

# Módulos Eletrônicos Interativos: Cibernética e Indeterminação para a Exploração e Aprendizagem em Design

Interactive Electronic Modules: Cybernetics and Uncertainties for Exploration and Learning in Design

**Erica Azevedo da Costa e Mattos**

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
ericamattos@gmail.com

**Diego Fagundes da Silva**

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
diegofagundes@gmail.com

## Abstract

This paper discusses the ongoing development process of an electronic experimentation and learning open system composed by discrete modular units. Our aim is to create an expandable tool capable of support architecture students with the development of notions about electronic systems, digital interactions and the incorporation of uncertainties in design. The theoretical framework of the research is here presented - discussing design, ethics, Second-Order Cybernetics and knowledge construction theories. Also, precedent work on construction kits are introduced for critical analysis and comparison. We concluded our paper with a possible application in an actual educational setting.

**Keywords:** Design; Second-Order Cybernetics; Learning Processes; Modules; Electronic Building Blocks.

## Introdução

Vivemos em um contexto onde tudo de alguma forma foi pensado, construído, "informado" por alguém que nos precedeu. A própria natureza humana é a de um ser que informa o mundo contra suas tendências naturais. Reciprocamente o ser humano acaba por ser transformado e reconstruído no processo de *feedback* de suas ações. Nossa experiência do mundo é mediada pelo design que criamos e ao qual nos submetemos, assim, todos somos simultaneamente e permanentemente usuários e designers.

Com o desenvolvimento progressivo das tecnologias digitais esses objetos/mediações ganham exponencialmente maior complexidade e alcance. No âmbito específico da arquitetura, para além da busca pela completa automatização de processos projetuais ou construtivos - cada vez mais rápidos, precisos e eficientes - nos vemos diante da abertura de um potencial sem precedentes para a construção de objetos, espaços e experiências mais dialógicas.

Atualmente, temos à nossa disposição inúmeros recursos para a prototipagem em eletrônica, assim como kits desenvolvidos para a aprendizagem e experimentação que facilitam um engajamento intencionalmente exploratório e criativo com esses novos meios e ferramentas. Entre alguns dos exemplos mais notáveis podemos pontuar a criação da placa de ensaio de circuito impresso (*proto-board*) ainda no final dos anos 1960, a criação da plataforma Arduino em meados dos anos 2000, e a mais recente retomada dos kits de módulos eletrônicos com o desenvolvimento e a popularidade dos *LittleBits*, entre outros.

Nossa investigação nesta área iniciou como a proposta de desenvolvimento de um kit de eletrônica básica que pudesse servir tanto para o ensino-aprendizagem de eletrônica como para o auxílio ao desenvolvimento de objetos e instalações interativas para estudantes de arquitetura e design. Tomando como inspiração inicial o kit *LittleBits*, queríamos um produto similar que, acima de tudo, fosse financeiramente acessível no contexto brasileiro. Contudo, ao reconhecer a abrangência dos *LittleBits* e de ferramentas precedentes, pudemos identificar tanto possíveis limitações como especificidades relacionadas aos contextos e às demandas para as quais cada uma foi projetada. Assim, ao passo que algumas dessas ferramentas necessitam de conhecimentos prévios em eletrônica ou programação - mesmo que superficiais - outras não foram concebidas visando possibilidades de expansões ou combinações com outros tipos de sistemas, onde precisamente nossa pesquisa pretende se inserir.

Portanto, no decorrer de nossa investigação, prática e teórica, ocorreu uma ampliação dos contornos iniciais da pesquisa, que atualmente levanta questões acerca de conceitos como abertura e circularidade possibilitadas pela utilização de unidades modulares combináveis conformadoras de sistemas mais complexos. O foco de nosso trabalho se deslocou da mera reprodução com menor custo de um sistema já existente para a incorporação de posicionamentos cibernéticos e de uma abordagem pedagógica construcionista para a ação no mundo e para a construção dialógica de conhecimentos.

O presente artigo se estrutura da seguinte maneira: iniciamos com a construção de um suporte teórico abordando conceitos relativos ao design, à Cibernética e a teoria da construção cognitiva; seguimos com uma revisão crítica de trabalhos

anteriores e outros precedentes na linha dos kits educativos de eletrônica e, por fim, concluímos com a retomada de nossa discussão inicial sobre a construção de um kit modular e de sua possível aplicação no ensino-aprendizagem de arquitetura - como parte de uma nova versão da interface de eletrônica utilizada pela disciplina Ateliê Integrado de Arquitetura da UFMG (Baltazar et al., 2013).

## Design e Ética: Obstáculo x Abertura

Em seu ensaio “Design: Obstáculo para remoção de obstáculos?”, o filósofo tcheco naturalizado brasileiro Vilém Flusser (2007) traz em questão o impasse e a consequente responsabilidade do design como ação e imposição: para remover os obstáculos com os quais nos deparamos, acabamos criando soluções que se tornam elas mesmas novos obstáculos. A preocupação de Flusser com tal constatação diz respeito à posição que adquirimos quando impomos obstáculos não apenas ao nosso caminho, mas frente ao caminho de outras pessoas. Aqueles que agem como designers assumem inevitavelmente essa posição e precisam lidar com o seguinte dilema: como tornar os objetos que criamos e sujeitamos aos outros o menos obstaculizantes possível? Para o autor, a responsabilidade se configura na decisão consciente por reforçar o aspecto dialógico desses objetos, ou seja, projetar tendo em mente a intencionalidade de abertura ao outro.

