejam atingidos, o desenvolvimento de CADs livres de alto nível é essencial.

Recentemente, o projeto KiCad²⁰ realizou um grande avanço nas possibilidades relacionadas ao desenvolvimento de circuitos eletrônicos ao disponibilizar um *software* livre de alto nível e desempenho comparável às alternativas proprietárias. Com isso, efetivamente viabilizou a comunicação livre de e entre projetos de circuitos eletrônicos.

A principal dificuldade encontrada atualmente para o desenvolvimento de máquinas CNC que compõe a bancada de hiperobjetos, e que estejam de acordo com os critérios para os hiperobjetos é justamente a falta de *software* CAD mecânico livre com funcionalidades próximas daqueles proprietários. Para um dos projetos, foi feita a opção pela aquisição de uma licença educacional de um CAD mecânico acessível, compatível com GNU/Linux. Infelizmente, isso faz com que a projetos mecânicos complexos não sejam produzidos totalmente de acordo com os princípios declarados de HAL. Esperamos que o desenvolvimento de programas livres, tais como FreeCAD,²¹ possa suprir essa necessidade em breve.

O CENTRO DE TECNOLOGIA ACADÊMICA JR. CAP UFRGS

Dadas as novas dinâmicas informacionais, a necessidade de atualizar a cultura institucional na academia também se aplica para a educação básica. Dessa maneira, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias acadêmicas se mostram importantes não apenas na universidade, mas em todo o sistema educacional; com isso, encontramos o desafio de atualizar a cultura escolar em relação às novas dinâmicas. A partir dessa necessidade, surge o CTA Júnior no Colégio de Aplicação (CAp) da UFRGS, em 2013 – um ano após a criação do CTA, para atuar também na educação básica.

O CTA Jr. foi iniciado com foco no projeto Estações Meteorológicas Modulares (EMM),²² cujo objetivo é a instalação de unidades funcionais das estações meteorológicas por cidadãos ou instituições, principalmente escolas, e o compartilhamento de dados para formação de uma rede cidadã de monitoramento meteorológico e ambiental. No ano de 2014, já com um espaço físico próprio, o CTA Jr. se tornou um espaço no qual qualquer aluno interessado pode se apropriar para se familiarizar aos ideais e projetos desenvolvidos, e, eventualmente, juntar-se ao grupo de algum projeto ou iniciar/continuar um diferente.

A dinâmica do CTA Jr. se dá da seguinte maneira: alguns projetos são escolhidos e oferecidos aos alunos do ensino médio, para que eles atuem tipicamente orientados por um aluno do ensino superior (geralmente já familiarizado com o CTA). Alunos interessados em pesquisar no Centro são recebidos e apresentados ao espaço e às possibilidades de atividades pelos veteranos.

²⁰ Página do *software* KiCAD. Disponível em: <<http://kicad-pcb.org>>. Acesso em: 29 nov. 2015.

²¹ Disponível em: <<https://www.freecadweb.org>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

²² Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/projects/estacao-meteorologica-modular/wiki/Wiki>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

Como há projetos de fato *desenvolvidos* – não apenas estudados ou reproduzidos – no CTA Jr CAP, os alunos do ensino médio se integram à prática e à cultura do conhecimento aberto, desenvolvendo habilidades de documentação no uso de ferramentas livres e licenciamento; tornando-os aptos não apenas para o uso de novas tecnologias, mas também para a apropriação efetiva dessas tecnologias e a capacitação ao trabalho colaborativo.

O fato de estar produzindo conhecimento novo também serve como estímulo ao aprendizado; e até mesmo a documentação de projetos, tarefa comumente considerada enfadonha, pode se tornar incentivadora quando alunos da educação básica percebem que seu trabalho está disponibilizado e será usado pela comunidade lado a lado ao trabalho desenvolvido na universidade.

A criação de modelos computacionais em física, utilizando a linguagem de programação Python/ Vpython,²³ o desenvolvimento de um braço mecânico simples (Bramesim)²⁴ e a sirene escolar concebida a pedido da direção da escola²⁵ são exemplos de projetos inteiramente desenvolvidos no CTA Jr.

