

TERMO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA E FINANCEIRA QUE ENTRE SI CELEBRAM O INSTITUTO SERRAPILHEIRA, A UNIVERSIDADE DO ESTADO DE RIO DE JANEIRO / UERJ, O COORDENADOR FRANCISCO FIGUEIREDO GOYTACAZ SANT'ANNA, E A FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES (FUNARBE), NA FORMA ABAIXO:

O **Instituto Serrapilheira**, Associação sem fins lucrativos, com sede na Rua Aníbal de Mendonça, 151, 1º andar, sala 1, Ipanema, na cidade do Rio de Janeiro, Estado do RJ, inscrito no CNPJ sob o nº 23.827.151/0001-13, neste ato representado pelo seu Diretor-Presidente Hugo Georges Roger Aguilaniu, Geneticista, RNE V889563-3 e CPF sob nº 236.157.848-47, doravante denominado isoladamente **INSTITUTO**;

a **Universidade do Estado de Rio de Janeiro / UERJ**, pessoa jurídica de direito público, com sede na Rua São Francisco Xavier, 524, Pavilhão Reitor João Lyra Filho, 6º andar, Sala 6020 - Bloco B, cidade de Rio de Janeiro, Estado de RJ, inscrita no CNPJ sob o nº 33.540.014/0001-57, neste ato representada por Ruy Garcia Marques, RG 5.232.557-9 e CPF sob nº 319.932.737-00, doravante denominada isoladamente **INSTITUIÇÃO DE PESQUISA** ou, simplesmente **INSTITUIÇÃO**;

a **Fundação Arthur Bernardes**, fundação de direito privado, com personalidade jurídica própria, sem fins lucrativos, com sede na cidade de Viçosa, no Campus Universitário, inscrita no CNPJ sob o nº 20.320.503/0001-51, neste ato representada por seu Diretor-Presidente Luiz Eduardo Dias, Engenheiro Agrônomo, RG 6.617.254-8 e CPF sob nº 369.751.766-04, doravante denominada isoladamente **FUNARBE**, e

**Francisco Figueiredo Goytacaz Sant'Anna**, Professor, RG 11.726.911-8 e CPF sob nº 016.833.377-51, doravante designado isoladamente **COORDENADOR** e, quando em conjunto com o **INSTITUTO**, a **INSTITUIÇÃO DE PESQUISA** e a **FUNARBE**, denominados **PARTÍCIPIES**.

**Considerando** que, em função do objetivo do INSTITUTO de fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico no país, foi realizado, ao longo do ano de 2017, um processo de seleção de projetos de pesquisa científica candidatos ao recebimento de apoio por parte do INSTITUTO;

**Considerando** que, no âmbito do referido processo de seleção, foi selecionado o projeto “**Eficiência Energética Para Software IOT Em Larga Escala.**”, apresentado pelo cientista Francisco Figueiredo Goytacaz Sant'Anna (“**PROJETO**”);

**Considerando** que o Projeto está sendo desenvolvido junto à Universidade do Estado de Rio de Janeiro / UERJ, instituição à qual o cientista está vinculado.

**Considerando** que a FUNARBE é uma Fundação de Apoio que auxilia a instituição de pesquisa e outras entidades na execução dos seus projetos de pesquisa;

**RESOLVEM**, os partícipes, firmar o presente Termo de Cooperação, mediante as seguintes cláusulas e condições:

### **CLÁUSULA PRIMEIRA – DO OBJETO**

1.1 Constitui objeto do presente TERMO DE COOPERAÇÃO, a união de esforços dos partícipes para o desenvolvimento do Projeto, sob supervisão do COORDENADOR.

1.2 O Projeto objeto deste Termo de Cooperação deverá ser executado em conformidade com as descrições constantes dos documentos denominados “**Plano de Trabalho**”, os quais passam a integrar o presente instrumento, independentemente de transcrição, sob a forma de **Anexo I**, ficando desde já estabelecido que eventuais alterações das atividades descritas no Anexo I, em função da evolução natural das pesquisas conduzidas no âmbito do Projeto, poderão ser incorporadas ao objeto deste Termo mediante simples comunicação no relatório final, ou, no caso de alterações relevantes, imediatamente por e-mail, feita pelo COORDENADOR ao INSTITUTO, e que passarão a integrar o Anexo I para todos os efeitos deste Termo.

1.3 A INSTITUIÇÃO, desde já, nomeia como coordenador geral do presente Termo de Cooperação, o Professor/Pesquisador Francisco Figueiredo Goytacaz Sant’Anna.

### **CLÁUSULA SEGUNDA – DA VIGÊNCIA**

2.1 A vigência prevista do presente Termo é de 12 (doze) meses, a contar da data de assinatura, podendo ser prorrogado, de ofício, por igual período ou frações, mediante pedido acompanhado de justificativa circunstanciada e aceitação mútua de todos os Partícipes.

2.2 Não obstante o disposto na cláusula 2.1., concordam os Partícipes que poderão ser abrangidos pelo presente Termo de Cooperação o reembolso de valores incorridos com o Projeto a partir de 26/01/2018.

### **CLÁUSULA TERCEIRA – DOS RECURSOS**

3.1 Os recursos a serem alocados pelo INSTITUTO para financiamento do presente Termo serão de R\$ 70.000,00 (setenta mil reais), podendo ser alterados por termo aditivo, previamente aprovado de comum acordo por todos os Partícipes.