Podemos traçar uma conexão da visão de Flusser com o conhecido imperativo ético do ciberneticista Heinz von Foerster: “devo sempre agir de modo a aumentar o número total de escolhas” (1984, p. 6, tradução nossa). Consideramos que um projeto passa a ser menos um obstáculo quando seus objetivos são menos definidos e a possibilidade para o estabelecimento de relações considerada de forma aberta. Isso se dá quando a liberdade da escolha é deixada àqueles que irão constituir e construir esse sistema de relações.

### Cibernética e Design

Uma maneira pela qual podemos viabilizar a intencionalidade de abertura, eticamente necessária em nossas atividades projetuais, é abordada pelo ciberneticista Gordon Pask (1969) em seu reconhecido texto *The Architectural Relevance of Cybernetics* quando apresenta considerações para o que chama de “um paradigma de design cibernético”. Nessa elaboração, Pask traz à tona a noção chave de “subespecificação” que, embora não esteja explicitada como conceito em si, trata da incompletude intencional na prescrição dos objetivos de um sistema. A subespecificação pode, portanto, ser entendida como uma abertura à incerteza inerente ao diálogo entre entidades. Como os resultados dessas interações dialógicas não podem ser previstos, o sistema subespecificado assume que o mundo ultrapassa tentativas determinísticas de controle, incorporando e valorizando a abertura e a complexidade.

É interessante notar que, ainda nesse texto, podemos identificar o início de uma compreensão que se desenvolveu em uma das maiores contribuições de Pask para o campo da

Cibernética, conhecida como Teoria da Conversação (Glanville, 2007). Essa teoria, que aborda a aprendizagem como um processo de construção cognitiva mediante o diálogo entre atores (humanos ou não), se tornou um dos paradigmas essenciais da chamada Cibernética de Segunda Ordem - termo que caracteriza um novo enfoque na Cibernética, quando essa passa a aplicar seus princípios à si mesma, ou seja, estabelecendo uma “Cibernética da Cibernética”.

O ciberneticista e arquiteto Ranulph Glanville (2007) aponta que Pask foi pioneiro ao ressaltar a importante junção entre Cibernética e design e, como partidário desse mesmo entendimento, vai mais além ao considerá-los dois lados de uma mesma moeda. Em seus termos: “Design é a ação, Cibernética de Segunda Ordem a explicação” (Glanville, 2009b, p. 80, tradução nossa). Esse paralelo é justificado pelo papel central que a circularidade desempenha em ambos - design como performance e Cibernética como princípio explanatório. Para Glanville, a Cibernética sempre implicou na circularidade, rompendo a ideia linear de causa e efeito e a substituindo pela noção de *feedbacks* e ajustes. Porém, com a Cibernética de Segunda Ordem essa circularidade passou a ser tomada mais a sério, inserindo necessariamente o observador como parte ativa de todo sistema. Assim, como o ato de projetar é sempre um processo conversacional - alimentado por processos circulares de tentativa e erro, diálogos internos e externos - podemos entendê-lo como um ato essencialmente cibernético.

Cabe lembrar que o processo de reavaliação que a Cibernética estabeleceu sobre si mesma pode ser acompanhado também, paralelamente, dentro do campo do design (Glanville, 2007). Quando uma preocupação com a cientificidade do design emergiu notadamente através do movimento *Design Methods* ainda nos anos 1960, houve a tentativa de tornar a atividade menos arbitrária e dependente das intenções de cada projetista e mais rigorosamente científica e prescritiva, como um campo próprio acadêmico - muito apoiado pela análise sistêmica da Cibernética de Primeira Ordem. Porém, após cerca de uma década de discussões, muitos dos seus primeiros e principais defensores passaram a se voltar contra esse princípio inicial, percebendo que não existe possibilidade de remover a subjetividade do processo de design e enquadrá-lo em parâmetros puramente objetivos (Glanville, 2015).

Essa mudança de percepção é apontada por Glanville (2007), em relação a John Chris Jones, figura-chave e posteriormente grande crítico dessa abordagem do movimento. No decorrer da década de 1970, Jones passa a demonstrar maior preocupação com a abertura dos processos para a inclusão do acaso e a reconhecer o valor do processo mental como uma caixa-preta, em um entendimento cibernético. Além disso, é fortalecida a compreensão do design como parte integrante da vida, da simultaneidade entre projeto e uso e da necessidade de se abrir cada vez mais esses processos para a decisão daqueles que são ao mesmo tempo usuários e designers (Jones, 1991; 1992).

## Design de Módulos

Apesar de suas críticas e do reconhecimento das limitações de modelos estritamente racionais de design e da necessidade de uma desprofissionalização da disciplina, Jones (1991; 1992) ainda defende o que ele reconhece como sendo o “melhor e mais difícil tipo de design”: o desenvolvimento de módulos. Para Jones, módulos como tijolos, cartas de baralho, números, alfabetos, entre outras unidades do tipo, compõem uma escala de design diferente daquela do produto ou dos sistemas finalizados. Tais módulos abrem possibilidades indeterminadas de composição e de uso que vão muito além do que os designers poderiam considerar em suas concepções iniciais.

