



Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Elétrica

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Sistemas Eletrônicos e de Automação

# PROTOCOLO MAC EFICIENTE EM ENERGIA E LIVRE DE COLISÕES PARA REDES DE SENsoRES SEM FIO

Trabalho de mestrado

Vinícius Galvão Guimarães

Agosto de 2014



# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

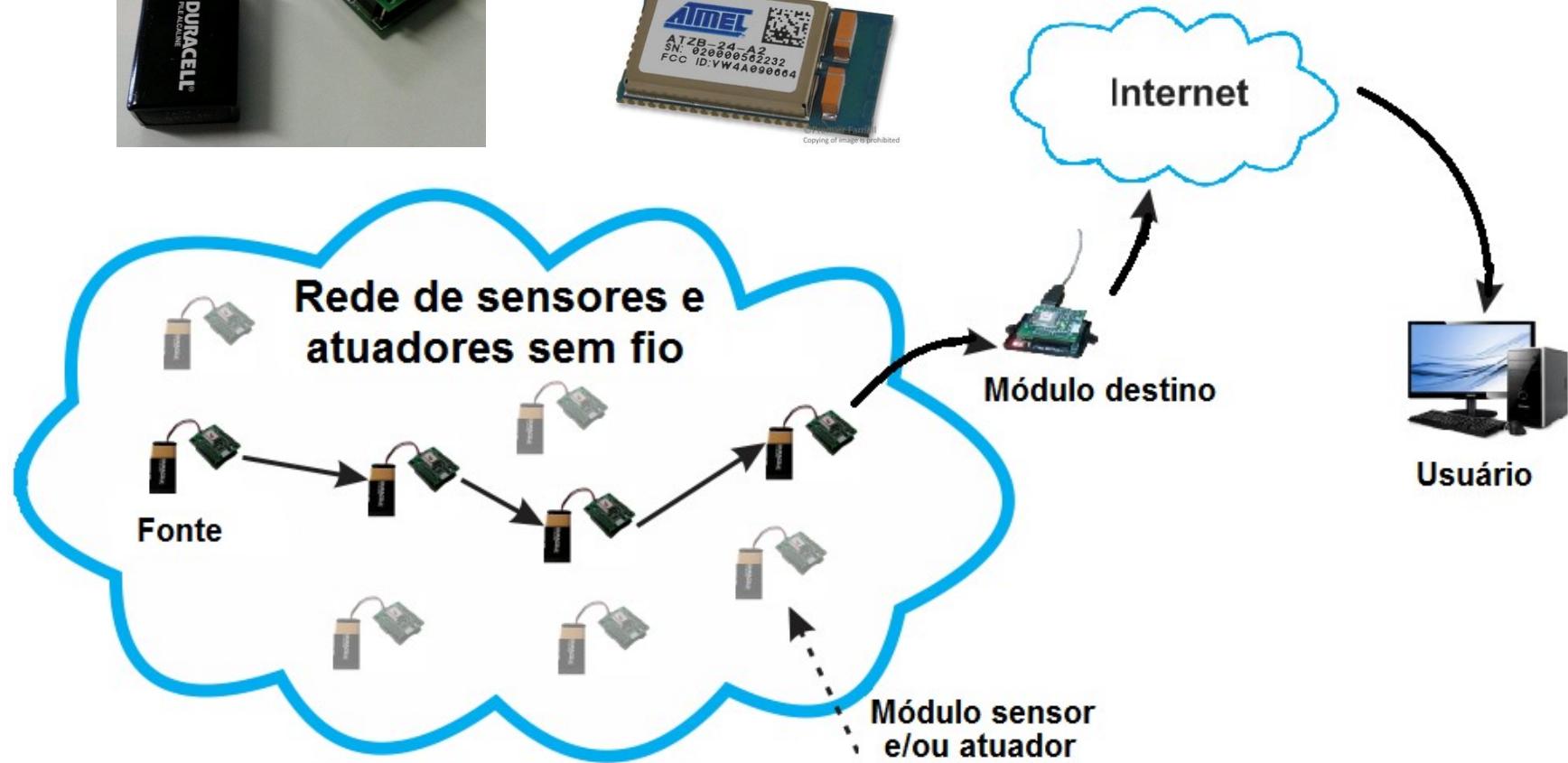
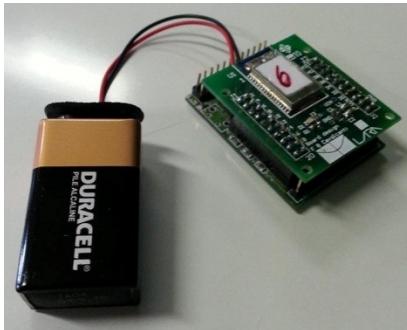


# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

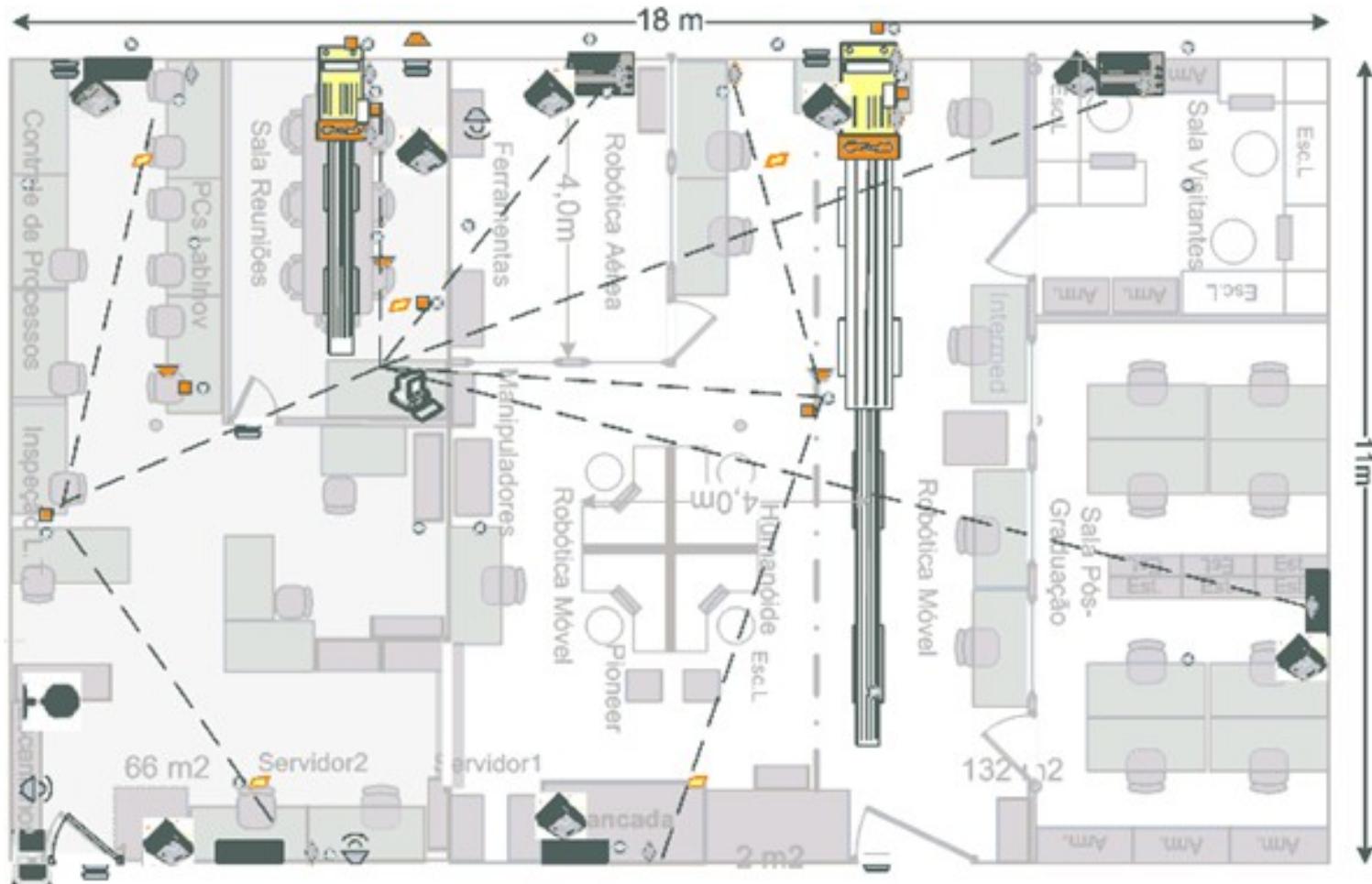


# Introdução – Rede de Sensor Sem Fio



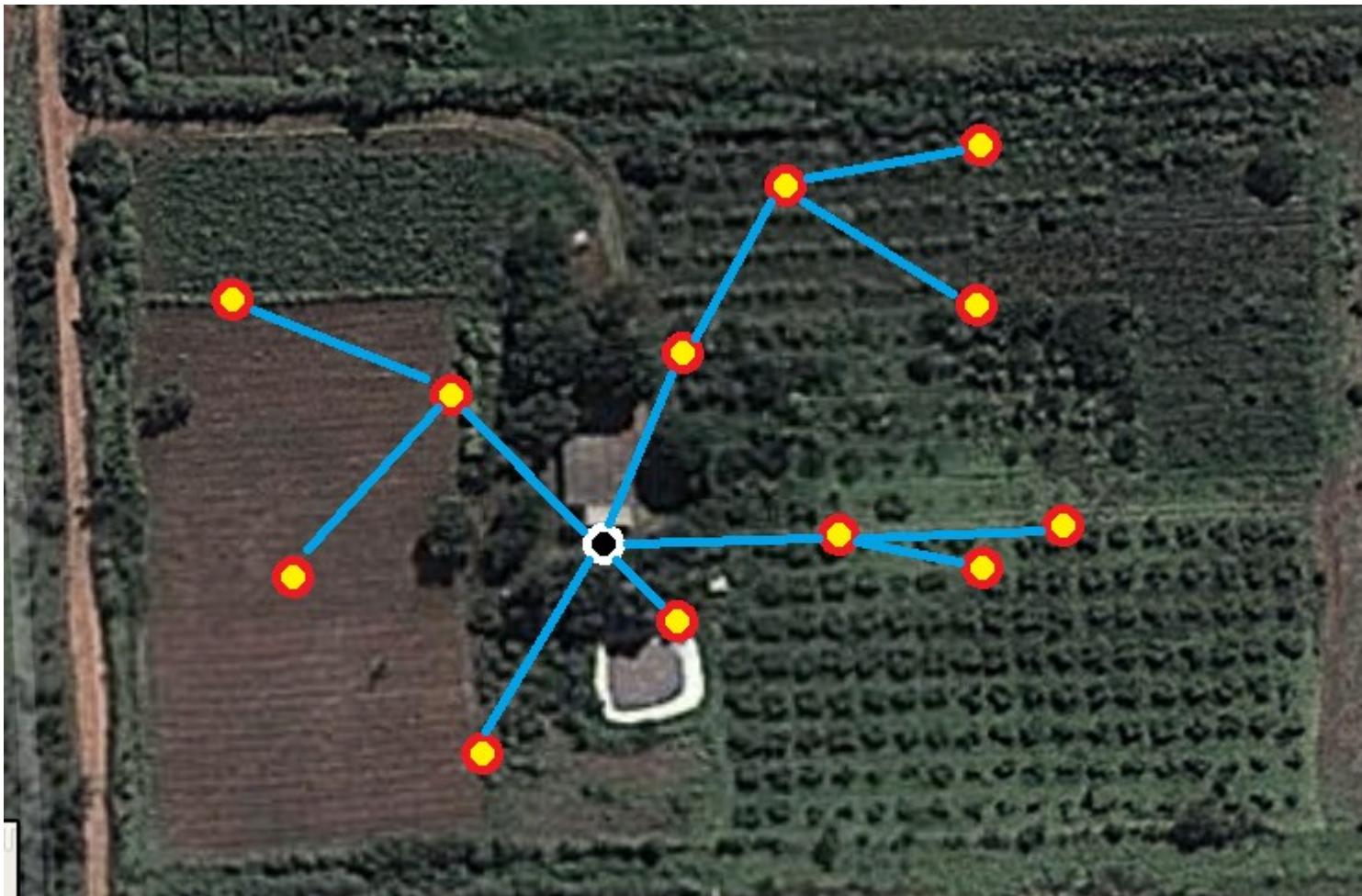


# Introdução – Ambientes inteligentes





# Introdução – Automação na agricultura





# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Objetivos



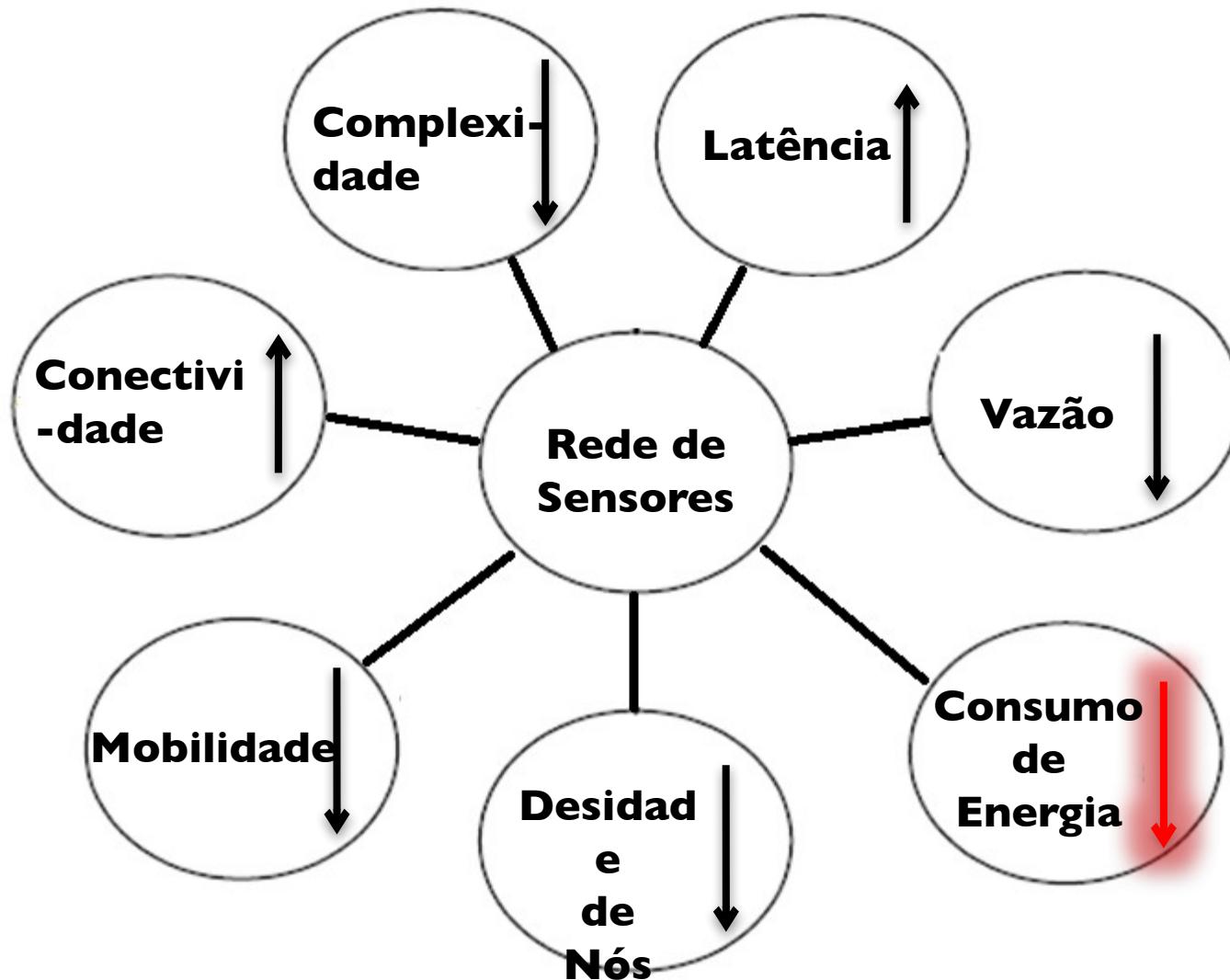


# Sumário da apresentação

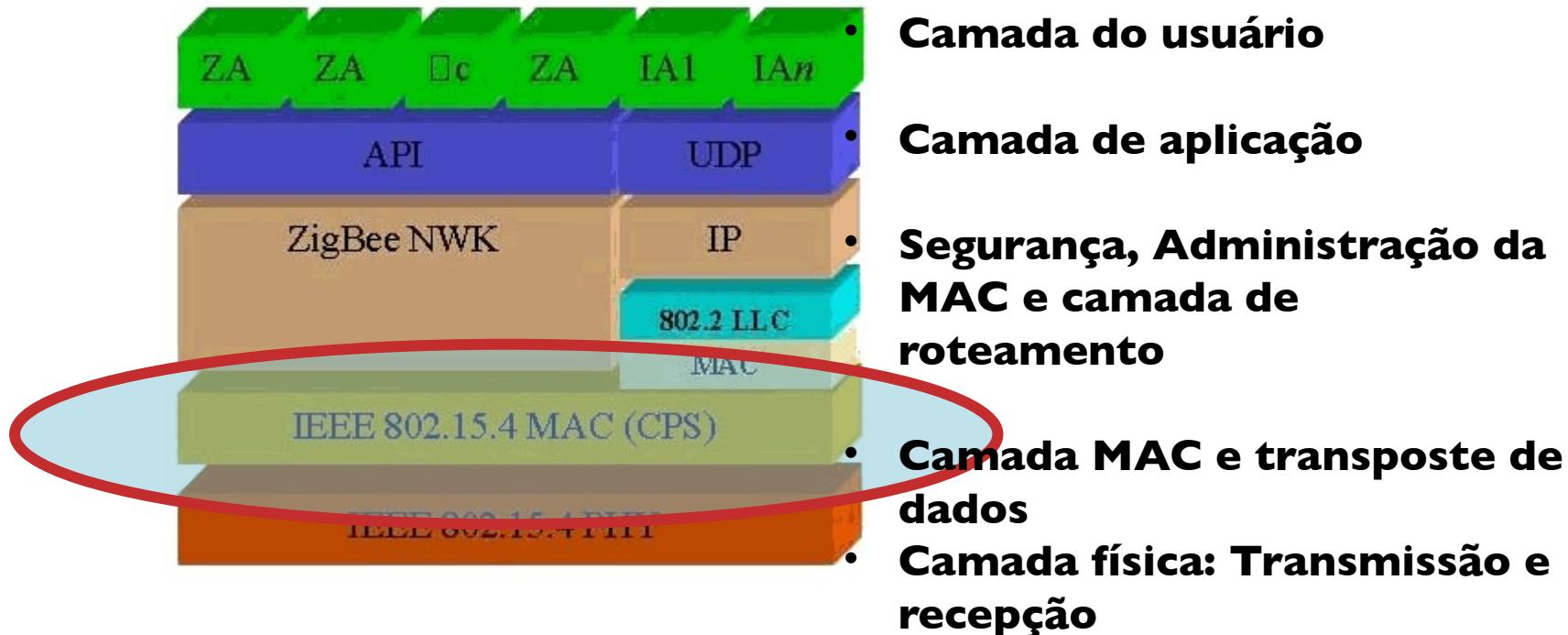
- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Aspectos relevantes



# Estrutura em camadas





# Trabalhos relacionados

Protocolo	Vantagens	Desvantagens
S-MAC	Simples; Duty cycle	Colisões
S-MAC-AL	Simples; Duty cycle; Menos latência	Colisões; Maior atividade
TDMA	Simples; Vazão; Econômico em energia	Uso do canal; Número fixo de nós
CSMA/CA	RTS/CTS; Menos colisões (CCA)	Colisões
IEEE 802.15.4	Superframes; GTS; Configurável; Duty cycle	Passível de colisões; Cabeçalho
TRAMA	Duty cycle; Sem colisões de dados; Adaptativo	Maior latência; Complexo; Mais memória
T-MAC	Duty cycle; Menor tempo ativo; Adaptativo	Colisões
WiseMAC	Preâmbulos;	Escuta ociosa; Colisões
B-MAC	Preâmbulos; LPL	Escuta ociosa; Colisões
X-MAC	Preâmbulos; LPL; Redução de escuta ociosa	Colisões
AEDP	Melhor detecção de preâmbulo	Colisões
DMAC	Múltiplas camadas; Vazão; Roteamento	Roteamento fixo estilo árvore;
TDMA-W	Sem colisões; Vazão; Dinâmico	Considera outras tecnologias (GPS)
ID-MAC	Slots pelo ID; Sem colisões; Poucos cabeçalhos	Complexo; Reconhecimento de vizinhos
AS-MAC	Agrupamento de pacotes; Identificação do canal	Complexo; Alternância de modulação



Necessitam sincronismo

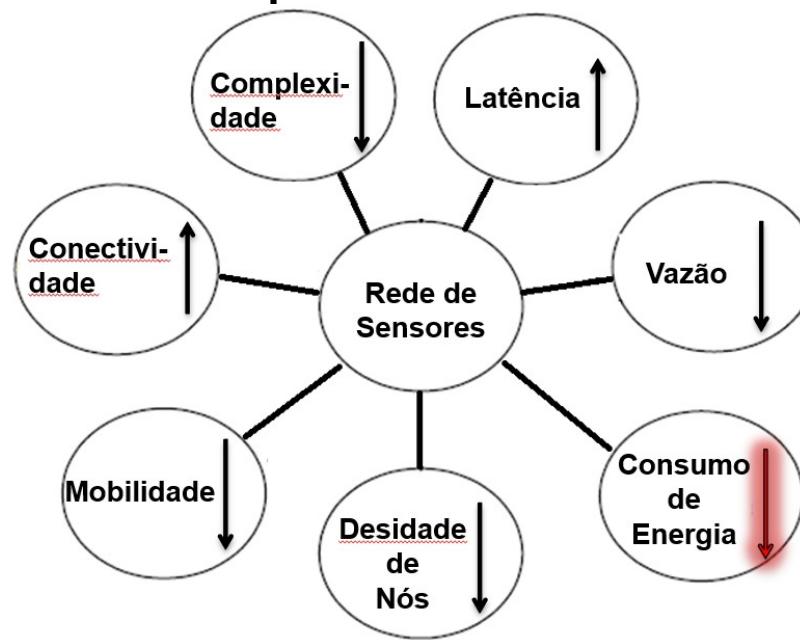


Não necessitam sincronismo



# Motivação

- Explorar características de aplicações com:
  - Baixa ou nenhuma mobilidade
  - Necessitam pequena complexidade
  - Permitem maior latência
  - Trabalham com poucos módulos





# Sumário da apresentação

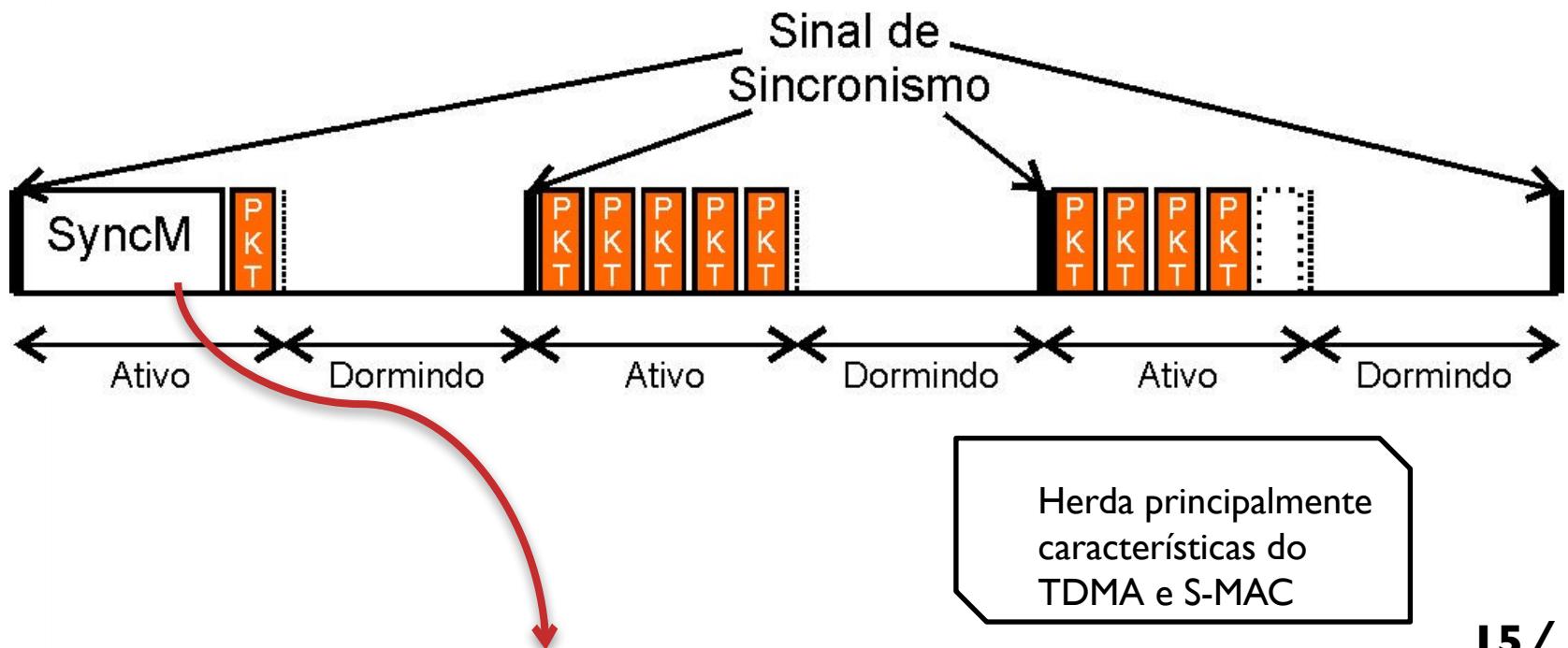
- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Dynamic Timed Energy Efficient (DyTEE)