3.2 Os recursos a serem transferidos pelo INSTITUTO à FUNARBE, mencionados nesta Cláusula, se destinam à execução do Projeto, devendo ser exclusivamente aplicados nas atividades descritas no Anexo I.

3.3 Devem ainda ser deduzidos do valor dos recursos mencionado na cláusula 3.1 (i) a remuneração da FUNARBE, equivalente a 8% (oito por cento) do referido valor, e (ii) a remuneração devida à INSTITUIÇÃO, fixada entre 2% e 5% do referido valor.

3.4 Os recursos serão repassados através de depósito bancário em conta corrente de titularidade da FUNARBE, aberta especificamente para este fim e identificada por correspondência escrita encaminhada ao INSTITUTO.

3.5 Na hipótese de os recursos disponibilizados pelo INSTITUTO na forma da cláusula 3.1, não terem sido total ou parcialmente utilizados no Projeto até a data do vencimento deste Termo ou na hipótese de os recursos remanescentes serem decorrentes da aplicação financeira dos recursos disponibilizados pelo INSTITUTO, poderá o INSTITUTO, a seu exclusivo critério, solicitar a respectiva devolução, parcial ou totalmente.

3.6 Os Partícipes expressamente acordam que o INSTITUTO somente terá obrigação de contribuir, para o objeto deste Termo, com o valor referido na cláusula 3.1, de forma que quaisquer recursos adicionais necessários à execução do Projeto deverão ser providenciados exclusivamente pelas demais partes, às suas expensas.

#### **CLÁUSULA QUARTA – DAS OBRIGAÇÕES DOS PARTÍCIPIES**

Consistem em obrigações das Partes:

##### **I – DO INSTITUTO;**

a) Transferir os recursos financeiros, conforme estabelecido neste Termo de Cooperação;

b) Acompanhar a execução das ações previstas neste Termo através (i) de um relatório técnico-científico emitido em agosto e outro ao final do prazo deste Termo, bem como (ii) dos relatórios anuais de execução financeira, relatórios esses submetidos, respectivamente, pelo COORDENADOR e pela FUNARBE;

c) Custear despesas para realização de eventuais reuniões de acompanhamento do Projeto que venha a solicitar.

##### **II - DA INSTITUIÇÃO;**

a) Nomear o COORDENADOR como responsável por coordenar e acompanhar o Projeto, conforme descrito no plano de trabalho constante do Anexo I;

b) Abster-se de determinar ou permitir que o COORDENADOR seja afastado da coordenação do Projeto, e

c) Prover toda a infraestrutura e apoio técnicos necessários à execução dos trabalhos objeto do plano de trabalho constante do Anexo I, mormente espaço físico, equipamentos, máquinas, implementos, insumos e demais recursos técnicos e administrativos.

### **III – DA FUNARBE (instituição gestora):**

- a) Exercer a gestão dos recursos previstos na cláusula terceira, aplicando-os exclusivamente para o cumprimento das finalidades deste Termo;
- b) Manter os recursos repassados, em conta bancária específica, aberta exclusivamente para execução das ações deste Termo, obrigando-se a aplicar os recursos não utilizados em conformidade com o § 4º do Art. 116 da Lei Federal nº 8.666/93;
- c) Permitir aos coordenadores do Projeto acesso, a qualquer momento, às informações da conta bancária, bem como acesso aos extratos e movimentações financeiras;
- d) Observar, na gestão dos recursos recebidos, os princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade, economicidade e eficiência;
- e) Permitir o acompanhamento de suas atividades em relação ao objeto deste Termo por parte do INSTITUTO ou da INSTITUIÇÃO;
- f) Manter arquivo com documentação comprobatória das despesas realizadas em virtude do presente Termo, disponibilizando-as para consulta dos integrantes, a qualquer tempo, inclusive para análise técnica financeira;
- g) Registrar, em sua contabilidade específica do projeto, os atos e fatos administrativos referentes à gestão dos recursos alocados por força deste Termo;
- h) Responsabilizar-se pela elaboração de relatórios anuais de execução financeira, contendo a situação das atividades relacionadas ao presente Termo de Cooperação;

### **IV – DO COORDENADOR**

- a) Executar, coordenar e acompanhar as ações previstas no plano de trabalho constante do Anexo I;
- b) Responsabilizar-se pela utilização dos recursos financeiros disponibilizados pelo INSTITUTO exclusivamente no âmbito do Projeto, obrigando-se a devolver os valores que venham a ser aplicados em despesas estranhas ao objeto deste Termo;
- c) Estar disponível para participar de reuniões técnico-científicas para apresentação dos resultados parciais ou finais do Projeto;
- d) Participar do processo de avaliação de impacto do Projeto mediante solicitação do INSTITUTO;
- e) Participar das iniciativas da “Comunidade Serrapilheira” e de “Divulgação Científica” promovidas pelo INSTITUTO.

### **CLÁUSULA QUINTA – DA PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA**

5.1 Os dados brutos e resultados obtidos no âmbito do Projeto ao longo do período de vigência deste Termo, incluindo, mas não se limitando a artigos revisados por

pares, monografias e códigos de programação, deverão ser publicados, pela INSTITUIÇÃO e pelo COORDENADOR, em repositórios de acesso público. O COORDENADOR deverá, ainda, publicar seus trabalhos a respeito do Projeto em periódicos de acesso gratuito.