É importante ressaltar, contudo, que esse entendimento difere fundamentalmente do senso comum, que aproxima a noção de modularidade à de padronização e de standardização modernas como estratégias para o consumo e customização em massa e conseqüente restrição da variedade. Portanto, os sistemas construídos a partir da noção mais aberta de módulos, podem ser entendidos, na verdade, como meta-designs que potencializam a ação de outros indivíduos como designers.

Jones (1991) aponta, fazendo referência a ensinamentos do designer Bernard Keay, que uma maneira de resolver o conflito entre standardização e flexibilidade é aumentar a standardização nas junções e minimizá-la nos componentes. Aqui identificamos que isso pode se dar tanto de forma concreta - a exemplo de conectores e encaixes - como de forma abstrata - tais como as regras de um jogo. Para Jones o princípio subjacente dessa afirmação está na separação da lógica dos módulos da lógica do seu uso. Ou seja, abrindo a possibilidade de criar sistemas desde a pequena escala das unidades até uma escala maior indeterminada - do uso, da vida.

## Operações de Unidade

Mais recentemente, o estudioso de mídias e *game designer* Ian Bogost (2006) retomou essa discussão sobre a diferença entre sistemas completos e sistemas indeterminados a partir da definição da noção de “Operações de Unidades” (*Unit Operations*). Para Bogost, as Operações de Unidade representam uma oposição à tradicional visão sistêmica totalizadora, abrindo-se para a complexidade e para a não-previsibilidade. Contudo, não devemos assumir tratar-se de uma completa negação dos sistemas, mas antes, uma mudança de foco da observação holística para a compreensão da natureza das relações estabelecidas pelas unidades - entendidas aqui como módulos - que os compõem.

O conceito definido por Bogost é sumarizado como “modos de construção de significado que privilegiam ações discretas e desconectadas sobre sistemas determinísticos e progressivos.” (Bogost, 2006, p.3, tradução nossa). Operações de Unidades é um amalgamado de diversos campos, incluindo a Cibernética, as ciências da computação, a física, a biologia e passível de aplicação no universo dos estudos literários, do cinema e dos jogos eletrônicos, como é empregado pelo autor em sua pesquisa.

Encontramos na Cibernética uma das influências para o pensamento de Bogost. Se, como dito anteriormente, Pask já apontava semelhanças entre arquitetura e Cibernética, por ambos os campos se ocuparem essencialmente do design de sistemas complexos, o próprio conceito de Sistemas Generativos do qual deriva a teoria do *Cellular Automata*, descrita e analisada em detalhes por John von Neumann (1966) e Stephen Wolfram (1968), já se estabelece como uma maneira de modelar sistemas não-prognosticáveis, como o da própria vida. O *Cellular Automata* é inclusive tratado por Bogost como um caso específico dentro das Operações de Unidade, pois através de uma matriz ocupada por módulos sujeitos a um conjunto extremamente simples de regras é possível construir uma estrutura totalmente aberta e expansível.

Também associado ao campo do *game design*, o arquiteto Jose Sanchez (2014), aponta que as relações de combinatória presentes no que ele chama de “Sistemas Não-Holísticos” relacionam-se à entropia negativa, ou seja, à possibilidade de que surjam arranjos diferentes a partir de um mesmo conjunto finito de peças. Assim, sistemas combinatórios podem ser tomados como elementos de estímulo à criatividade fazendo eco à defesa que John Chris Jones faz em relação ao design de módulos.

## Construtivismo e Construcionismo

Dado o contexto em que essa pesquisa se situa - de uma preocupação com o ensino-aprendizagem de arquitetura e, mais especificamente, de noções de eletrônica básica para o desenvolvimento de interações espaciais - julgamos apropriado acrescentar à discussão também algumas considerações a respeito da construção de conhecimento e abordagens pedagógicas. A posição defendida neste artigo parte de uma base comum compartilhada entre a Cibernética de Segunda Ordem e a teoria do Construtivismo elaborada por Jean Piaget.

Como já apontado anteriormente, a Cibernética de Segunda-Ordem considera o observador como parte ativa e central dos sistemas, colocando-se em contraposição à prévia neutralidade assumida pela análise de Primeira-Ordem. Assim, passa-se a trabalhar com “sistemas observadores” e não mais com “sistemas observados”. Como implicação dessa abordagem temos que, dentro desse enquadramento, todo conhecimento é dependente do envolvimento do observador (Glanville, 2009).

De forma análoga, a premissa do Construtivismo é a de que realidade não nos é diretamente acessível - não podemos nem negar nem assumir sua existência independente da nossa experiência. A partir disso temos que todo nosso conhecimento é ativamente construído (em oposição a descoberto) através das relações que estabelecemos com o nosso mundo (Ackermann, 2001). Ou seja, o conhecimento é uma elaboração de um entendimento privado, único e intransferível. Já que a transferência de conhecimento não é possível, o ensino sempre será indireto - negando o princípio básico do modelo de transmissão tão comum nas abordagens pedagógicas mais tradicionais.

A abordagem pedagógica construcionista elaborada por Seymour Papert - uma variante do Construtivismo - se apoia nessa premissa, também vendo a aprendizagem como “construções de estruturas de conhecimento” em um processo recursivo de auto-organização. Porém, de forma mais específica, defende que o engajamento consciente na construção de entidades públicas permite um melhor contexto para que esse processo ocorra (Papert & Harel, 1991). Para isso o Construcionismo possui uma preocupação maior com o “aprender fazendo”, focando mais pragmaticamente em contextos, meios e mídias que possam auxiliar o processo de aprendizagem.