Sensoriamento  
da portadora

Único canal

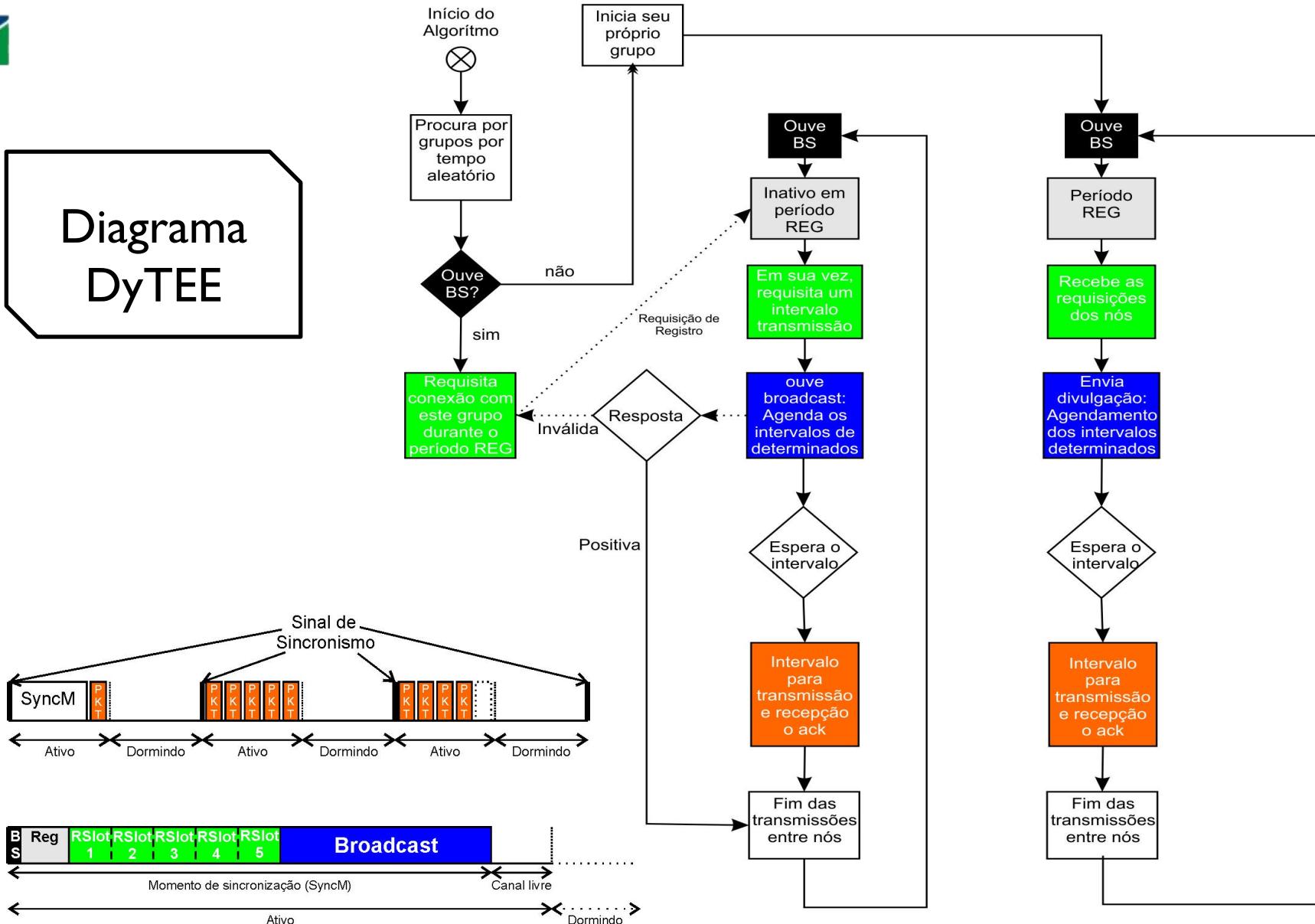




Momento de  
sincronização(SyncM)

Busca melhor  
aproveitamento do canal

# Diagrama DyTEE



Caminho do  
nó não-líder

Caminho do  
Líder



# Parâmetros configuráveis do DyTEE

- Número máximo de nós em cada grupo
- Tamanho máximo de uma mensagem enviada no beacon
- Ciclo de trabalho máximo
- Quantidade de slots para registro
- Carga útil máxima por mensagem
- Máximo número de períodos de recuo (backoff)
- Máximo de requisições de transmissões por períodos
- Máximo número de tentativas de registro
- Máximo de mensagens armazenadas
- Máximo número de tentativas de transmissão de mensagens

---

Totalizando 10 Parâmetros de rede



# Parâmetros dependentes do DyTEE

- Limite do valor máximo de nós
- Duração máxima de uma transmissão de dados
- Duração máxima de um sinal de sincronização (BS)
- Máximo de transmissões por período

---

Totalizando 4 Parâmetros dependentes



# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Metodologia – Método de simulação

- Script em MATLAB

```
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Sg3 0
1 - arrival_sequence = 1000:1000:10000;
2 - start_arrival = arrival_sequence(1);
3 - %input error based on the real samples
4 -
5 -
6 -
7 -
8 -
9 - for loops = 1:10
10 -   loops
11 -   for j = arrival_sequence
12 -     arrival_interval = j
13 -
14 -     %parâmetros gerais
15 -     nodes_connected = 8;
16 -     node_leader_number = 2; %just to set one of the nodes as leader of
17 -
18 -
19 -     max_active_time = 56;%ms
20 -     subscription_time = 2.2;%ms
21 -     payload = 20;%bytes
22 -     message_split_in = 50;
23 -     total_message_lenght = message_split_in*payload;%Bytes
24 -     max_dutycycle = 5.6;%percentage
25 -
```

- Implementado S-MAC e DyTEE em simulação

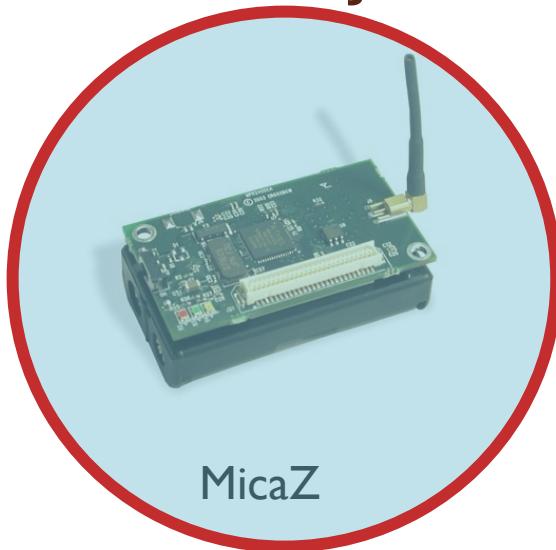


# Sumário da apresentação

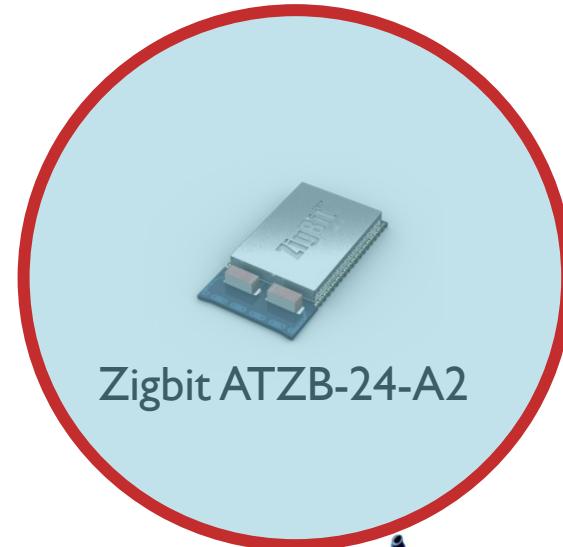
- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Metodologia – Plataforma de implementação



MicaZ



Zigbit ATZB-24-A2



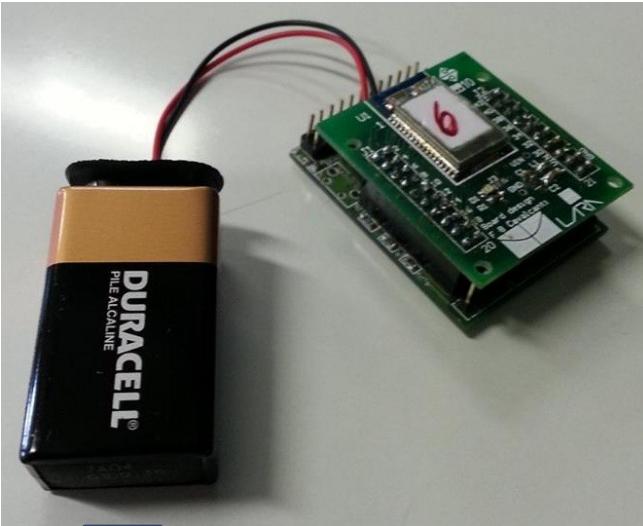
TelosB



IRIS



# Metodologia – Plataforma de implementação



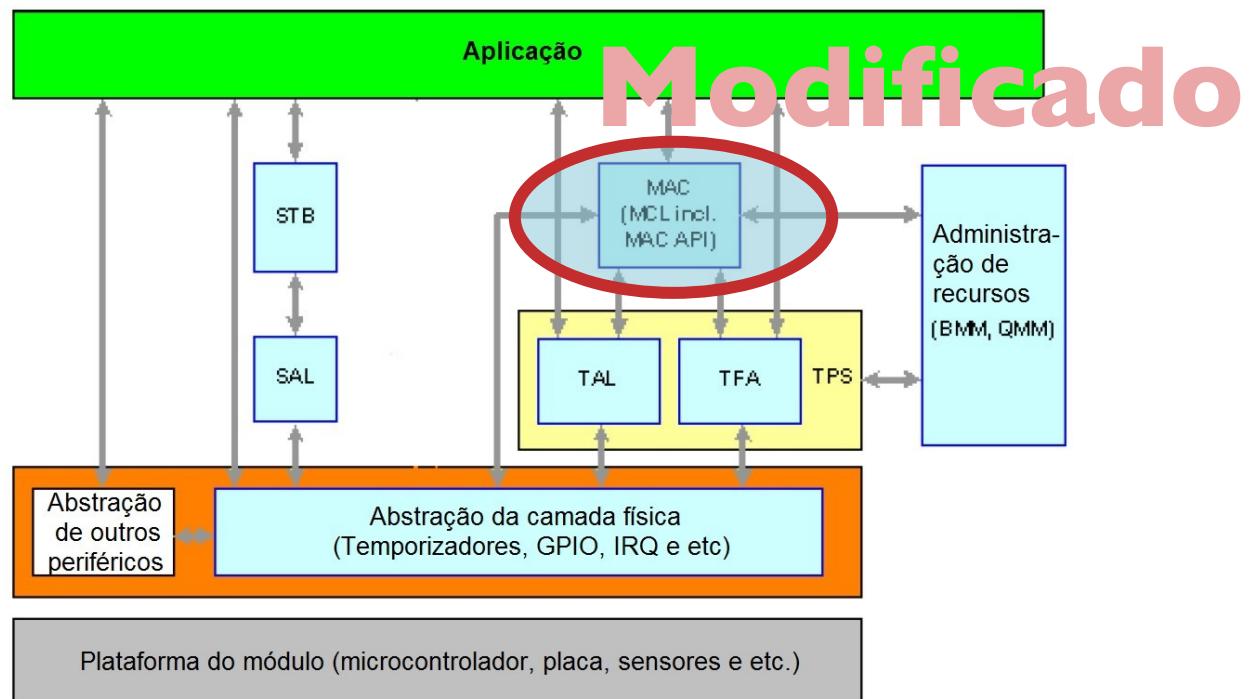
Ou diretamente com 2  
pilhas AA  $\approx 3.1V$





# Metodologia – Plataforma de implementação

- Plataforma aberta “IEEE 802.15.4 MAC” disponibilizado pela Atmel.





# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Metodologia – Obtenção de resultados em módulos reais

- I. Contagem de bytes transmitidos e recebidos
2. Medição em Multímetro digital\*

\*Novo método, não incluso ainda na dissertação



# Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

- Cada módulo envia, como carga útil:
  - Somatório dos tempos ativos deste nó
  - Totais de bytes enviados por este nó
  - Totais de bytes recebidos por este nó
  - Totais de bytes enviados de carga útil por este nó
  - Totais de bytes recebidos de carga útil por este nó



# Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

- Pelo valor de bytes contados e recebidos pelo coordenador, pode-se calcular:

$$Vazão_{Rede} = \frac{\sum Bytes_{Úteis\ recebidos}}{Tempo_{Procedimento}}. \quad (4.1)$$

$$Pacotes_{Perdidos} = \frac{(\sum Bytes_{Úteis\ enviados} - \sum Bytes_{Úteis\ recebidos})}{S_{Carga\ útil}}, \quad (4.2)$$

$$Overhead = \frac{(\sum Bytes_{Totais\ enviados} - \sum Bytes_{Úteis\ recebidos} - Pacotes_{Perdidos} \cdot S_{Pacote})}{\sum Bytes_{Totais\ enviados}}, \quad (4.3)$$



# Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

- Pela duração das operações ( $32\mu s$  por byte), estima-se os tempos de cada estado.

$$Tempo_{Total\ Tx\ grupo} = 32\mu s * \sum Bytes_{Totais\ enviados} \quad (4.4)$$

$$Tempo_{Total\ Rx\ grupo} = 32\mu s * \sum Bytes_{Totais\ recebido}, \quad (4.5)$$

$$Tempo_{Total\ ocioso\ grupo} = \sum Tempo_{Total\ ativo} - Tempo_{Total\ Tx\ grupo} - Tempo_{Total\ Rx\ grupo} \quad (4.6)$$

$$Tempo_{Total\ Sleep\ grupo} = N\acute{o}s_{Utilizados}.Tempo_{Procedimento} - \sum Tempo_{Total\ ativo}, \quad (4.7)$$



# Metodologia – Obtenção de resultados: Contagem de bytes transmitidos e recebidos

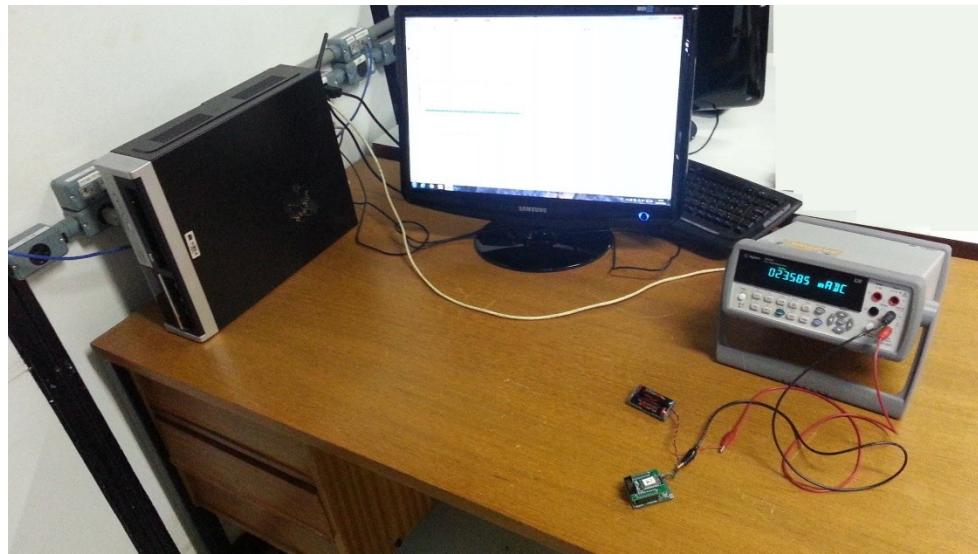
- Pela duração das operações ( $32\mu s$  por byte), estima-se o consumo total.

$$Consumo_{Total} = Tempo_{Total\ Tx\ grupo}.Const_x + Tempo_{Total\ Rx\ grupo}.Const_{Rx} + \\ Tempo_{Total\ ocioso\ grupo}.Const_{Ocioso} + Tempo_{Total\ Sleep\ grupo}.Const_{Sleep}, \quad (4.8)$$

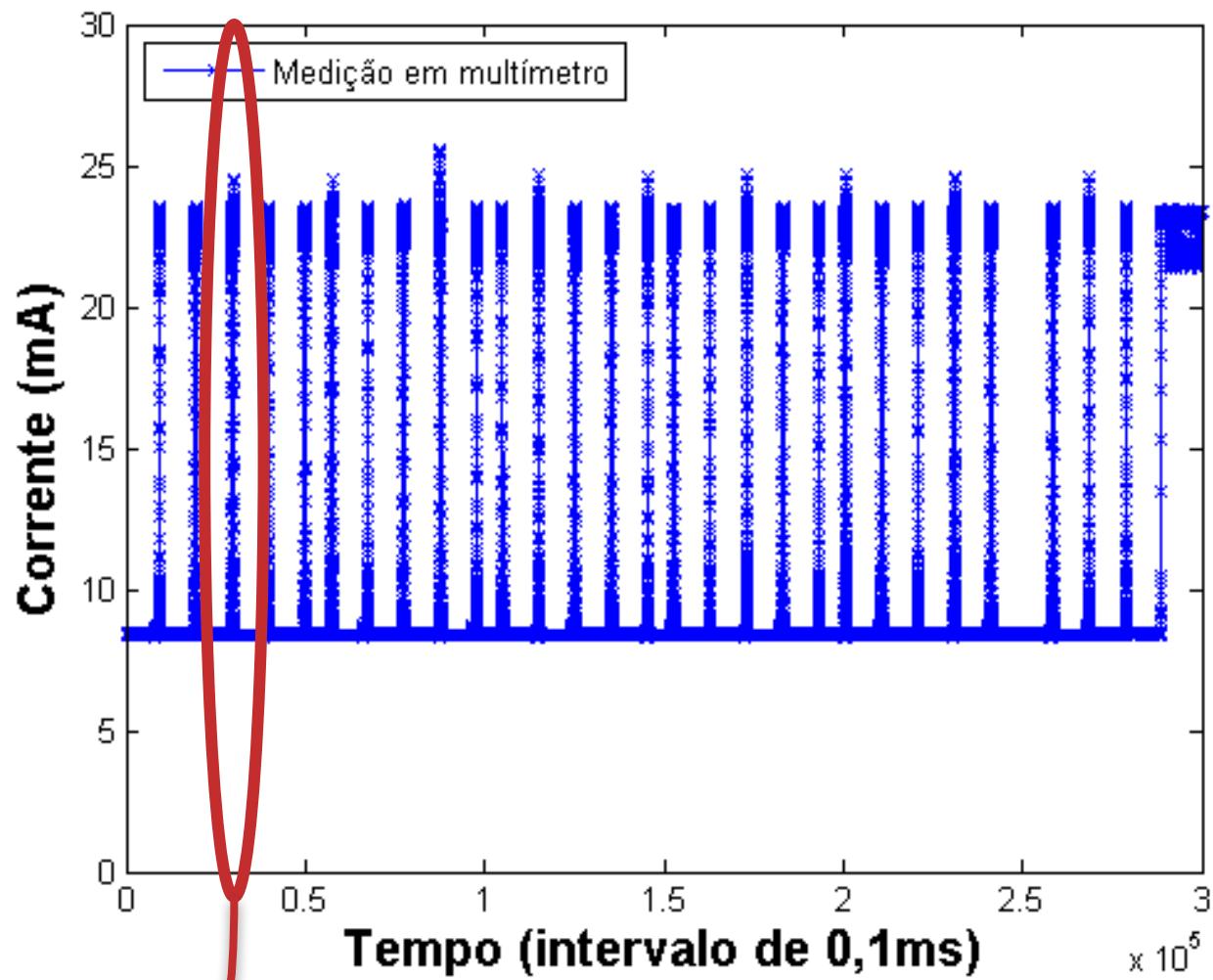
Variável	Valor
Const <sub>Tx</sub>	16,5 mA
Const <sub>Rx</sub>	15,5 mA
Const <sub>Ocioso</sub>	7,8 mA
Const <sub>Sleep</sub>	0,00002 mA



# Metodologia – Obtenção de resultados: Medição em Multímetro digital



- Integração entre software MATLAB e multímetro Agilent 34410A
- Medição direta da corrente de trabalho do módulo
- Cálculo do consumo pelo tempo e gráfico obtido