5.2 Eventuais custos incorridos com as divulgações objeto desta cláusula quinta deverão ser arcados pela INSTITUIÇÃO ou pelo COORDENADOR, devendo, se necessário, ser deduzidos do valor total referido na cláusula 3.1.

## **CLÁUSULA SEXTA – DA DIVULGAÇÃO**

6.1 Poderão, ainda, as partes, divulgarem o apoio do INSTITUTO para a execução do Projeto, em palestras, seminários e cursos ministrados e/ou organizados pelas mesmas desde que relativos ao Projeto, ou quando da divulgação de qualquer produto resultado do Projeto, que venha a se concretizar através de folders, banners, cartazes, quadros, folhetos, entre outros, o que deverá ser aprovado previamente pelo INSTITUTO.

6.1.1 Qualquer divulgação do nome SERRAPILHEIRA deverá ser previamente aprovada pelo INSTITUTO.

6.1.2 Se houver divulgação de qualquer natureza que envolva a INSTITUIÇÃO, a mesma deverá ser consultada.

6.1.3 Em quaisquer publicações científicas de divulgação dos resultados do Projeto, por qualquer meio, feitos pelo COORDENADOR, pela INSTITUIÇÃO ou pela FUNARBE, deverá ser inserida a frase “Este trabalho recebeu apoio do Instituto Serrapilheira (número do processo Serra-1708-15612)” ou “This work was supported by the Serrapilheira Institute (grant number Serra-1708-15612)”.

6.2 É vedada qualquer forma de promoção pessoal, observado o art. 37, §1º, da Constituição Federal de 1988.

## **CLÁUSULA SÉTIMA – DA PROPRIEDADE INTELECTUAL**

7.1 Qualquer invento, aperfeiçoamento ou inovação, obtenção de processos ou produtos, privilegiáveis ou não, gerados em decorrência deste Termo de Cooperação serão de titularidade do COORDENADOR, não cabendo quaisquer destes direitos ao INSTITUTO ou à FUNARBE.

7.2 As despesas das proteções de propriedade intelectual, os encargos periódicos de manutenção destas proteções, bem como quaisquer encargos administrativos e judiciais no âmbito nacional e internacional serão absorvidos pela INSTITUIÇÃO, na forma da sua regulamentação aplicável.

7.3 É garantido ao COORDENADOR o direito de uso dos resultados, para fins de pesquisa e estudo – acadêmicos, sem que caiba qualquer remuneração ao INSTITUTO ou à FUNARBE.

7.4 Fica assegurado ao COORDENADOR o direito de exploração e licenciamento para terceiros interessados, das tecnologias desenvolvidas durante a vigência do presente Termo de Cooperação.

#### **CLÁUSULA OITAVA – DO PESSOAL**

8.1 O pessoal alocado pelos partícipes, para a execução deste Termo de Cooperação, na condição de empregado, autônomo, empreiteiro ou a qualquer outro título, nenhuma vinculação ou direito terá em relação às outras partes, ficando a seu cargo exclusivo a integral responsabilidade no que se refere a todos os deveres e direitos dessas pessoas, mormente os trabalhistas e previdenciários, inexistindo qualquer solidariedade entre as partes.

#### **CLÁUSULA NONA – DA PROPRIEDADE DOS BENS ADQUIRIDOS COM RECURSOS DO INSTITUTO**

9.1 Os bens materiais adquiridos, construídos e produzidos, conforme definido no Plano de Trabalho, com recursos financeiros aportados pelo INSTITUTO para execução do objeto deste Termo de Cooperação serão de propriedade da INSTITUIÇÃO.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA – DA EXECUÇÃO**

10.1 É vedado o aditamento deste Termo com o intuito de alterar seu objeto, entendida como tal a modificação, ainda que parcial, da finalidade definida no plano de trabalho, mesmo que não haja alteração da classificação econômica da despesa, observado o disposto na cláusula 1.2.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA PRIMEIRA – CONDUTAS VEDADAS**

11.1 É vedado às partes:

- a) Alterar o objeto do Convênio;
- b) Realizar despesa em data anterior à vigência deste instrumento, ressalvado o disposto na cláusula 2.2;
- c) Realizar despesas com publicidade, salvo a de caráter educativo, informativo ou de orientação social, da qual não constem nomes, símbolos ou imagens que caracterizem promoção pessoal e desde que sejam observadas as disposições deste Termo, especialmente as cláusulas quinta e sexta.

## **CLÁUSULA DÉCIMA SEGUNDA – DA DENÚNCIA E DA RESCISÃO**

12.1 O presente Termo poderá ser denunciado por qualquer dos Partícipes, mediante aviso prévio, por escrito, com 30 (trinta) dias de antecedência ou rescindido, de pleno direito, no caso de inadimplência de suas cláusulas, por quaisquer das partes.

12.1.2 O presente Termo poderá ser rescindido por inadimplência de quaisquer de suas cláusulas. Neste caso, qualquer dos Partícipes adimplentes poderá encaminhar um prévio aviso ao Partícipe inadimplente para saneamento da falta em até 15 (quinze) dias, sob pena de, não sendo sanada a falta neste período, o Termo ser rescindido imediatamente de plano direito.