Gostaríamos de ressaltar aqui que, muito antes dessas teorias serem concebidas, temos exemplos de práticas e abordagens similares, definindo precedentes importantes que em diversos níveis permanecem atuais e relevantes. Mitchel Resnick (1998) aponta o educador suíço Johann Heinrich Pestalozzi como um dos primeiros a advogar - no final do século XVIII - em favor do “aprender fazendo”, reivindicando a aprendizagem através dos sentidos e do envolvimento físico. Influenciado por Pestalozzi, o também educador e criador do conceito de jardim de infância, Friedrich Froebel desenvolveu uma série de objetos manipuláveis denominados *Gifts*, destinados a auxiliar crianças em seus processos de construção do conhecimento.

Para Glanville (2009a), Froebel foi um ciberneticista muito antes do nascimento da Cibernética. Para Resnick (2007) o seu trabalho com os *Gifts* é um dos primeiros exemplos de abordagem educacional construcionista, muito antes do desenvolvimento do Construcionismo. Glanville justifica sua afirmação identificando diversos conceitos contemporâneos da Cibernética na abordagem de Froebel: erro (reconhecendo a necessidade e seus benefícios); autonomia (criança como um ser autônomo e auto organizável); responsabilidade (por parte daquele que aprende, advinda de sua autonomia); e generosidade (como ponto de partida de toda abordagem). Já a conexão que Resnick faz é mais direta, fazendo relação ao potencial dos objetos manipuláveis tais quais os *Gifts* de Froebel, uma das bases do Construcionismo. Nesse sentido ele reconhece: “Froebel estava projetando (*designing*) para projetistas (*designers*) - ele projetou objetos que possibilitaram crianças em seus jardins de infância a realizarem seus próprios projetos.” (Resnick, 2007, p. 3, tradução nossa)

### Precedentes e Trabalhos Relacionados

Através de seus *Gifts* - devidamente sistematizados em pequenos conjuntos: ora compostos por bolas, ora por varetas, ora por blocos - podemos dizer que uma das contribuições de Froebel foi iniciar a tradição de “blocos de montar” como meios concretos para aprendizagem, que abriu caminho para uma série de outros experimentos nessa área. O famoso kit de blocos de plástico LEGO, criado em 1932, está claramente relacionado a essa tradição, porém, tratando-se da proposta de um brinquedo comercial, não se associou a uma sistematização pedagógica ou uma relação direta de ensino, o que acabou por aumentar ainda mais o seu potencial de abertura para a criação e exploração de crianças e adultos.

Com o passar do tempo brinquedos como LEGO, O Pequeno Construtor e *Lincoln Logs* começaram a dividir espaço com novos kits que incluíam movimento por meio de motores, engrenagens e roldanas, além de kits com sistemas eletrônicos e atualmente também sistemas com comportamentos digitalmente programáveis (Resnick, 1993).

### Kits de eletrônica

Dado o panorama acima, podemos encontrar atualmente uma série de kits de eletrônica, programáveis ou não, disponíveis no mercado, desenvolvidos como propostas comerciais e/ou derivados de pesquisas acadêmicas - que mesmo com suas particularidades, compartilham aspectos comuns como a modularidade e uma ênfase no aprendizado exploratório. Entre eles e de maior relevância para nossa pesquisa, podemos mencionar: o *Lectron* (1965); o *Bloc-Tronic* (1979); o *LittleBits* (2009).

*Lectron* (Figura 1a) é reconhecido como o primeiro kit de eletrônica com finalidades educativas. Foi desenvolvido por Georg Franz Greger (Greger, 1969), na Alemanha no início da década de 1960 e chegou ao mercado a partir de 1966 através da empresa *Egger-Bahn* (Peters, 2012). Porém, somente em 1973 com a participação da empresa alemã *Braun* o kit passou a ter distribuição e popularidade internacional. *Lectron* é um kit modular, composto por unidades cúbicas em acrílico contendo componentes eletrônicos diversos e conectores magnéticos. Sua montagem sobre uma placa metálica permitia o fechamento do circuito eletrônico e o acionamento das peças. O kit ainda é vendido atualmente e conta com mais de 20 diferentes conjuntos de módulos voltados a interesses específicos, tais como rádio, energia solar e eletrônica automotiva.

*Bloc-Tronic* (Figura 1b) é também um kit modular de eletrônica, assim como *Lectron*, criado pelos taiwaneses Weng Teng-Ching e Yang Chi-Ming (Teng-Ching & Chi-Ming, 1983). Desenvolvido no final dos anos 1970, o kit foi comercializado durante a década de 1980. Formado também por unidades cúbicas, construídas em material verde translúcido, um dos fatores que diferencia *Bloc-Tronic* do *Lectron* é sua independência de uma placa metálica como base de contato para o fechamento de circuito. Além disso suas conexões são realizadas por encaixes planares em oposição aos conectores magnéticos do *Lectron*. Como sistema, o kit de peças combináveis não era dividido em pacotes especializados, como seu antecessor, apenas em pacotes com maior ou menor quantidade de blocos. Complementos também poderiam ser adquiridos separadamente, incluindo amperímetros, fones de ouvido e uma série de blocos vazios para inserção de componentes variados além dos originalmente programados.