É perceptível que um ambiente como o CTA Jr. não apenas possibilita o aprendizado de conteúdos didáticos (pelo fato de esses alunos estarem aplicando na prática conceitos propostos para a sala de aula), mas gera cidadãos capazes de: a) produzir tecnologia, ciência ou qualquer outra forma de conhecimento, independentemente de vínculos a instituições; b) disponibilizar aquilo que produzem de maneira que possa ser entendido, reproduzido e adaptado pela comunidade; c) questionar as informações que chegam até eles (e.g., dados disponibilizados por autoridades governantes) com competência para examiná-las; e, enfim, d) ter uma postura esclarecida quanto à própria cultura e estruturas da sociedade em que vivem. Uma educação básica geradora de tais cidadãos poderia ser chamada de *educação tecnológica emancipatória*; uma educação que gera, além de indivíduos dotados de informação, comunidades capacitadas a se apropriar da tecnologia e modificar a realidade em que estão inseridas.

EXEMPLOS DE PROJETOS DO CTA

Abaixo são apresentados alguns dos principais projetos do CTA que se enquadram na modalidade de tecnologias-fim, como definidas na seção “Tecnologias acadêmicas”. Tais iniciativas ilustram a criação da infraestrutura para o desenvolvimento de *hardware* aberto e livre, projetos pedagógicos para uso em laboratórios de ensino e pesquisa, assim como de ciência aberta e cidadã, todos guiados pelo conceito de hiperobjetos.

²³ Modelagem computacional em física utilizando Python e VPython. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/projects/modelagem-computacional-em-fisica-utilizando-python-e-vpython/wiki>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

²⁴ Bramesim – braço mecânico simples. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/projects/bramesim-braco-mecanico-simples/wiki>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

²⁵ Sirene escolar baseada em Arduino. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/projects/sirene-escolar-baseado-em-arduino/wiki>>. Acesso em: 6 jan. 2016.

TropOS: o Sistema Operacional PORTátil

Uma grande dificuldade encontrada para o desenvolvimento de projetos e o treinamento de novos colaboradores (realização de oficinas) é a falta de *software* livre necessário nos computadores disponíveis e ausência de um sistema operacional livre. Como esse é um ponto considerado chave para a execução dos projetos, a saída encontrada foi a personalização de uma distribuição GNU/Linux executada diretamente a partir de um *pen drive* que contém todas as ferramentas de *software* livre necessárias para o desenvolvimento das atividades. A nossa versão do GNU/Linux é chamada TropOS.²⁶ Esta ferramenta se tornou um elemento facilitador da disseminação do conceito de hiperobjetos, pois evidencia a facilidade com o qual as ferramentas livres podem ser disseminadas e utilizadas.

É uma distribuição GNU/Linux baseada no Debian,²⁷ feita especialmente para laboratórios de pesquisa e ensino, e conta com pacotes específicos para atividades de pesquisa científica e ensino.

Fresadora PCI João-de-Barro

A primeira contribuição do CTA para as máquinas de fabricação digital da bancada de hiperobjetos consiste em uma máquina de prototipagem ou fabricação em pequena escala de placas de circuitos eletrônicos: a fresadora PCI João-de-Barro.²⁸

Fresadoras equivalentes atualmente encontradas no mercado possuem um preço elevado, o que impossibilita que escolas, laboratórios de ensino, pequenos laboratórios de pesquisa e desenvolvimento, oficinas e *hackerspaces* disponham de uma. O baixo custo de fabricação da fresadora PCI João-de-Barro, sua precisão e qualidade e seus atributos de HAL se apresentam como uma solução aos problemas apontados. Por ser um *hardware* aberto e livre (HAL), sua documentação está licenciada sob termos da licença de *hardware* aberto do CERN Ver. 1.2.²⁹ Além disso, o *software* necessário para sua operação – seja KiCad, FlatCam ou Universal G-CodeSender – é todo livre.

²⁶ TropOS – o sistema operacional PORTátil do laboratório livre. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/tropos>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

²⁷ Debian, o sistema operacional universal. Disponível em: <<https://www.debian.org/index.pt.html>>.

²⁸ Fresadora João-de-Barro. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/pciwb>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

²⁹ Open Hardware Licence v. 1.2. Disponível em: <<http://www.ohwr.org/documents/294>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

Figura 3. O primeiro protótipo da fresadora PCI João-de-Barro (esquerda) e a versão profissional, a fresadora PCI João-de-Barro Pro (direita).