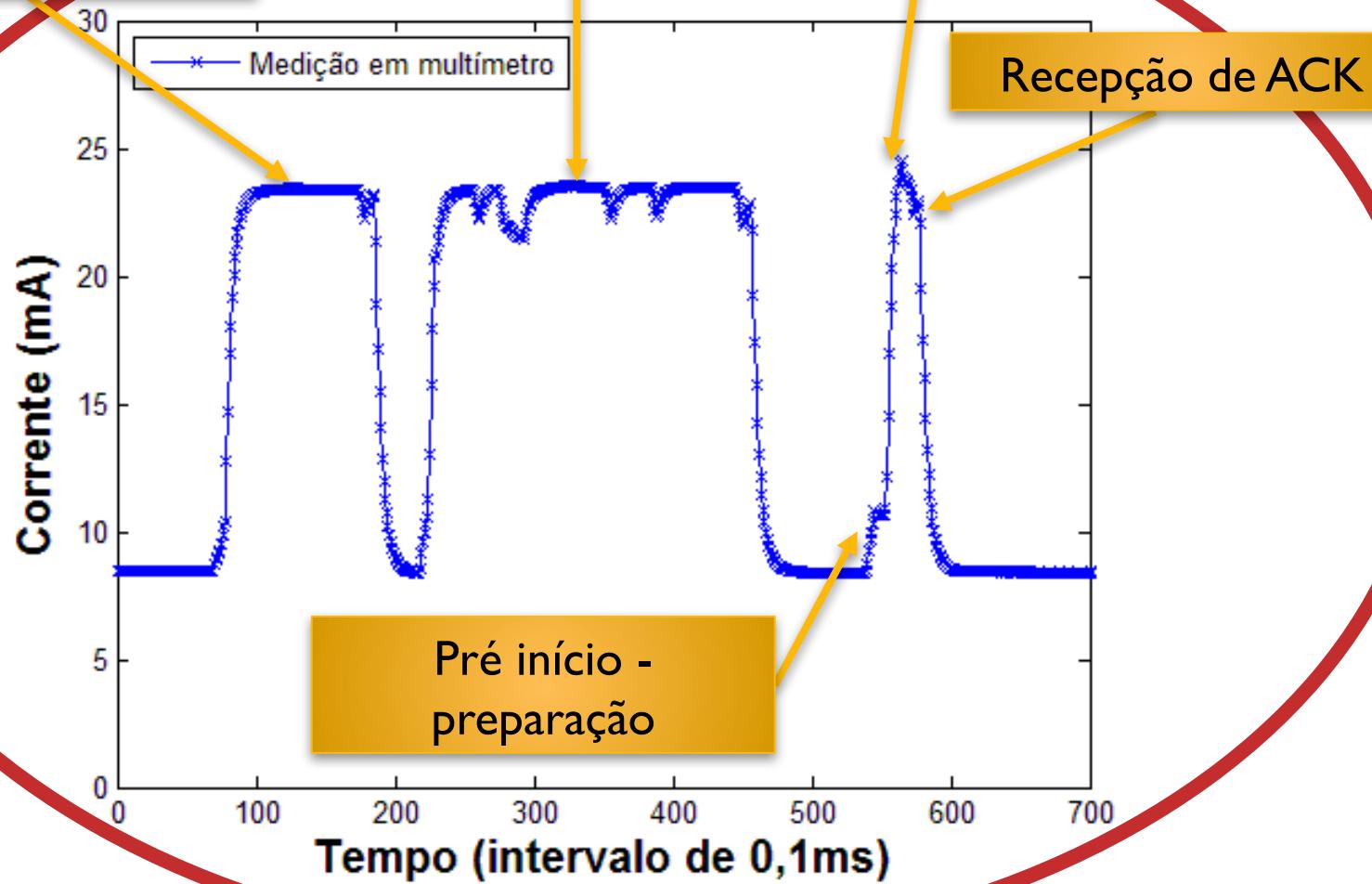


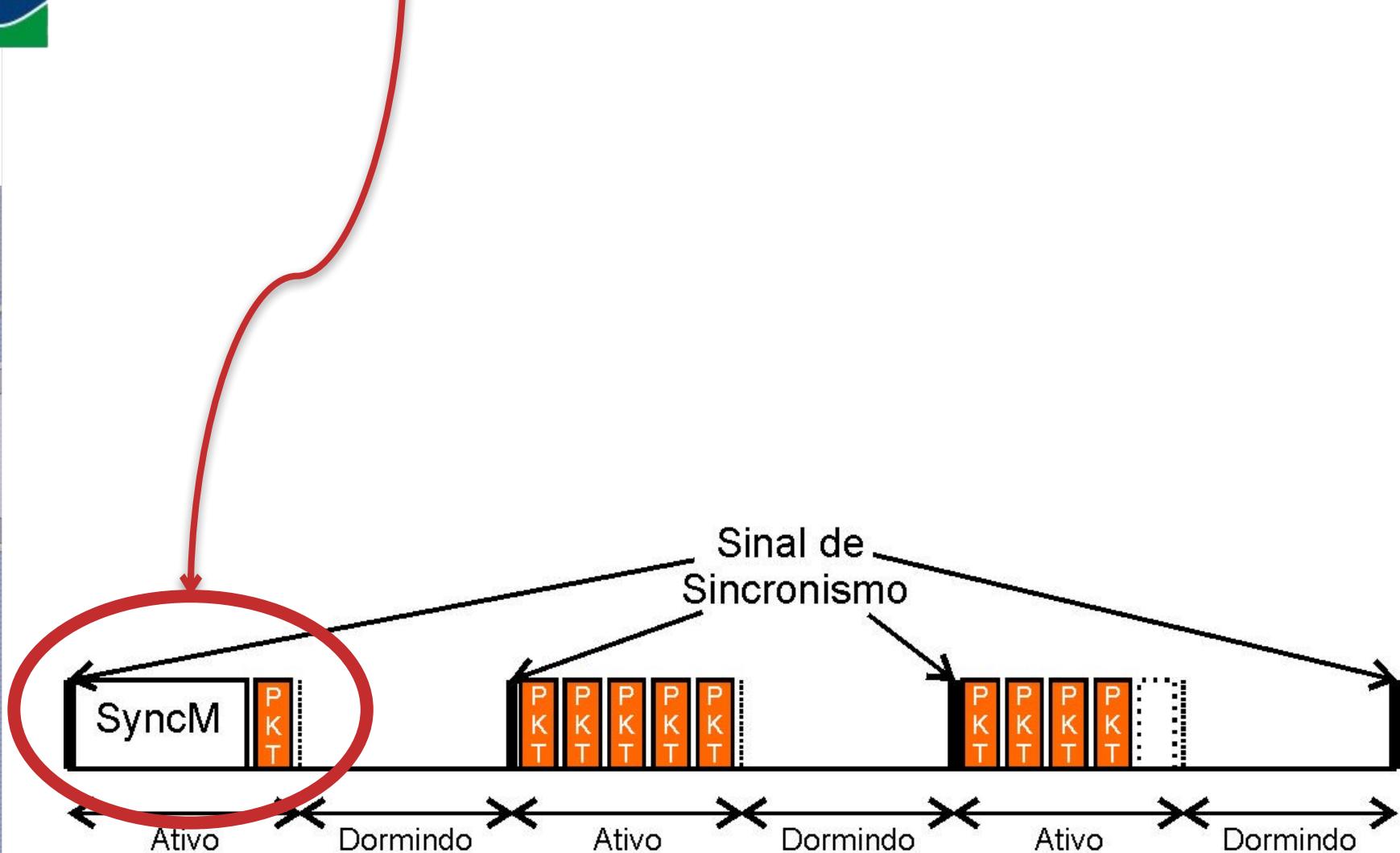
Espera por beacon e  
recepção deste  
(Longa espera!)

Transmissões e  
recepções durante  
SyncM

Transmissões de  
pacote

Recepção de ACK





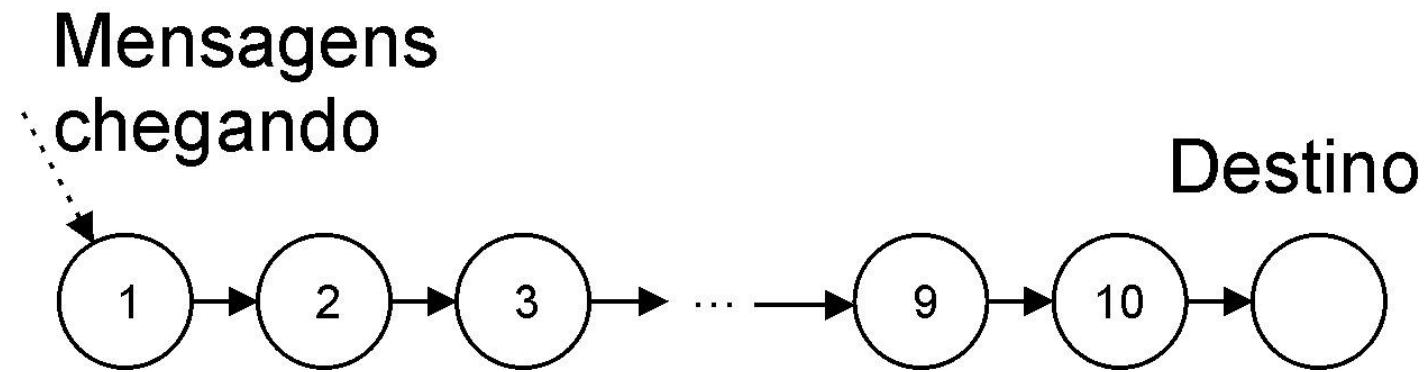


# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Resultados – Topologia da rede para simulação – Linear



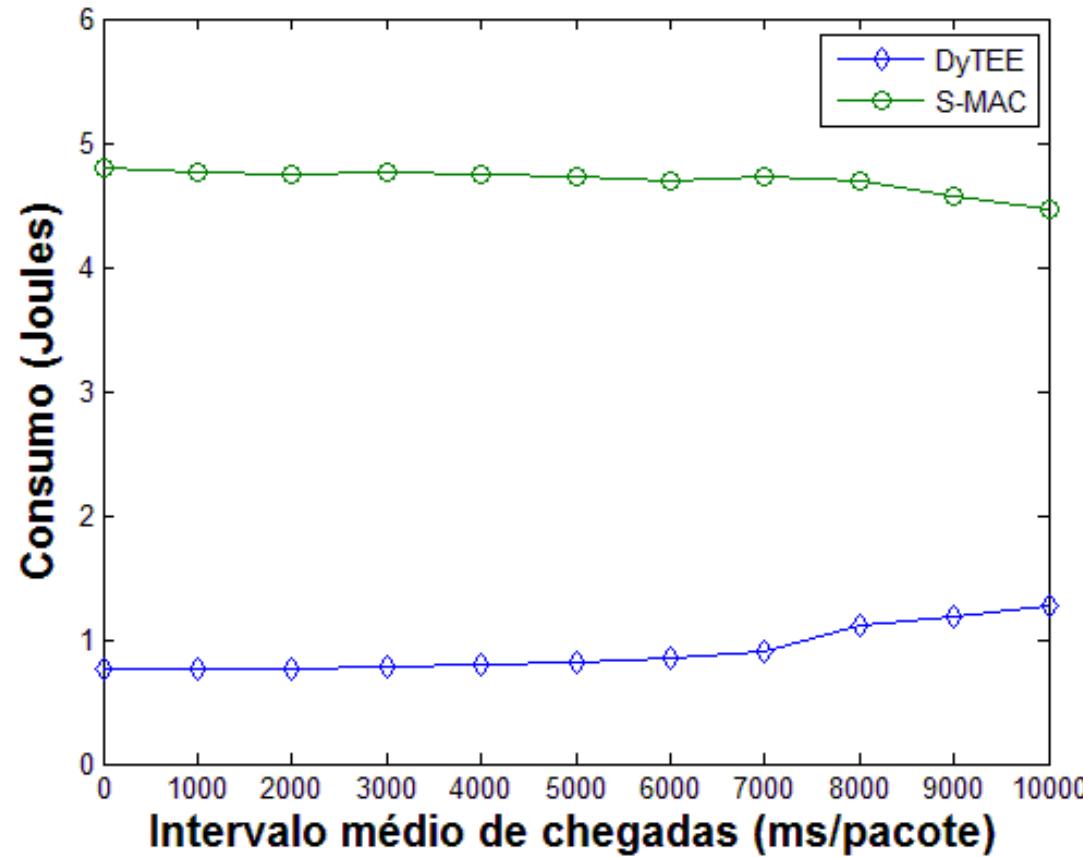
- 10 módulos mais o destino
- Como usado no artigo do S-MAC



# Parâmetros da simulação – Linear

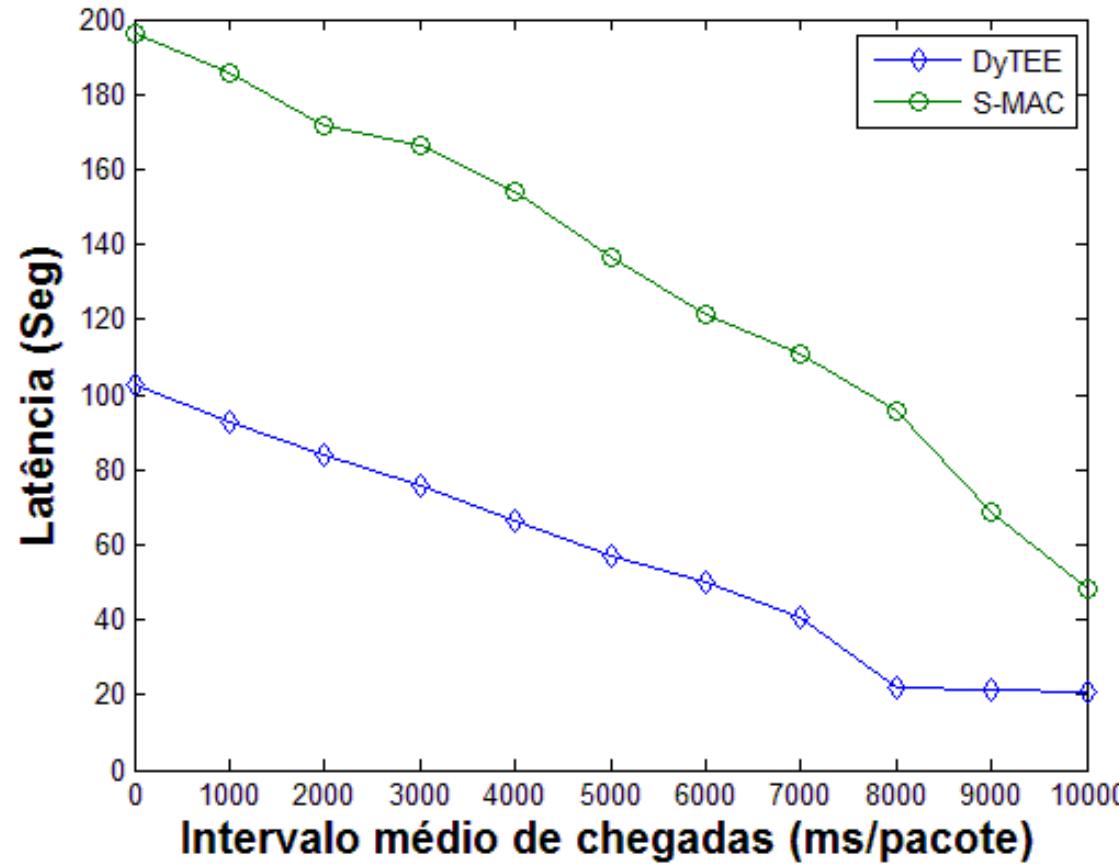
Parâmetro	Value	Unit
Cabeçalhos	5	Byte
Pacotes de controle	10	Byte
Carga útil	100	Byte
Taxa de transmissão	20	Kbps
Ciclo de trabalho	10	%
Tempo máximo ativo	115	ms
Número de nós (não contando o destino)	10	nós
Consumo de energia:	14.4 36 0.015	mW

# Resultados das simulações – Linear: Consumo de energia



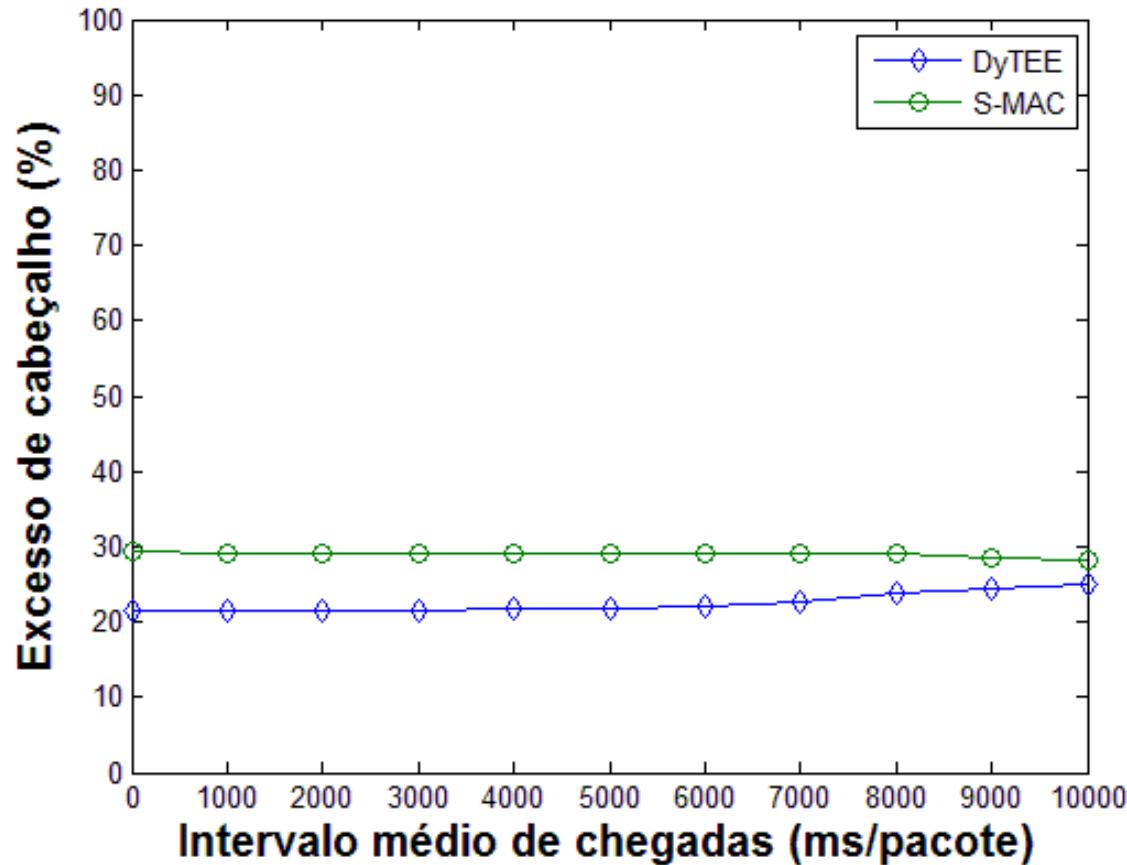
20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