Já o kit *LittleBits* (Figura 1c), desenvolvido pela então pesquisadora do *MIT Media Lab*, Aya Bdeir, foi apresentado ao público em 2009 e seu sucesso motivou a criação da empresa homônima em 2011 (Bdeir, 2013). O kit pode ser considerado uma releitura contemporânea de projetos anteriores, como *Lectron* e *Bloc-Tronic*. Consiste também em um conjunto de módulos montados sobre placas de circuito

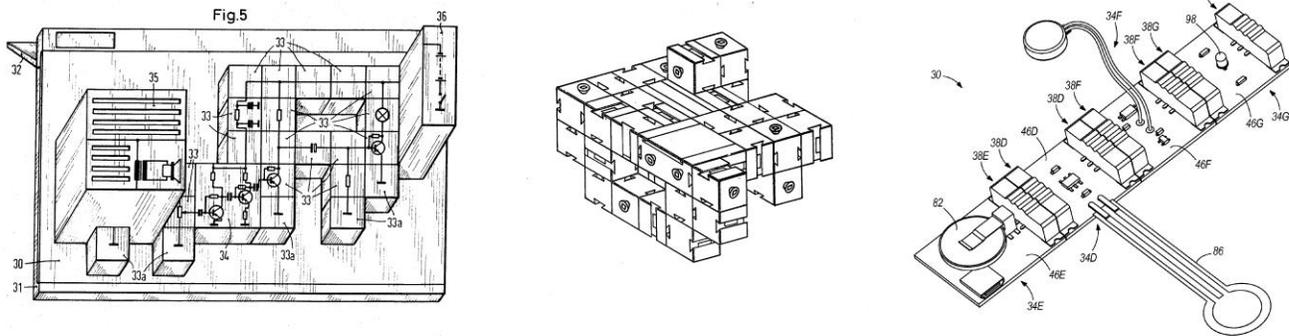


Figura 1: Ilustrações de patentes (a) Lectron (Greger, 1969). (b) Bloc-Tronic (Teng-Ching & Chi-Ming, 1983). (c) LittleBits (Bdeir, 2013).

impresso conectadas magneticamente umas às outras (Bdeir, 2009). O crescimento e a popularização do kit se dão por sua associação com a atual roupagem do Movimento Maker e DIY, além da defesa do discurso *Open Source*. Atualmente, são uma referência significativa da utilização de kits eletrônicos como ferramenta de ensino para crianças e adultos, amadores ou profissionais de design. Sua influência é atestada pela variedade de produtos que acabou influenciando posteriormente, motivo pelo qual também o elegemos como ponto de partida para nossa pesquisa.

O kit segue muitos dos preceitos estabelecidos pelo *Lectron*, como um grande apelo visual e uma extensiva gama de kits já especializados para diversas áreas de interesse como música, rádio, robótica, automação residencial, etc. Seu uso não requer nenhum conhecimento prévio, visto que sua funcionalidade técnica é ocultada por meio de uso de componentes eletrônicos do tipo SMD (*surface-mount device*), de reduzidas dimensões, porém algumas anotações se mantem presentes em suas placas. Assim como os kits que o precederam, é acompanhado por um manual impresso contendo explicações e sugestões de experimentos para a introdução de conceitos muito básicos de eletrônica.

Todos os projetos de circuitos das placas desenvolvidas pela empresa estão sob licença *open hardware*, porém o sistema modular de conectores magnéticos - dos quais derivam grande parte de seu apelo e popularidade - são propriedades intelectuais. Essa restrição estabelecida justamente no elemento-chave que permite a abertura de possibilidades de exploração (relembrando as premissas do design de módulos de Jones) são bastante frustrantes, pois os circuitos são de baixa complexidade (facilmente replicáveis por alguém com conhecimento básico em eletrônica) e o discurso do *open hardware* acaba servindo mais como propaganda do que uma contribuição efetiva para aqueles que desejam replicar ou modificar o projeto, por exemplo, em contextos menos favorecidos.

Precisamos, ainda destacar que a polaridade das conexões magnéticas, já trabalhadas pelo kit *Lectron*, acabam não permitindo ao manipulador a possibilidade do erro - bloqueando assim um dos pontos mais importantes do processo circular de construção do conhecimento e uma das características valorizadas por Froebel.

A nossa proposta se situa claramente na linha trabalhada por esses três kits descritos, e seu estudo foi fundamental para reposicionar a nossa pesquisa. Reconhecemos o refinamento das propostas e o valor da combinação e experimentação por módulos manipuláveis. Por outro lado identificamos que tais kits constroem sistemas que, embora sejam muito abertos dentro deles mesmos, acabam se fechando em suas próprias lógicas. Variações e desdobramentos que extrapolam os sistemas iniciais não previstos ou não são encorajados pelo seu design.

## Reposicionamento da Pesquisa

Assim, com base na abordagem da circularidade cibernética e sua relação intrínseca tanto com o campo do design como com a teoria da construção cognitiva - construtivista e construcionista - nossa pesquisa passou também por um processo de ajuste de curso. O que inicialmente se desenhava como uma versão mais acessível do kit *LittleBits* passa a ser entendido como parte de um processo muito mais abrangente em que a própria ideia de um kit de peças prontas ao uso passa a ser revista e ampliada.