Fonte: Máquinas montadas e fotografadas por membros do CTA a partir de peças fabricadas pela TTP Indústria Mecânica LTDA

Shield Amplificador de Instrumentação

O *Shield* Amplificador de Instrumentação³⁰ foi desenhado para amplificação e aquisição de dados correspondente a sinais de baixa intensidade com um Arduino, num sistema de alto desempenho e baixo custo. Criado para apoiar as atividades do curso de instrumentação física oferecido para estudantes de bacharelado em engenharia física, também tem potencial para aplicação em outras áreas de engenharias e de nível técnico.

Estações meteorológicas modulares

O projeto das Estações Meteorológicas Modulares visa chamar a atenção do cidadão para as questões climáticas, por meio de ações de monitoramento meteorológico e ambiental, pela aplicação de estações meteorológicas modulares na formação de redes de coleta e análise de dados. É fruto de uma parceria entre o CTA, o Colégio de Aplicação (CAp) e o Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da UFRGS. Espera-se que dê origem a uma rede de coleta de dados meteorológicos mais densas que aquelas compostas por estações institucionais, que seja capaz de monitorar microclimas com instrumentos abertos, de baixo custo e fácil reprodução, e cujos resultados de medidas sejam disponíveis abertamente.

Essa participação cidadã pode ser chamada de *ciência cidadã*, que se enquadra em um caso específico de *crowdsourcing*, que pode ser entendido de maneira simplificada

³⁰ Disponível em: <<https://git.cta.if.ufrgs.br/CTA/shield-AI>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

como processo de construção pelas multidões.³¹ A ciência cidadã recai no caso específico da contribuição de “cidadãos voluntários” na obtenção de dados, resultados e interpretações. A participação cidadã em massa é um processo que viabiliza iniciativas científicas que apresentariam custos proibitivos ou mesmo que seriam impraticáveis sem essa colaboração (SOARES; SANTOS, 2011). Mais informações na *wiki* do projeto.³²

Considerações Finais³³

Descrevemos como os conceitos de liberdade do conhecimento são integrados aos princípios no Centro de Tecnologia Acadêmica do Instituto de Física da UFRGS. Tomamos os hiperobjetos como base conceitual para a execução dos projetos acadêmicos. Assim sendo, o CTA tem como um dos objetivos oferecer métodos e ferramentas para a renovação da academia nos modos de produção, gestão e disseminação do conhecimento.

O CTA atua no desenvolvimento e aplicação de métodos para o desenvolvimento de projetos, com o intuito de viabilizar a colaboração distribuída no *design* e fabricação de instrumentos científicos e educacionais abertos, tanto na universidade como na educação básica. Para atingir os objetivos de organização e documentação de projetos, os participantes do CTA lançaram mão das ferramentas utilizadas por projetos colaborativos e distribuídos já afirmados e experimentam modelos de autogestão para as dinâmicas de grupo. O Centro tem atuado no desenvolvimento da infraestrutura aberta para expansão do conhecimento, desenvolvendo máquinas de fabricação digitais livres para compor *fab labs* e laboratórios educacionais livres, a exemplo da fresadora PCI João-de-Barro dentro da bancada de hiperobjetos.

Acreditamos que a metodologia descrita neste trabalho, assim como qualquer projeto do Centro de Tecnologia Acadêmica, possam ser usados e adaptados por grupos em diferentes contextos, tanto dentro como fora do ambiente acadêmico. Toda a infraestrutura digital descrita é composta de *software* livre, oferecendo autonomia de implantação e adaptação.

Artigo recebido em 31/01/2017 e aprovado em 24/05/2017

³¹ Disponível em: <http://crowdsourcing.typepad.com/cs/2006/06/crowdsourcing_a.html>. Acesso em: 4 nov. 2015.

³² Estações Meteorológicas Modulares: monitoramento climático e ambiental. Disponível em: <<http://cta.if.ufrgs.br/projects/estacao-meteorologica-modular/wiki/Wiki>>. Acesso em: 4 jan, 2016.