# Resultados das simulações – Linear: Latência



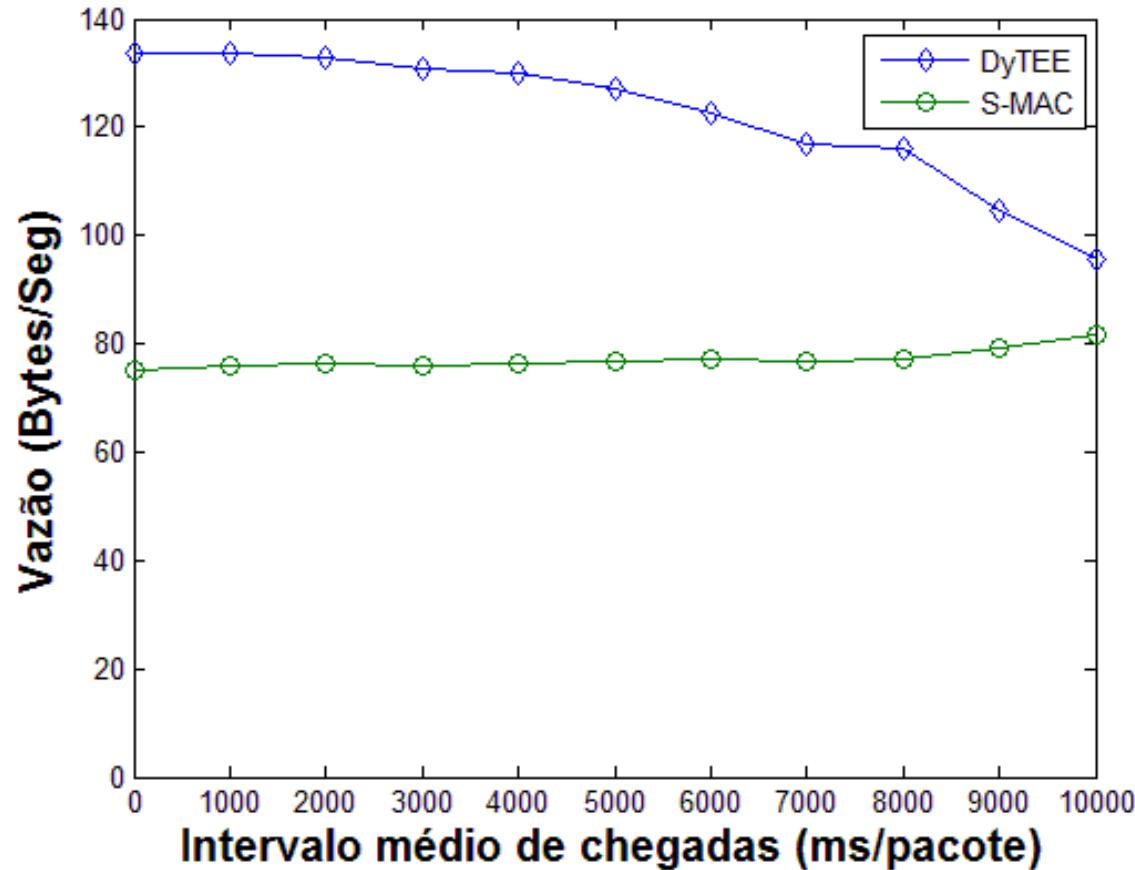
20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

# Resultados das simulações – Linear: Excesso de cabeçalho



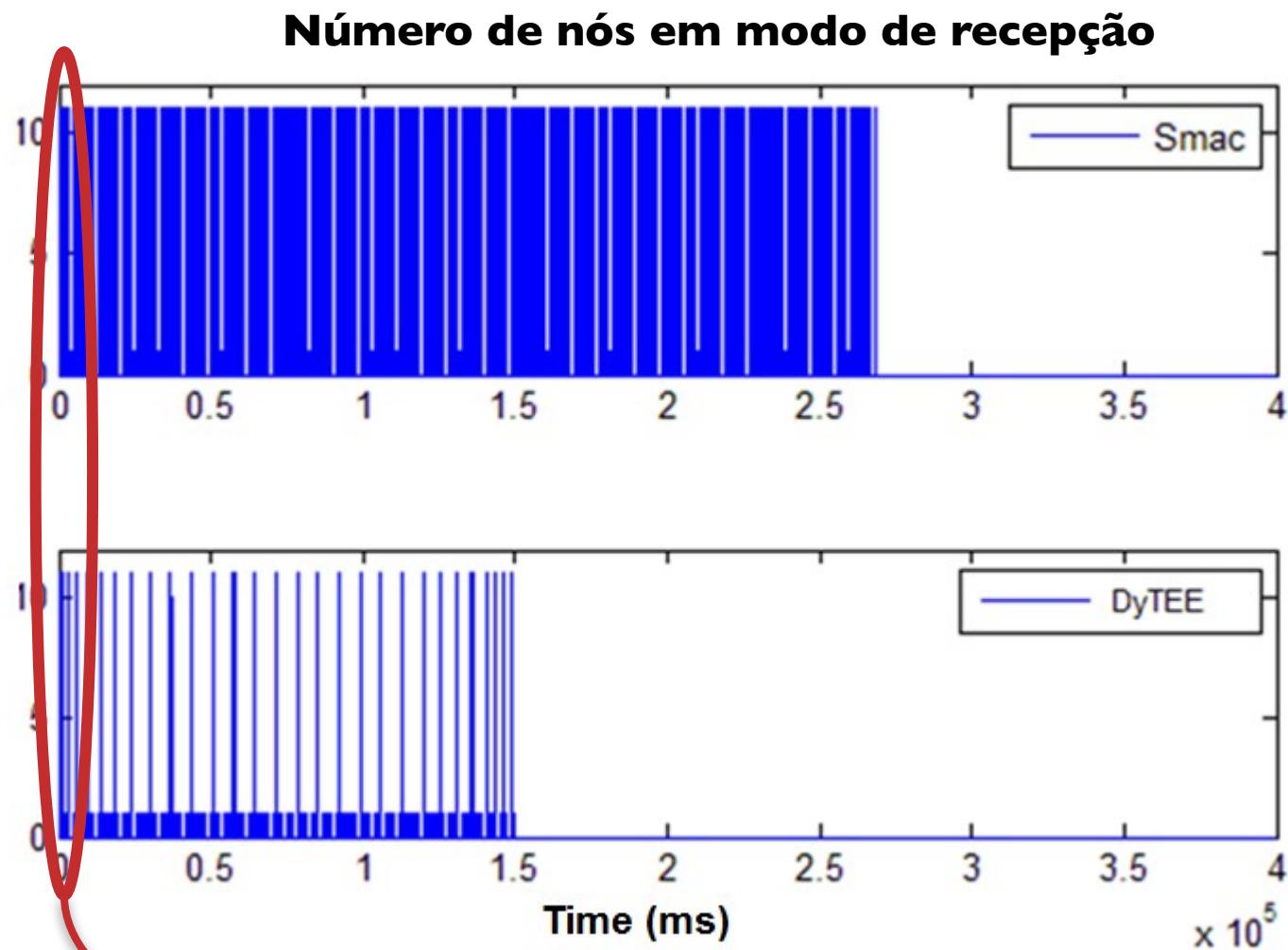
20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

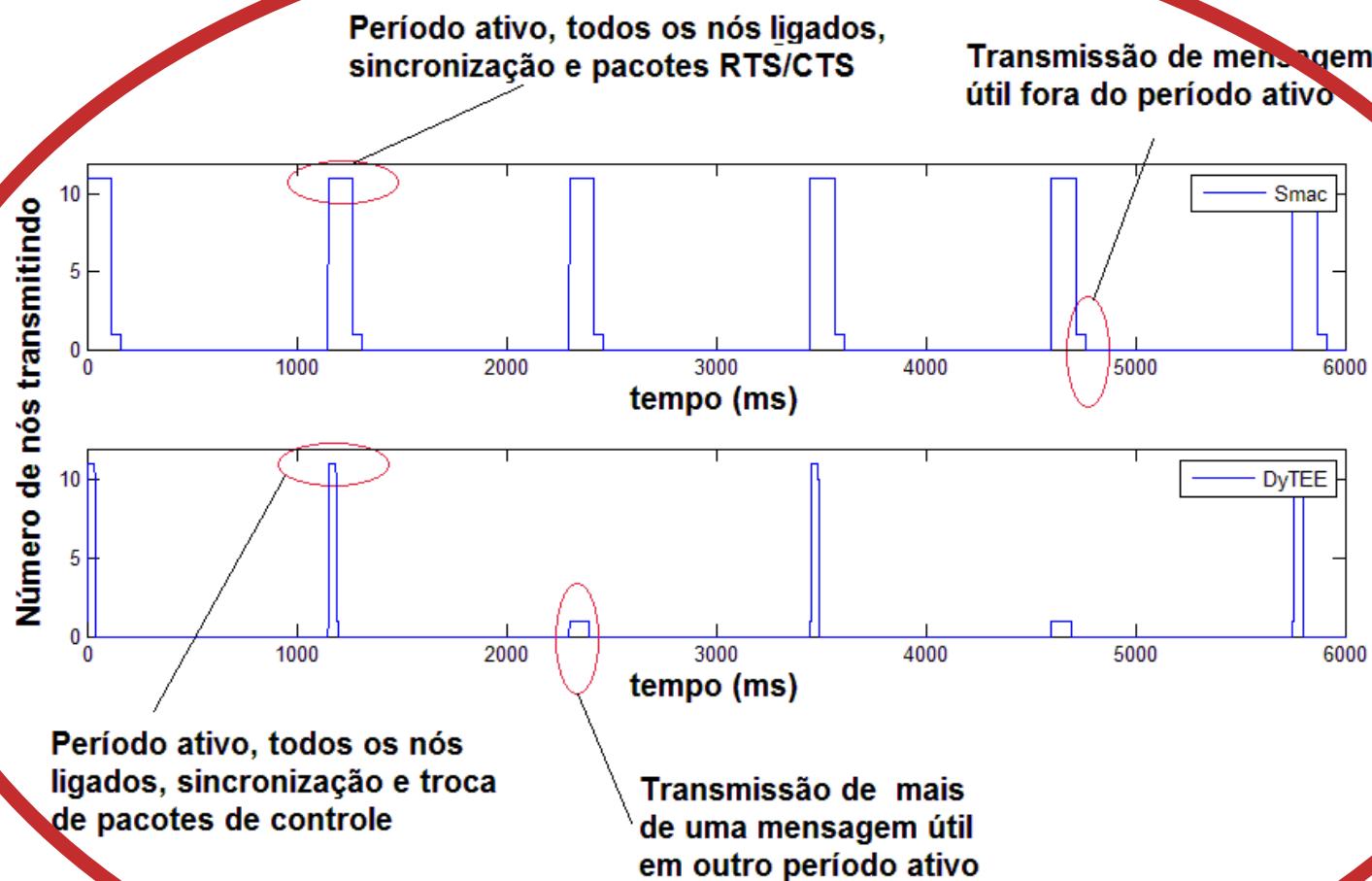
# Resultados das simulações – Linear: Vazão