12.1.3 Caso este Termo seja rescindido imotivadamente pela FUNARBE ou rescindido por inadimplência da FUNARBE, deverá a FUNARBE devolver imediatamente ao INSTITUTO os valores por este já desembolsados, mas ainda não aplicados no Projeto. Se a rescisão imotivada ou o inadimplemento partir da INSTITUIÇÃO DE PESQUISA ou do COORDENADOR, deverá o Partícipe que rescindir imotivadamente ou estiver inadimplente devolver, ao INSTITUTO, os valores por este até então desembolsados desde a data do desembolso até a data da efetiva devolução. Se a rescisão imotivada ou inadimplência partir do INSTITUTO, perderá ele os valores até então desembolsados, sem prejuízo da sua obrigação de desembolsar, imediatamente após a rescisão, o saldo ainda não desembolsado do valor referido na cláusula 3.1.

12.1.4 Poderá ainda ser rescindido o presente instrumento por motivo de força maior na forma da legislação aplicável, ou impossibilidade de sua execução por ato da autoridade competente, respeitados os compromissos já em vigor. Em caso de denúncia ou rescisão na forma desta cláusula, as partes responsabilizar-se-ão pelas obrigações surgidas enquanto o instrumento estiver em vigor e gozarão dos benefícios adquiridos no mesmo período.

12.1.5 Poderá, ainda, o INSTITUTO, a seu exclusivo critério, rescindir este Termo imediatamente na hipótese de o COORDENADOR, por qualquer motivo, deixar de coordenar as atividades do Projeto. Neste caso, deverá a FUNARBE devolver imediatamente ao INSTITUTO os valores por este já desembolsados, mas ainda não aplicados no Projeto, ficando o INSTITUTO desobrigado de realizar qualquer desembolso adicional.

## **CLÁUSULA DÉCIMA TERCEIRA – DO FORO**

Fica eleito o foro da Comarca da Capital do Estado do Rio de Janeiro, como competente para dirimir quaisquer dúvidas ou demandas oriundas do presente TERMO DE COOPERAÇÃO, com expressa renúncia de qualquer outro, por mais privilegiado que seja.


E, por estarem justos e avençados, as partes assinam o presente instrumento, para um só efeito, em 04 (quatro) vias de igual teor e forma, na presença das testemunhas a seguir qualificadas.

Rio de Janeiro, 10 de março de 2018.

Hugo Aguilaniu  
Instituto Serrapilheira

Ruy Garcia Marques  
Universidade do Estado de Rio de Janeiro / UERJ

Luiz Eduardo Dias  
FUNARBE

DocuSigned by:  


778566F5EAF6418...

Francisco Figueiredo Goytacaz Sant'Anna  
Coordenador da Pesquisa



# ANEXO I

# EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA SOFTWARE IOT EM LARGA ESCALA

## 1. NARRATIVA PROFISSIONAL

Trabalho no campo de *Linguagens de Programação* com o foco em *Sistemas Reativos de Tempo Real*. Sistemas reativos interagem continuamente com o mundo externo através de sensores e atuadores (e.g., botões, LEDs e motores). Quando essas interações têm que cumprir prazos estritos, o sistema é dito de *tempo real*. A maioria das aplicações do dia-a-dia, tais como suítes de escritório e jogos eletrônicos são reativas mas bastante tolerante a atrasos. Em contraste, sistemas embarcados de tempo real, tais como aplicações médicas, sistemas de aviação, e dispositivos de IoT, devem cumprir prazos mais estritos.

No início do meu Mestrado, me juntei ao grupo de desenvolvimento do *Ginga*, o padrão de software do Sistema Digital da TV Brasileira [20], que também se tornou um padrão ITU/UN [15]. Durante esse período, trabalhei numa integração não intrusiva entre as duas linguagens padronizadas NCL e Lua através de uma interface de programação reativa. O resultado desse trabalho foi publicado no *ACM DocEng* de 2009. Também escrevi o capítulo sobre desenvolvimento em Lua e NCL do livro de referência do *Ginga*.

Em 2009, iniciei o programa de Doutorado com o objetivo de projetar uma nova linguagem reativa desde o início, agora direcionada a sistemas embarcados com recursos restritos. Por um lado, essas plataformas são tipicamente seis ordem de magnitude menos poderosas que computadores tradicionais em termos de memória e processamento. Por outro lado, aplicações embarcadas necessitam de mais confiabilidade para operar sem a intervenção humana por longos períodos de tempo. Além disso, um subconjunto significativo de sistemas embarcados é implantado em locais sem linhas de energia e devem funcionar com baterias. Sendo assim, uma linguagem de programação direcionada a sistemas embarcados restritos deve ser pequena, confiável e eficiente energeticamente. Ao final de 2012, me tornei bolsista da *SAAB Aerospace* para um período de seis meses de pesquisa. Juntei-me a um grupo de pesquisa em uma universidade da Suécia e reescrevemos drivers e protocolos de rede de qualidade industrial. Conseguimos uma redução considerável no tamanho do código fonte, com uso similar de recursos em comparação com C. Em 2013, publicamos um artigo com esses resultados no *ACM SenSys*.