### Kit de peças modulares

O kit de peças modulares foi inicialmente prototipado seguindo os mesmos preceitos dos kits comerciais descritos anteriormente, ou seja, modular, e com um conjunto finito de peças combináveis entre si. As peças resultantes desse desenvolvimento são divididas entre sensores, ou *Inputs* e atuadores, ou *Outputs*. Dessa forma, algumas peças são capazes de coletar informações do ambiente, como variações de luminosidade, temperatura, pressão, etc e outras podem agir a partir das informações coletadas emitindo sinais luminosos, sonoros ou gerando movimentos mecânicos.

Ao redesenhar os circuitos para simplificar sua execução e substituir as conexões magnéticas patenteadas - presentes nos *LittleBits* tomados como inspiração - por conexões de encaixe macho-fêmea via cabos, os módulos do nosso primeiro protótipo possuíam ainda tamanho e proporções similares às encontradas nos *LittleBits* (Figura 2), utilizando inclusive, componentes eletrônicos do mesmo tipo. Em uma análise posterior, devido à dificuldade em manipular as peças para montagem artesanal, identificamos que a escolha pelos componentes SMD representou um entrave ao nosso desejo

por criar um sistema mais acessível, que pudesse não apenas ser utilizado por um amplo público, mas também ser montado e compreendido. Se, por um lado, circuitos que utilizam essa espécie de componente possuem menor custo em um contexto de manufatura industrial, por outro, acabam exigindo habilidades específicas e relativamente avançadas em um processo de soldagem artesanal.



**Figura 2:** Protótipo em circuito impresso. Imagem por autores (2014)

As dificuldades de montagem identificadas com os componentes SMD nos levaram a uma reflexão sobre determinados aspectos técnicos que deveriam ser priorizados em protótipos subsequentes de modo a atingir maiores graus de abertura de nosso projeto. As seguintes questões foram então levantadas: Estávamos entendendo de forma clara os pequenos circuitos impressos nas placas ou eles haviam se tornado uma caixa preta muito difícil de desvendar? O que pessoas com diferentes graus de conhecimento pensariam frente a essas pequenas placas? Teriam elas o alcance que desejávamos? Queríamos mesmo desenvolver um produto adequado à escala industrial ou uma experiência de aprendizagem? Teríamos nós nos distanciados das nossas motivações iniciais?

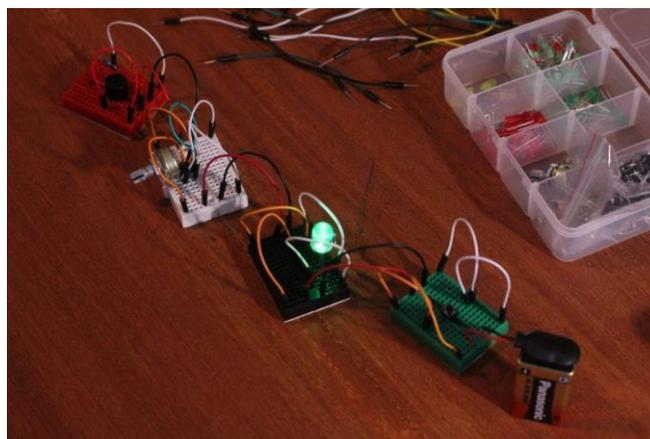
A partir do *feedback* proporcionado pelo desenvolvimento desse primeiro protótipo fomos capazes de realizar ajustes no curso da pesquisa observando aspectos que gostaríamos de fortalecer em um futuro experimento: a compreensão prática dos circuitos para o desenvolvimento de entendimentos e capacidades que eventualmente levariam o manipulador a superar o próprio sistema inicial. Dessa forma, julgamos que poderíamos abrir espaço para o florescimento de diferentes tipos de habilidades e processos criativos próprios a cada indivíduo e não fomentar a dependência de um sistema ou de tecnologias específicas, muitas vezes inacessíveis à compreensão.

Assim, com a elaboração de um segundo protótipo passamos a adotar componentes eletrônicos padrão para placas perfuradas - *LEDs*, *push buttons*, *potenciômetros*, *sensores LDR*, *transistores* - montados sobre pequenas *protoboards* de 170 pontos (Figura 3). Essa montagem, sem a necessidade de junções fixas soldadas, assegura entre outras coisas, a possibilidade de criação, a qualquer momento, de novas peças e a adição de funcionalidades ao sistema que passa então a não ter mais um conjunto restrito de peças. Ao nos associarmos a um outro sistema modular já existente como suporte - as *protoboards* - nosso projeto passa a tratar

também das possibilidades de desenvolvimento de novos módulos a partir dessa estrutura-base comum. Fixa-se assim como única regra o tipo de conexão (natureza e posição dos contatos) entre um módulo e outro, ganhando flexibilidade em cada um dos intervalos.

Mantendo a ideia básica de conexão do protótipo anterior, a articulação entre os módulos se dá agora por meio cabos que podem ser estendidos e espacializados (Figura 4), permitindo a utilização do sistema nas escalas tanto de objetos como de instalações interativas. A possibilidade de uso em escala espacial é o que inicialmente identificamos como principal elo para a aplicação da estratégia no trabalho com estudantes de arquitetura e design, alimentada agora por possibilidades exploratórias e dialógicas geradas pelo sistema mais aberto.