³³ O Centro de Tecnologia Acadêmica é parcialmente financiado pelo CNPq, a quem agradecemos pelo apoio financeiro. Manifestamos nossa gratidão aos integrantes do CTA: Béuren Bechlin, Flávio Depaoli, Paulo Müller, Diogo Friggo Panda, Germano Postal, Alisson Claudino, Nelso Jost, Rafael Lima, Leonardo Brunnet, Sebastian Gonçalves, Gabriel Krieger, Lucas Leal, Gilberto Fetzner Filho; aos colaboradores do setor de eletrônica do IF/UFRGS: Mauro Fin, Elton de Brum e Bruno Nabinger; aos responsáveis pelo suporte e manutenção de TI: Diego Rodrigues e Samuel Mello da Silva; assim como as outras pessoas que participaram e colaboraram desde a fundação do CTA, que são muitos para serem listados aqui, motivo pelo qual somos ainda mais gratos.

REFERÊNCIAS

- ABDO, A.H. Direções para uma academia contemporânea e aberta. In: ALBAGLI, S.; MACIEL, M. L.; ABDO, A.H. (Org.). *Ciência aberta, questões abertas*. Brasília: Ibict; Rio de Janeiro: Unirio, 2015. Disponível em: <doi.org/10.18225/978-85-7013-109-6>. Acesso em: 26 dez. 2015.
- ALBAGLI, S.. Ciência aberta em questão. In: ALBAGLI, S.; MACIEL, M.L.; ABDO, A.H. (Org.). *Ciência aberta, questões abertas*. Brasília: Ibict; Rio de Janeiro: Unirio, 2015. Disponível em: <doi.org/10.18225/978-85-7013-109-6>. Acesso em: 28 dez. 2015.
- BENKLER, Yochai. *The wealth of networks: how social production transforms markets and freedom*. New Haven, CT: Yale University Press, 2006. Disponível em: <http://cyber.law.harvard.edu/wealth_of_networks/Download_PDFs_of_the_book>. Acesso em: 8 jan. 2016.
- CASTELLS, Manuel. *A sociedade em rede*. São Paulo: Paz e Terra, 1999. (A Era da Informação: Economia, Sociedade e Cultura, 1).
- JONES, R. RepRap: the replicating rapid prototype. *Robotica*, Nova York: Cambridge University Press, v.29, p.177-191, 2011.
- LÉVY, Pierre. *As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática*. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.
- MCRBERTS, M. *Arduino básico*. São Paulo: Novatec, 2011.
- PEARCE, J. M. Building research equipment with free, open-source hardware. *Science*, v. 337, n. 6.100, p. 1.303-1.304, 2012b.
- _____. Open source research in sustainability. *Sustainability: The Journal of Record*, v. 5, n. 4, p. 238-243, 2012a. Acesso em: <DOI:http://dx.doi.org/10.1089/sus.2012.9944>.
- PERENS, B. *Open sources: voices from the open source revolution*, Sebastopol, CA: O'Really, 1999. Disponível em: <http://www.oreilly.com/openbook/opensources/book/perens.html>. Acesso em: 26 dez. 2015.
- PEZZI, R. P. Ciência aberta: dos hipertextos aos hiperobjetos. In: ALBAGLI, S.; MACIEL, M. L.; ABDO, A. H. (Org.). *Ciência aberta, questões abertas*. Brasília: Ibict; Rio de Janeiro: Unirio, 2015. Disponível em: <doi.org/10.18225/978-85-7013-109-6>. Acesso em: 26 dez. 2015.
- SANTANA, B.; ROSSINI, C.; PRETTO, N. D. L. Recursos educacionais abertos: práticas colaborativas e políticas públicas. Salvador: Edufba; São Paulo: Casa de Cultura Digital, 2012. Disponível em: <http://www.livrorea.net.br/>. Acesso em: 28 dez. 2015.
- SERRANO, Javier. Open hardware and collaboration. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PERSONAL COMPUTER AND PARTICLE ACCELERATOR CONTROLS, 11., 2016, Campinas. *Proceedings...* Campinas: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://vrws.de/pcapac2016/papers/thktpk01.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2017.
- SILVA, R.B., et al. Estações meteorológicas de código aberto: um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, mar. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-1173711685>. Acesso em: 4 de jan. 2016.
- SOARES, M.D.; SANTOS, R.D.C. Ciência cidadã: o envolvimento popular em atividades científicas. *Ciência Hoje*, v. 47, n. 281, p. 38-43, maio 2011.