Após me graduar, contribuí com o projeto *Cidades Inteligentes*, que envolve 20 universidade e busca construir uma infraestrutura de IoT. Em 2015, em cooperação com um aluno de Doutorado, publicamos um artigo no *ACM TOSN*, mostrando que podemos reprogramar dispositivos embarcados remotamente usando menos energia do que o estado da arte. Durante o mesmo período, publiquei um artigo no *Int'l Conference on Modularity* propondo uma nova abstração de concorrência que gera

programas mais modulares. Também fui convidado a apresentar minha linguagem de pesquisa em um encontro anual do *Working Group on Language Design* grupo afiliado com a IFIP da UNESCO.

Atualmente, como professor associado em uma universidade brasileira, continuo a investigar como o projeto de linguagens pode afetar o desenvolvimento de aplicações reativas. Durante os últimos 4 anos, publiquei ou atuei no comitê do *Int'l Workshop on Reactive Languages*. Em 2017, publiquei um artigo consolidando o projeto da minha linguagem de pesquisa no *ACM TECS*.

## 2. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: O PAPEL DO SOFTWARE IOT NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA) [21], existiam em torno de 14 bilhões de dispositivos conectados tradicionais em 2013 (e.g., telefones TVs inteligentes). Esse número deve crescer para 50 bilhões em 2020 com a proliferação de dispositivos IoT (e.g., lâmpadas inteligentes e tecnologia vestível). Dispositivos IoT e tradicionais já superaram o número de pessoas no planeta por um fator de dois, e o tráfego de dados é esperado crescer a uma taxa exponencial nos próximos anos. No entanto, a maior parte da energia desses aparelhos é consumida quando eles estão em *standby* (*modo em espera*). A emissão anual de  $CO_2$  relacionada a *standby* é equivalente a de 1 milhão de carros. A projeção de crescimento de IoT, juntamente com o efeito surpreendente dos efeitos de consumo de *standby*, fizeram com que a eficiência de *standby* para dispositivos conectados fosse um dos seis pilares do *Plano de Ação para Eficiência Energética* do G20<sup>1</sup>.

Outras organizações também reportaram sobre a importância da economia de energia em dispositivos conectados. Para o *Internet Engineering Task Force (IETF)*, “o gerenciamento energético está se tornando um requisito adicional para redes devido a diversos fatores que incluem o aumento dos custos de energia, o impacto ecológico para a operação das redes, e a regulação de energia” [26]. Para o *American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)*, “o potencial para a nova eficiência energética permanece enorme, (...) devemos considerar uma abordagem sistêmica para escalar a eficiência energética. (...) a eficiência inteligente é adaptativa, antecipatória, e conectada” [10].

Considerando iniciativas concretas, o grupo de trabalho *Electronic Devices and Networks* da IEA foca especificamente na questão do *standby* em dispositivos conectados<sup>2</sup>. A iniciativa da ACEEE em *Intelligent Efficiency* promove uma abordagem sistemática para otimizar o comportamento cooperativo de dispositivos de modo a buscar ganhos de energia como um todo. Ambas as abordagens, por dispositivo e sistêmica, envolvem soluções de software, dado que a economia de energia é uma política dinâmica que depende das demandas das aplicações e níveis de baterias em um determinados momentos. Também existem padrões de baixo consumo de energia para a infraestrutura de IoT com diferentes demandas de alcance, velocidade e distribuição física [22]. Como exemplo, o *Bluetooth*

---

<sup>1</sup>G20's Energy Efficiency Action Plan: <https://www.iea-4e.org/projects/g20>

<sup>2</sup>EDNA initiative: <https://edna.iea-4e.org/>

*Low-Energy (BLE)* é um substituto para o padrão Bluetooth clássico e é projetado para baixas velocidades em redes pessoais (PANs). O *6LoWPAN* adapta o padrão IPv6 para baixo consumo e em dispositivos de processamento limitado. Essas tecnologias permitem transmissões mais eficientes, suportam topologias flexíveis e reduzem o tráfego consideravelmente. Elas também possibilitam o uso de modos de standby mínimos. No entanto, essas tecnologias exigem o uso de software para controlar os modos ativos e de standby de maneira a construir uma IoT eficiente em termos de energia.

### 3. RESUMO CIENTÍFICO

O uso efetivo de standby terá papel fundamental na eficiência energética para os 50 bilhões de dispositivos IoT esperados até 2020 [21]. Este projeto de pesquisa visa endereçar os desafios de software, conforme determinados pela IEA, em direção a uma IoT eficiente em termos de energia [21]: garantir que os dispositivos adotem os níveis mais econômicos possíveis de standby, e que os dispositivos permaneçam o maior período possível em standby.

Tendo em vista a escala projetada para a IoT e o papel do modo standby para a eficiência energética, este projeto de pesquisa tem os seguintes objetivos:

- (1) Endereçar a eficiência energética com o uso criterioso de standby.
- (2) Focar em arquiteturas embarcadas restritas que formam a IoT.
- (3) Prover mecanismos de standby no nível de linguagens de programação para escalar para todas as aplicações.
- (4) Suportar mecanismos de standby transparentes e não intrusivos para reduzir as barreiras de adoção.