Com a evolução de nosso processo de pensamento, possibilitado prioritariamente pela sequência de protótipos realizados e testados, identificamos uma espécie de desmaterialização conceitual dos módulos, que cada vez mais se distanciam dos aspectos físicos que ao mesmo tempo caracterizam e delimitam os kits tomados como referências.



**Figura 3:** Protótipo sobre *protoboards* de 170 pontos. Imagem por autores (2014)

O funcionamento do sistema proposto neste segundo protótipo continua a obedecer lógica comum a qualquer circuito eletrônico: necessita da existência de uma fonte de alimentação - Uma bateria por exemplo - e um caminho contínuo de um polo ao outro da fonte. Contudo, devido a particularidades na montagem de cada um dos módulos, o sistema pode assumir diferentes configurações, gerando comportamentos variados e indeterminados (Figura 4). Através da possibilidade de combinação com outros tipos de sistemas, como o próprio microcontrolador Arduino, adiciona-se também mais uma nova camada de complexidade dada pela programação digital de novos comportamentos.

### Interface de Eletrônica e Construção coletiva de Conhecimento

Dada a grande abrangência das possibilidades abertas pelo sistema modular proposto, uma nova frente de investigação foi aberta com o desenho de uma aplicação concreta em ambiente acadêmico universitário. A partir da interface de

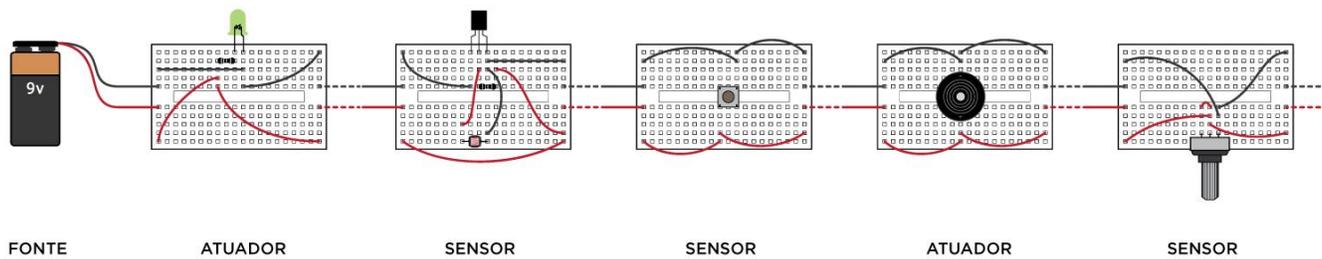


Figura 4: Esquema geral de módulos e circuito. Imagem por autores (2016)

eletrônica, já desenvolvida em diferentes versões e utilizada no Ateliê Integrado de Arquitetura da UFMG (Baltazar et. al, 2013), objetivamos aprofundar questões referentes ao processo de aprendizado coletivo. Atualmente, a interface utilizada apresenta algumas limitações, especialmente de ordem técnica, sendo difícil a sua manipulação e o acionamento dos contatos muito frágeis. Contudo, podemos observar que, devido a essas mesmas limitações encontradas, os estudantes atingem nível maior de engajamento com a estrutura ao precisarem invariavelmente coordenar ações conjuntas para sua manipulação. Essa característica que emerge da experiência empírica é vista como fator positivo a ser mantido em futuras versões.

Assim, nossa proposta, ainda em fase de implementação, é a de aliar o kit de módulos eletrônicos interativos a um suporte também montável e manipulável em que os estudantes possam coletivamente, ou mesmo individualmente, construir de maneira experimental, entendimentos básicos sobre design de interação. A separação entre módulos eletrônicos e suporte tridimensional - em madeira, papelão ou acrílico - pode ampliar as possibilidades de se obter diferentes arranjos e eventualmente acrescentar novas peças eletrônicas ou novas peças ao suporte tridimensional. Essa diferenciação da lógica dos módulos (eletrônicos e de suporte tridimensional) em relação à lógica dos seus usos, como colocado por Jones, abre mais possibilidades, considerando-se tanto o número possível de combinações dos módulos eletrônicos ou dos módulos que compõem o suporte tridimensional como novo sistema composto pelos dois tipos de módulos combinados. Portanto, identificamos nesse ato, um novo grau de abertura para a exploração nessa abordagem pedagógica em que o sistema não se caracteriza mais como uma entidade fechada que pode ser observada de fora, mas como uma estrutura aberta a diferentes níveis de diálogo.

## Considerações

No estágio atual de desenvolvimento desse trabalho, identificamos que a relevância do que foi exposto encontra-se especialmente em repensar interfaces para o ensino-aprendizagem a partir de diversas escalas de abertura - do design, do uso, da ampliação e da combinação com outros sistemas. A responsabilidade advinda do compromisso ético com o outro, uma das bases da Cibernéticas de Segunda-Ordem, é mantida ao assegurar a possibilidade de processos distintos de construção do conhecimento, tomado aqui como fruto de elaboração absolutamente pessoal em um processo

conversacional. O conhecimento, portanto, não pode ser transferido, mas acreditamos ser possível estimular situações em que essa conversação possa ser facilitada e mesmo potencializada através de contextos e meios que permitam abertura.