Muitas linguagens, extensões e sistemas operacionais direcionados à energia foram propostos recentemente. Algumas propostas ajustam a QoS (qualidade de serviço) para reduzir o consumo [27, 2, 23, 28]. Outras propostas oferecem mecanismos para trocar o comportamento dependendo das demandas e níveis de bateria da aplicação [25, 7, 5, 6]. Nenhuma dessas iniciativas tira vantagem de modos de standby quando ociosas, mas somente adaptam ou eliminam computações quando em modo ativo (não satisfazendo o objetivo 1).

Tenho trabalhado no projeto de uma nova linguagem de programação reativa para sistemas embarcados restritos pelos últimos 8 anos. A linguagem é baseada no modelo de concorrência síncrono, que troca poder por confiabilidade e possui um modelo de tempo mais simples que cobre a maioria dos requisitos de aplicações IoT. Nesse modelo, todas as reações ao mundo externo são computadas em tempo finito, garantindo que as aplicações sempre chegam a um estado ocioso que é suscetível ao modo standby. Esperamos que aplicações existentes que não sejam cientes sobre o consumo de energia irão beneficiar-se de economias na ordem de 50% baseado nas estimativas da IEA (considerando as tecnologias atuais de standby [21]) e também em trabalhos em ciência transparente de energia [18].

## 4. PROJETO CIENTÍFICO

**4.1. Primeiro Ano.** Necessitaremos de um orçamento de R\$70k: R\$60k para suporte a três estudantes, R\$5k para equipamentos, e R\$5k para publicações e custos de viagem.

**4.1.1. Infraestrutura de Hardware para IoT.** Usaremos Arduinos [17] como a principal plataforma de hardware para IoT. A maioria dos Arduinos é baseado em microcontroladores de baixo consumo da Atmel, tais como o *ATmega328p* [1], suportando seis modos standby que podem reduzir o consumo para níveis baixíssimos.

No ambiente acadêmica, existe bastante pesquisa com o uso de Arduinos no contexto de IoT [11, 9, 19, 12]. A popularidade do Arduino fará com que a nossa pesquisa seja mais acessível e reproduzível para outros grupos. Em educação, muitos cursos em universidades usam o Arduino [4, 3, 24, 16]. Nós temos usado o Arduino em um curso de graduação pelos últimos 3 anos, o que permitirá avaliar os resultados com programadores de sistemas embarcados menos experientes. Na comunidade hobista, há uma abundância de software publicamente disponível que poderemos adaptar para a nossa linguagem e avaliar os ganhos de eficiência.

**4.1.2. Infraestrutura de Software para IoT.** A maneira mais típica em Arduino de interagir com o mundo externo é através de *polling*, que amostra um periférico externo para detectar mudanças de estado. Polling gasta ciclos de CPU e previne que o dispositivo entre em modo standby. No Arduino, mesmo funcionalidades básicas, tais como temporizadores, conversores A/D, e SPI, usam ciclos de polling que gastam energia em modo ativo.

De modo a prover standby automático, as aplicações deve ser inteiramente reativas a eventos. Recentemente, adicionamos suporte a rotinas de interrupção (ISRs) como um conceito primitivo na nossa linguagem, o que permitirá reconstruir a infraestrutura de software IoT com ciência ao modo standby desde sua base. Esse processo consistirá primordialmente de reescrever device drivers, que são os pedaços de software que interagem diretamente com o hardware. Essa abordagem não irá afetar a maneira como as aplicações são escritas em níveis mais abstratos, que permanecerá similar às aplicações em Arduino. No entanto, em vez de gastar ciclos da CPU em espera ativa, as aplicações entrarão no modo de standby mais profundo possível em quanto estiverem ociosas.

**4.1.3. Aplicações IoT.** De modo a avaliar os ganhos de energia com a infraestrutura proposta, precisaremos avaliar o consumo em aplicações realistas. A comunidade do Arduino tem uma abundância de projetos open-source que podem ser reescritos na nossa linguagem para tirar proveito do modo de standby transparente. Então, poderemos comparar as versões originais e reescritas em termos de consumo para tirar conclusões sobre a efetividade do modo de standby transparente. Os cenários mais realistas de IoT usam comunicação por rádio extensivamente. Nesse contexto, iremos avaliar desde protocolos ad-hoc simples até protocolos mais complexos com ciência energética para ver até

que extensão nossa proposta contribuiria efetivamente em economias de energia. No longo prazo, esperamos mostrar o valor para desenvolvedores reescreverem suas aplicações na nossa linguagem para tirar proveito dos modos de standby automáticos. Nessa direção, avaliaremos o tempo tomado para reescrever as aplicações e os ganhos reais de eficiência energética.

**4.1.4. *Contribuições Esperadas.*** O vocabulário dedicado a eventos oferecido pela linguagem aumenta o nível de abstração dos programas para um nível mais próximo do domínio de IoT, provendo mais segurança e expressividade para programadores. Até onde sabemos, suporte para ISRs no nível de linguagem ainda não foi tentado anteriormente.

Nossa proposta visa fazer com que todas as aplicações estejam sujeitas a modos de standby transparentemente. Sendo parte da infraestrutura de software, somente device drivers necessitarão de gerenciamento explícito de energia, e todas as aplicações construídas sobre eles se beneficiarão de eficiência energética automaticamente.

Nossa linguagem é um projeto de 8 anos e tem uma implementação open-source madura que está disponível publicamente para downloads. Com a proposta de adaptação ao contexto de eficiência energética para IoT, a linguagem pode se tornar uma alternativa prática ao Arduino no curto prazo.

## **4.2. Os Três Anos Seguintes.**

**4.2.1. *Ciência de Energia Sistemática.*** Ciência de energia sistemática considera a rede IoT como um todo, com dispositivos cooperando para maximizar a eficiência de energia globalmente. Nesse contexto, *computação adaptativa* [13] é a capacidade da IoT se adaptar dinamicamente ao consumo de energia, baseando-se na demanda das aplicações e níveis de bateria durante sua execução. Fundamentalmente, o objetivo ainda é o de que cada dispositivo maximize o tempo ocioso para ser mais suscetível a modos de standby. Dessa forma, a pesquisa do primeiro ano é um pré-requisito para essa fase. Nós continuaremos a investigar como mecanismos de linguagens podem propiciar mais eficiência energética, mas agora em um contexto de computação adaptativa.

O método científico para energia sistemática será similar ao adotado para a abordagem por dispositivo (conforme discutido na Seção 4.1.3): pegar protocolos e aplicações IoT cientes de energia e reescrevê-las usando mecanismos não intrusivos, e usar os mesmos critérios de avaliação (i.e., tempo de reescrita, estética do código, e consumo de energia).

**4.2.2. *Arquiteturas e Aplicações de IoT Complexas.*** A IoT também consiste de dispositivos mais tradicionais, tais como roteadores, servidores, e smartphones. Em 2016, existiam 3.9 bilhões de assinaturas telefônicas globalmente, e esse número de alcançar 6.8 bilhões em 2022 [14].

Smartphones têm restrições similares de consumo de bateria e também podem tirar proveito das técnicas propostas para sistemas embarcados restritos. De modo a transpor a barreira de dispositivos restritos para smartphones para a IoT, percorreremos um caminho similar ao apresentado na Seção 4.1:

**Infraestrutura de Hardware:** Usaremos o BeagleBone Black [8], que compartilha objetivos similares ao do Arduino, provendo uma plataforma barata e aberta que é adequada a aplicações mais ricas, tais como interfaces gráficas, multimídia, e jogos.

**Infraestrutura de Software:** De modo a garantir standby automático para aplicações, toda infraestrutura de software, principalmente device drivers, terá que ser recriada usando ISRs em nossa linguagem.

**Aplicações:** Além de aplicações IoT, as aplicações de smartphone, tais como mensagens instantâneas e navegação Web, também podem maximizar a eficiência energética através do modo de standby. Iremos reescrever desde aplicações simples, tais como um relógio gráfico, até aplicações em rede mais complexas, tais como um navegador, para avaliar o consumo de energia.

4.2.3. *Contribuições Esperadas.* Esperamos que a ciência de energia sistemática irá beneficiar-se dos mecanismos não intrusivos da nossa linguagem, podendo ser implementada em um nível de abstração maior, resultando em aplicações eficientes que requerem menos esforço de programação.

A transição de telefones simples para smartphones resultou na degradação do tempo de vida das baterias. No entanto, a maior parte do tempo, os smartphones estão ociosos nos nossos bolsos mas gastando energia. Esperamos aumentar consideravelmente a autonomia das baterias mantendo toda a funcionalidade de um smartphone moderno.