A função do design, portanto, não está somente na cristalização de arranjos materiais e espaciais inovadores, mas na criação de estruturas relacionais para a construção e o compartilhamento de entendimentos individuais e coletivos, estruturas que não pretendem solucionar problemas, mas antes permitir a emergência de questões e deslocamentos. No artigo abordamos essencialmente o paradigma cibernético como teoria que embasa o design de sistemas complexos abertos à indeterminação e, a partir desse entendimento temos elaborado continuamente nossa experiência com módulos e com o uso da eletrônica procurando manter aberto o espaço para a indeterminação.

No nosso caso, reconhecer o contexto específico de desenvolvimento do pesquisa e trabalhar sobre sistemas e materiais pré-existentes como a *protoboard* e componentes eletrônicos usuais, têm se mostrado uma escolha apropriada dentro dos objetivos que lançamos. A experiência que foi narrada aqui ainda está em andamento e é certamente uma entre tantas possibilidades de se abordar o processo criativo em arquitetura e design dentro do contexto das tecnologias digitais interativas e, estamos abertos para outras que poderão surgir do próprio desenvolvimento e futuros desdobramentos deste trabalho.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao LAGEAR, laboratório de pesquisa da UFMG, seus pesquisadores e aos seus coordenadores, a Professora Ana Paula Baltazar e Professor José dos Santos Cabral Filho. Agradecemos também ao engenheiro electricista Daniel Spillere que contribuiu nos primeiros momentos dessa pesquisa.

## Referências

- Ackermann, E. (2001). Piaget's Constructivism, Papert's Constructionism: What's the difference? *Future of Learning Group Publication*, 5(3), 438.
- Baltazar, A. P., Cabral Filho, J. dos S., van Stralen, M. de S., Arruda, G. F. de, Gomes Junior, E. Q., Pizano, L. R., & Moraes, F. N. de. (2013). Interface de eletrônica e objeto interativo como introdução

- aof. In Knowledge-based Design - Proceedings of the 17th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (Vol. 1, pp. 608–612). Valparaíso, Chile.
- Bdeir, A. (2009). Electronics as material: littleBits. In Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (pp. 397–400). ACM.
- Bdeir, A. (2013). Modular electronic building systems with magnetic interconnections and methods of using the same. Retrieved from <http://www.google.com.br/patents/US20130050958>
- Bogost, I. (2006). Unit operations: an approach to videogame criticism. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Flusser, V. (2007). Design: obstáculo para remoção de obstáculos? In R. Cardoso (Ed.), R. Abi-Sâmara (Trans.), *O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação* (pp. 193–198). São Paulo: Cosac Naify.
- von Foerster, H. (1984). Disorder/Order: Discovery or Invention? Retrieved from <http://ada.evergreen.edu/~arunc/texts/cybernetics/heinz/disorder.pdf>.
- Gardner, M. (1970). Mathematical Games: The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game "Life." *Scientific American*, 233, 120–123.
- Glanville, R. (2007). Try again. Fail again. Fail better: the cybernetics in design and the design in cybernetics. *Kybernetes*, 36(9/10), 1173–1206. <http://doi.org/10.1108/03684920710827238>.
- Glanville, R. (2009a). A (Cybernetic) Musing: Cybernetics and Human Knowing. In *The Black Boox vol 3: 39 steps* (pp. 221–229). Wien: ed. Echoraum.
- Glanville, R. (2009b). Second Order Cybernetics. In F. Parra-Luna (Ed.), *Systems Science and Cybernetics - Volume III* (pp. 59–86). EOLSS Publications. Retrieved from <https://books.google.com.br/books?id=2-VRCwAAQBAJ>.
- Glanville, R. (2015). The sometimes uncomfortable marriages of design and research. In P. A. Rodgers & J. Yee (Eds.), *The Routledge companion to design research* (pp. 9–22). New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Greger, G. (1969, June 3). Electronic building set. Retrieved from <http://www.google.com.br/patents/US3447249>.
- Jones, J. C. (1991). *Designing designing* (New edition). London: Architecture Design and Technology Press.
- Jones, J. C. (1992). 1980 edition: a review of new topics. In *Design methods* (2. ed). New York, NY: Wiley.
- Papert, S., & Harel, I. (1991). Situating constructionism. In I. Harel & S. Papert (Eds.), *Constructionism: research reports and essays, 1985-1990*. Norwood, N.J: Ablex Publishing Corporation.
- Pask, G. (1969). The Architectural Relevance of Cybernetics. *Architectural Design, AD 9/69*, 494–496.
- Peters, M. (2012). LECTRON.info - The Ultimate LECTRON Information Resource and Online Museum. Retrieved April 3, 2016, from <http://lectron.info/index.html>
- Resnick, M. (1993). Behavior Construction Kits. *Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World*, 36(7), 64–71. <http://doi.org/10.1145/159544.159593>
- Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational Technology Research and Development*, 46(4), 43–55. <http://doi.org/10.1007/BF02299672>
- Resnick, M. (2007). All I Really Need to Know (About Creative Thinking) I Learned (by Studying How Children Learn) in Kindergarten. In *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition* (pp. 1–6). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1254960.1254961>
- Sanchez, J. (2014). Polyomino: Reconsidering serial repetition in combinatorics. In *Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)* (pp. 91–100). Los Angeles. Retrieved from [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?acadia14\\_91](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?acadia14_91)
- Teng-Ching, W., & Chi-Ming, Y. (1983, December 27). Combination electronic circuit element with multidirectionally adjustable joints. Retrieved from <http://www.google.com.br/patents/US4423465>.