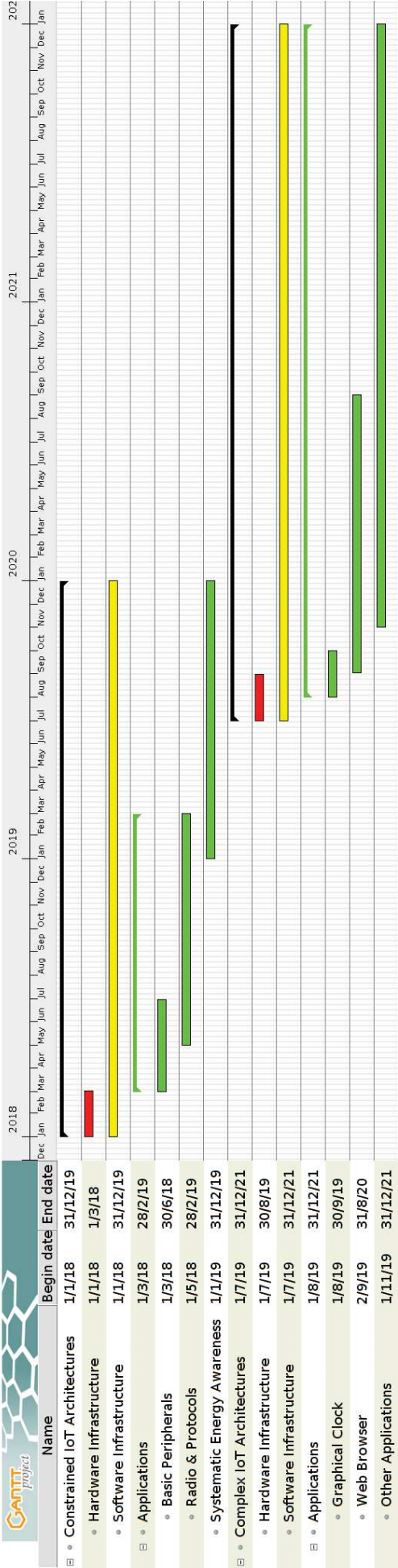


FIGURE 1. Cronograma do Projeto



## REFERENCES

- [1] Atmel. *ATmega328P Datasheet*, 2011.
- [2] W. Baek and T. M. Chilimbi. Green: A framework for supporting energy-conscious programming using controlled approximation. In *Proceedings of the 31st ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation*, PLDI '10, pages 198–209, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [3] J. D. Brock, R. F. Bruce, and S. L. Reiser. Using arduino for introductory programming courses. *J. Comput. Sci. Coll.*, 25(2):129–130, Dec. 2009.
- [4] L. Buechley, M. Eisenberg, J. Catchen, and A. Crockett. The lilypad arduino: Using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, pages 423–432, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [5] A. Canino. Gradual mode types for energy-aware programming. In *Companion Proceedings of the 2015 ACM SIGPLAN International Conference on Systems, Programming, Languages and Applications: Software for Humanity*, SPLASH Companion 2015, pages 79–80, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [6] A. Canino and Y. D. Liu. Proactive and adaptive energy-aware programming with mixed typechecking. In *Proceedings of the 38th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation*, PLDI 2017, pages 217–232, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [7] M. Cohen, H. S. Zhu, E. E. Senem, and Y. D. Liu. Energy types. In *Proceedings of the ACM International Conference on Object Oriented Programming Systems Languages and Applications*, OOPSLA '12, pages 831–850, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [8] G. Coley. Beaglebone black system reference manual. Technical report, BeagleBoard.org, 2013.
- [9] C. Doukas and I. Maglogiannis. Bringing iot and cloud computing towards pervasive healthcare. In *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2012 Sixth International Conference on*, pages 922–926. IEEE, 2012.
- [10] R. N. Elliott, M. Molina, and D. Trombley. A defining framework for intelligent efficiency. Technical Report E125, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2012.
- [11] V. Georgitzikis, O. Akribopoulos, and I. Chatzigiannakis. Controlling physical objects via the internet using the arduino platform over 802.15. 4 networks. *IEEE Latin America Transactions*, 10(3):1686–1689, 2012.
- [12] K. Gomez, R. Riggio, T. Rasheed, D. Miorandi, and F. Granelli. Energino: A hardware and software solution for energy consumption monitoring. In *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), 2012 10th International Symposium on*, pages 311–317. IEEE, 2012.
- [13] J. Henkel and L. Bauer. What is adaptive computing? *SIGDA NewsL.*, 40(5):1–1, May 2010.
- [14] N. Heuvelodp. Ericsson mobility report. Technical report, Ericsson, AB, 2017.
- [15] ITU-T Rec. H.761. Nested Context Language (NCL) and Ginga-NCL for IPTV Services. Technical report, ITU, Geneva, 2012.
- [16] P. Jamieson. Arduino for teaching embedded systems. are computer scientists and engineering educators missing the boat? *Proc. FECS*, 289294, 2010.
- [17] D. Kushner. The making of arduino. *IEEE Spectrum*, 26, 2011.
- [18] P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, et al. Tinyos: An operating system for sensor networks. *Ambient intelligence*, 35:115–148, 2005.

- [19] K. Mandula, R. Parupalli, C. A. Murty, E. Magesh, and R. Lunagariya. Mobile based home automation using internet of things (iot). In *Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), 2015 International Conference on*, pages 340–343. IEEE, 2015.
- [20] Norma ABNT NBR 15606-2:2007. Digital terrestrial television—Data coding and transmission specification for digital broadcasting—Part 2: Ginga-NCL for fixed and mobile receivers—XML application language for application coding. Technical report, ABNT, 2008.
- [21] OECD/IEA. More data less energy—Making network standby more efficient in billions of connected devices. Technical report, International Energy Agency, 2014.
- [22] G. Reiter. Wireless connectivity for the internet of things. Technical report, Texas Instruments, 2014.
- [23] A. Sampson, W. Dietl, E. Fortuna, D. Gnanapragasam, L. Ceze, and D. Grossman. Enerj: Approximate data types for safe and general low-power computation. *SIGPLAN Not.*, 46(6):164–174, June 2011.
- [24] J. Sarik and I. Kymissis. Lab kits using the arduino prototyping platform. In *Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE*, pages T3C–1. IEEE, 2010.
- [25] J. Sorber, A. Kostadinov, M. Garber, M. Brennan, M. D. Corner, and E. D. Berger. Eon: A language and runtime system for perpetual systems. In *Proceedings of the 5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, SenSys '07, pages 161–174, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [26] E. Tychon, B. Schoening, M. Chandramouli, and B. Nordman. Energy management (EMAN) applicability statement. Technical report, IETF, 2011.
- [27] H. Zeng, C. S. Ellis, A. R. Lebeck, and A. Vahdat. Ecosystem: Managing energy as a first class operating system resource. *SIGARCH Comput. Archit. News*, 30(5):123–132, Oct. 2002.
- [28] Y. Zhu and V. J. Reddi. Greenweb: Language extensions for energy-efficient mobile web computing. In *Proceedings of the 37th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation*, PLDI '16, pages 145–160, New York, NY, USA, 2016. ACM.