20 mensagens enviadas com 100 Bytes cada

# Simulações – Linear: DyTEE x S-MAC

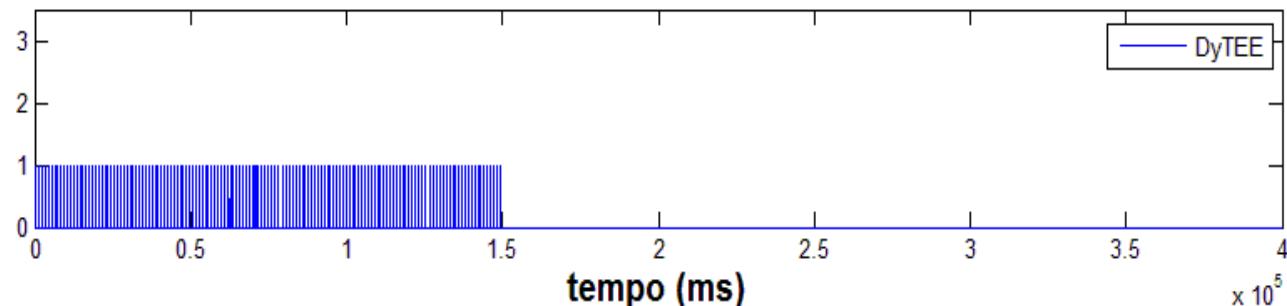
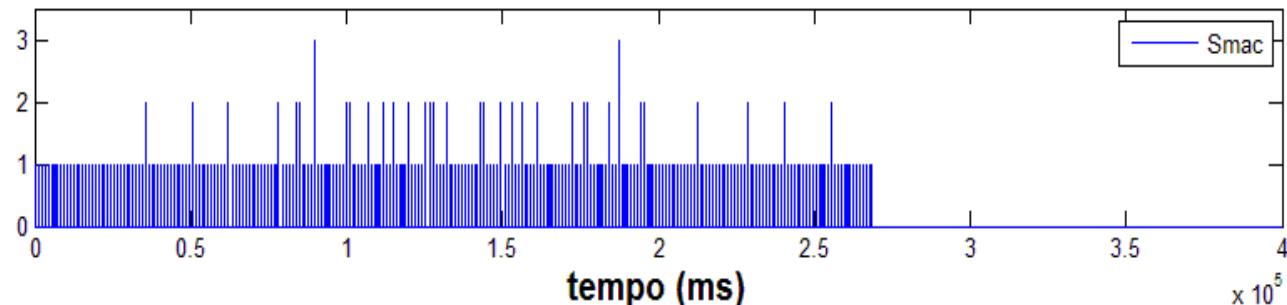






# Simulações – Linear: DyTEE x S-MAC

**Número de nós em modo de transmissão**



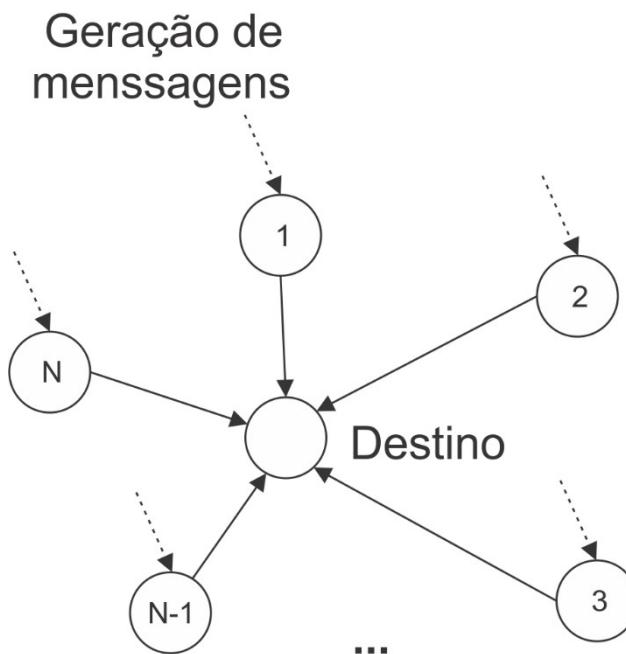


# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Resultados – Topologia da rede para simulação – Estrela



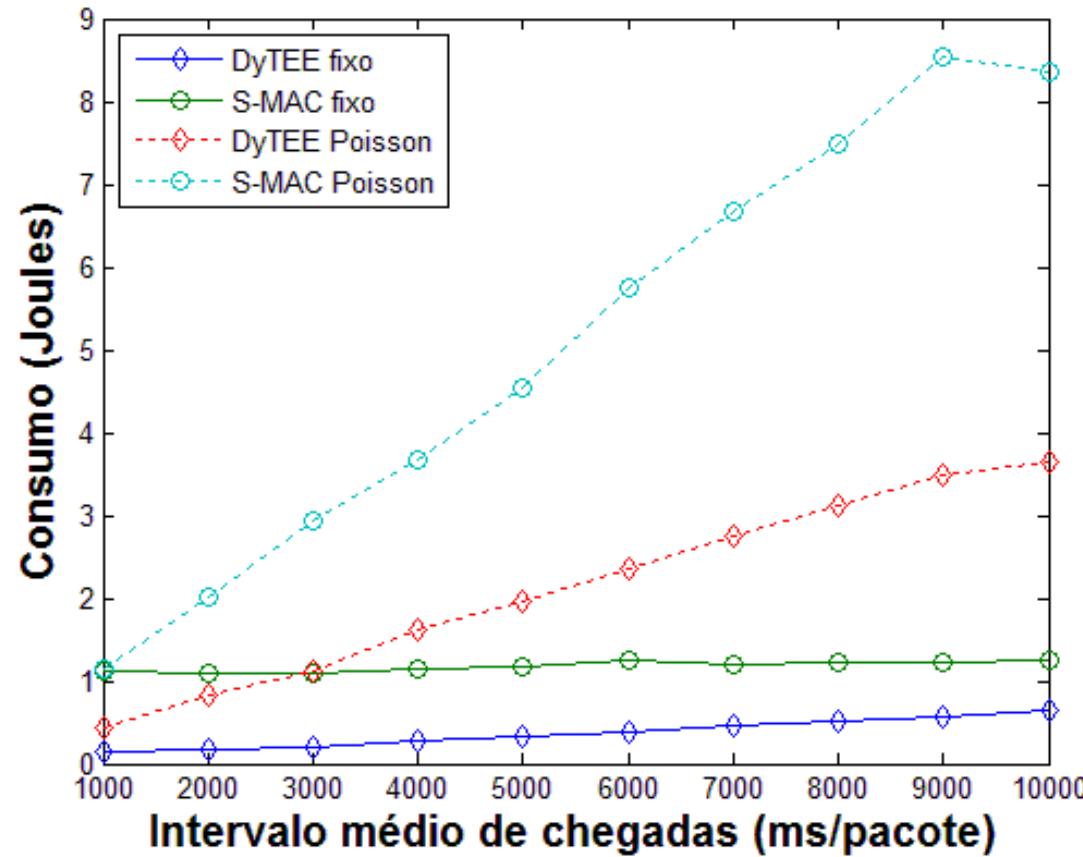
- 7 módulos mais o destino
- Dois experimentos:
  - Taxa de chegadas fixas
  - Taxa variável com Poisson



# Parâmetros da simulação – Estrela

Parâmetro	Valor S-MAC	Valor DyTEE	Unit
Cabeçalhos	5	8	Byte
Pacotes de controle	10	8	Byte
Carga útil	20	20	Byte
Taxa de transmissão	250	250	Kbps
Ciclo de trabalho	4,5	5,6	%
Tempo máximo ativo	45	56	ms
Número de nós (não contando o destino)	8	8	nós
Consumo de energia:	Recepção Transmissão Dormindo	51,15 54,45 0.000066	mW

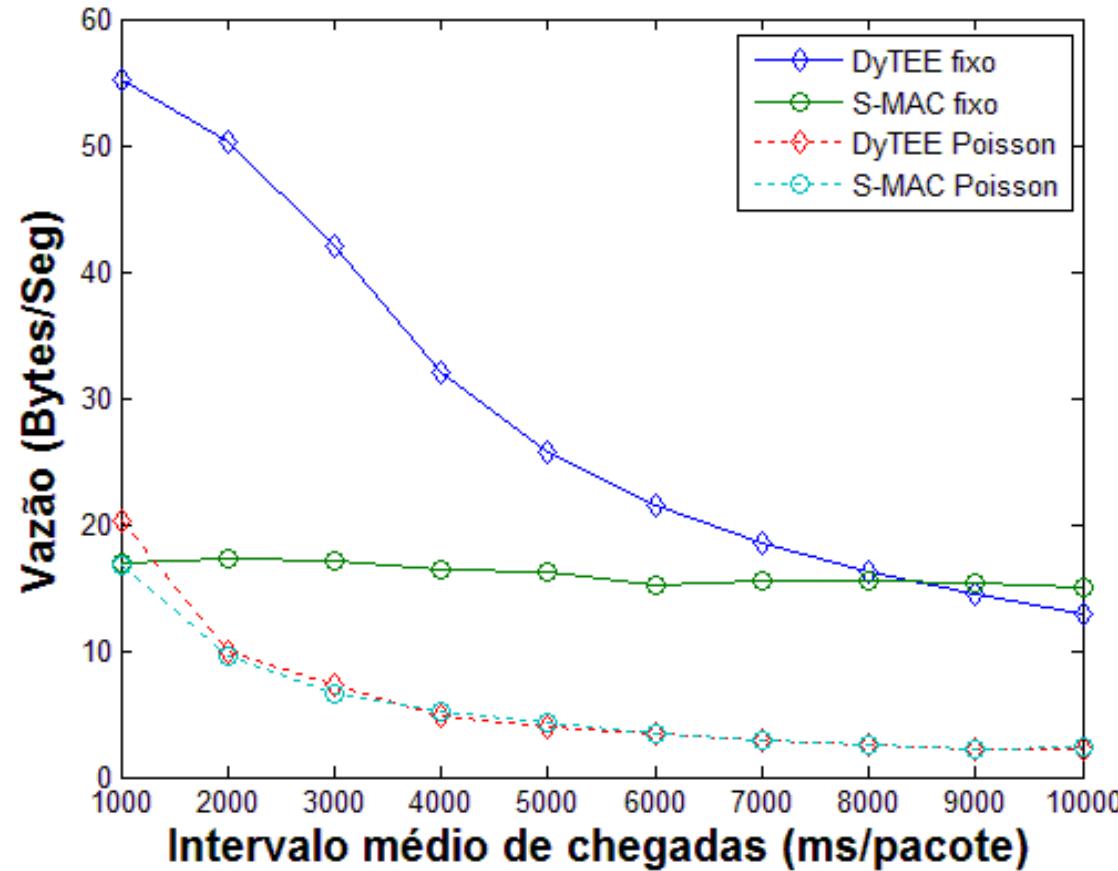
# Resultados das simulações – Estrela: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada



# Resultados das simulações – Estrela: Vazão

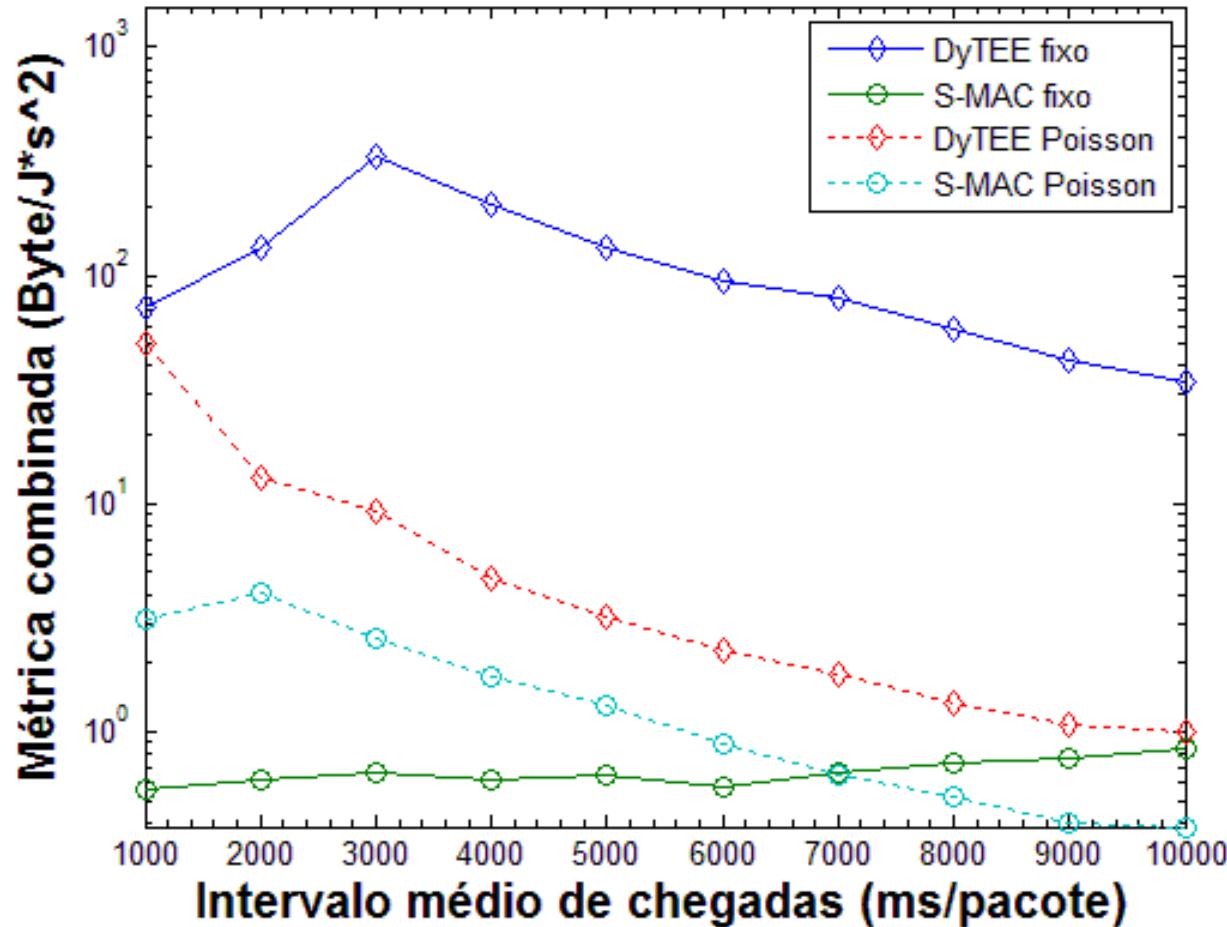


50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados das simulações – Estrela:

Vazão

(Consumo de energia \* Latência)



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada



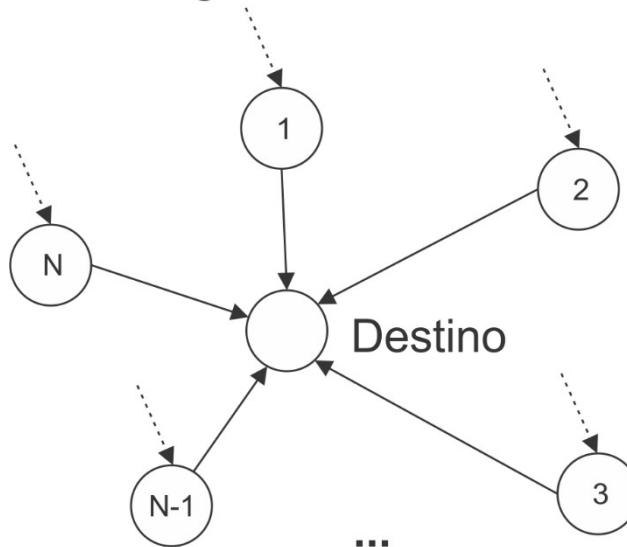
# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

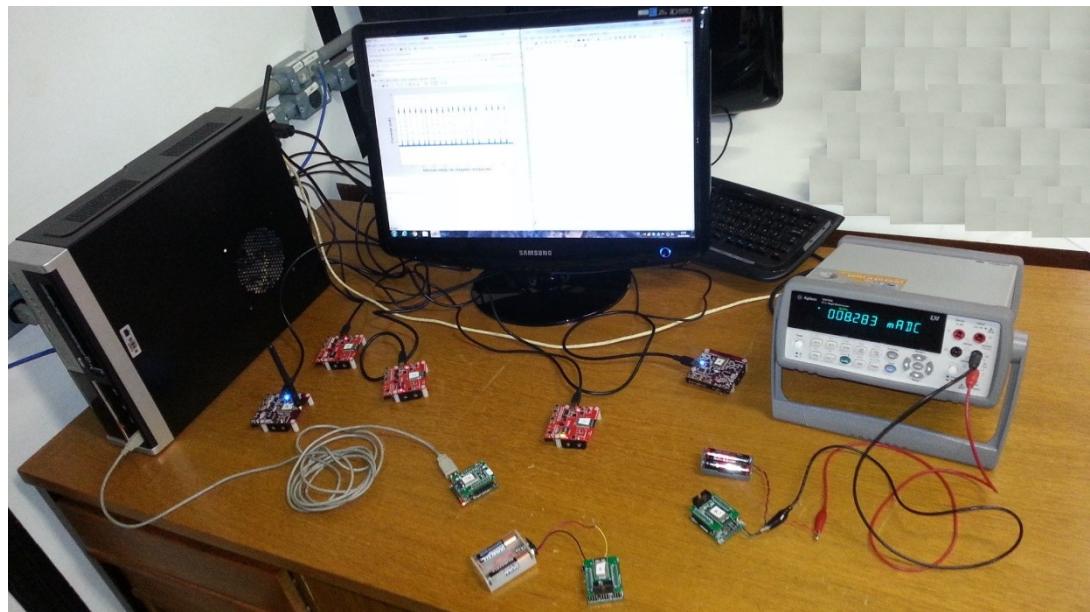


# Resultados – Topologia da rede em módulos reais – Estrela

Geração de mensagens

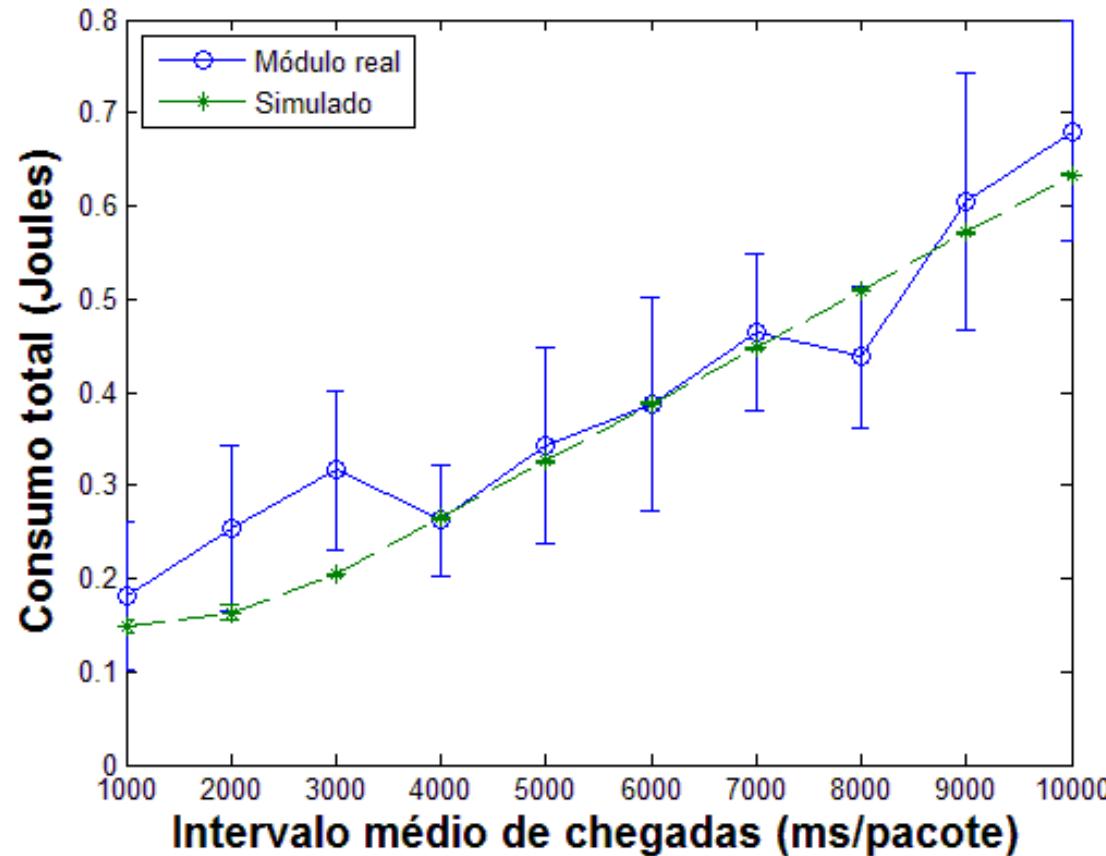


- 7 módulos mais o destino





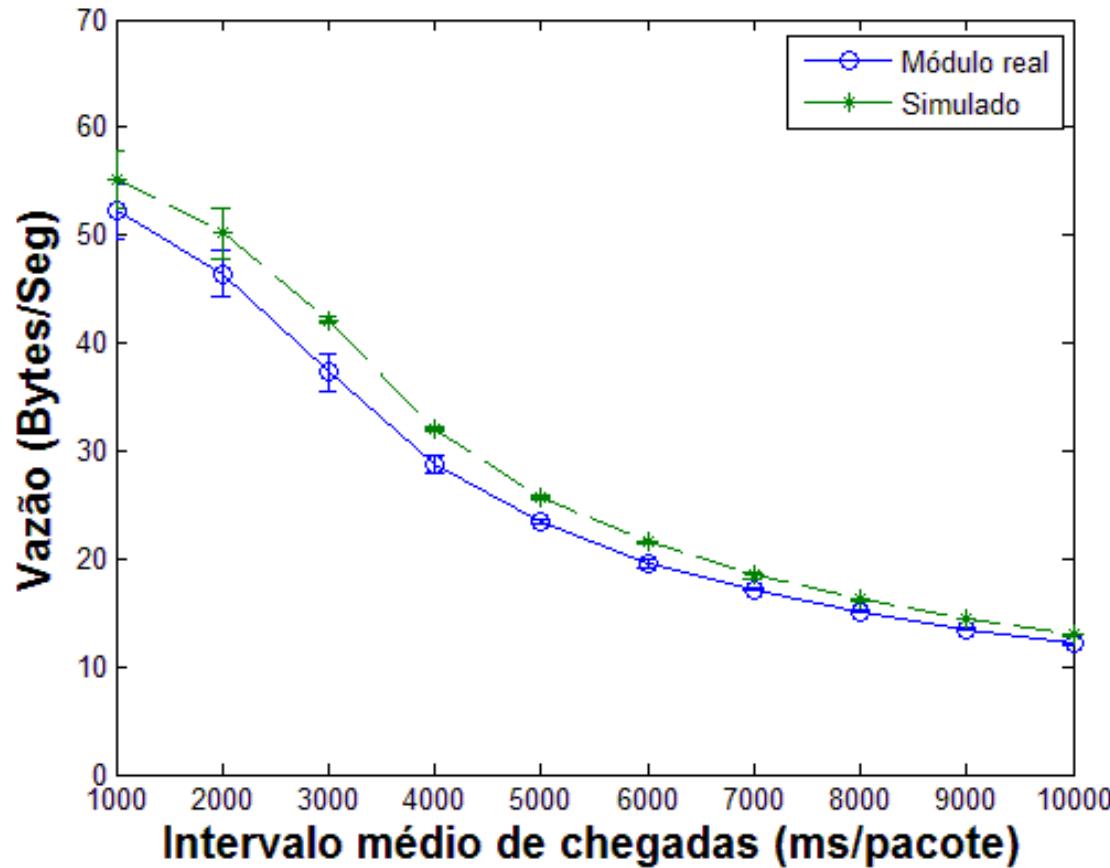
# Resultados dos experimentos – Validação: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

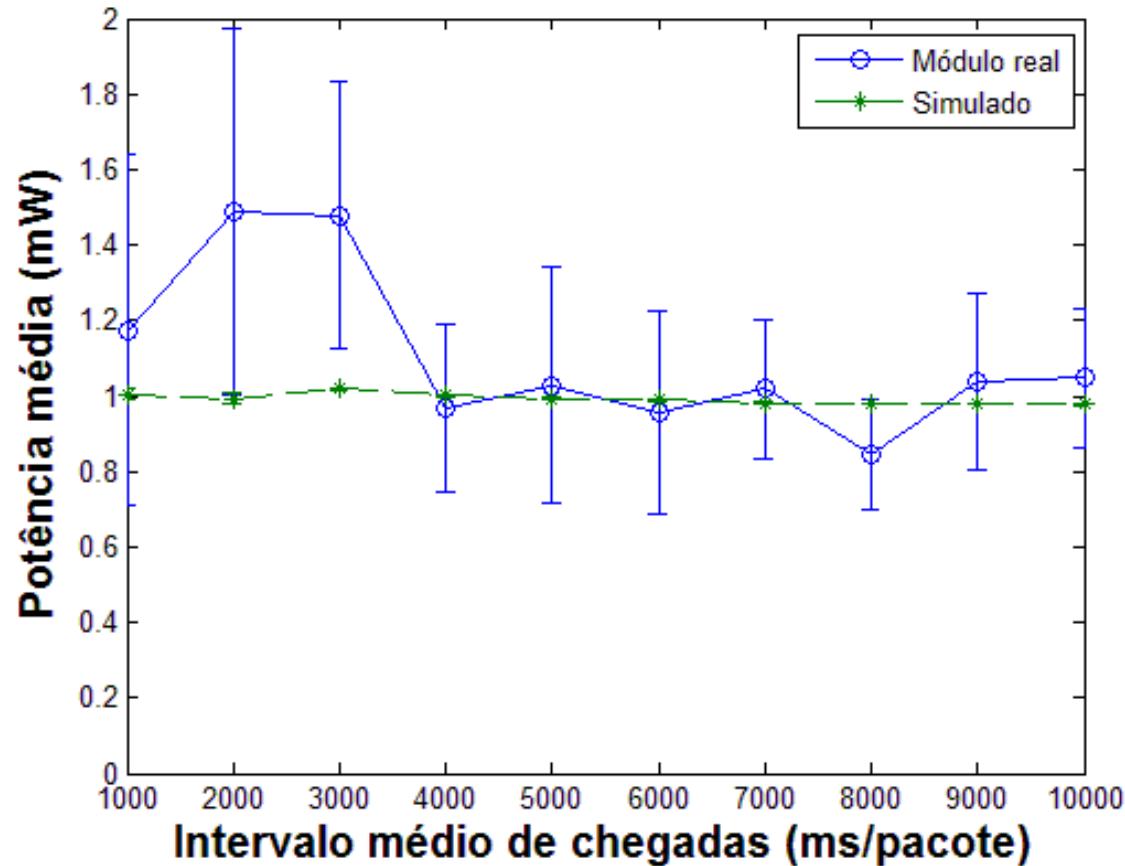


# Resultados dos experimentos – Validação: Vazão



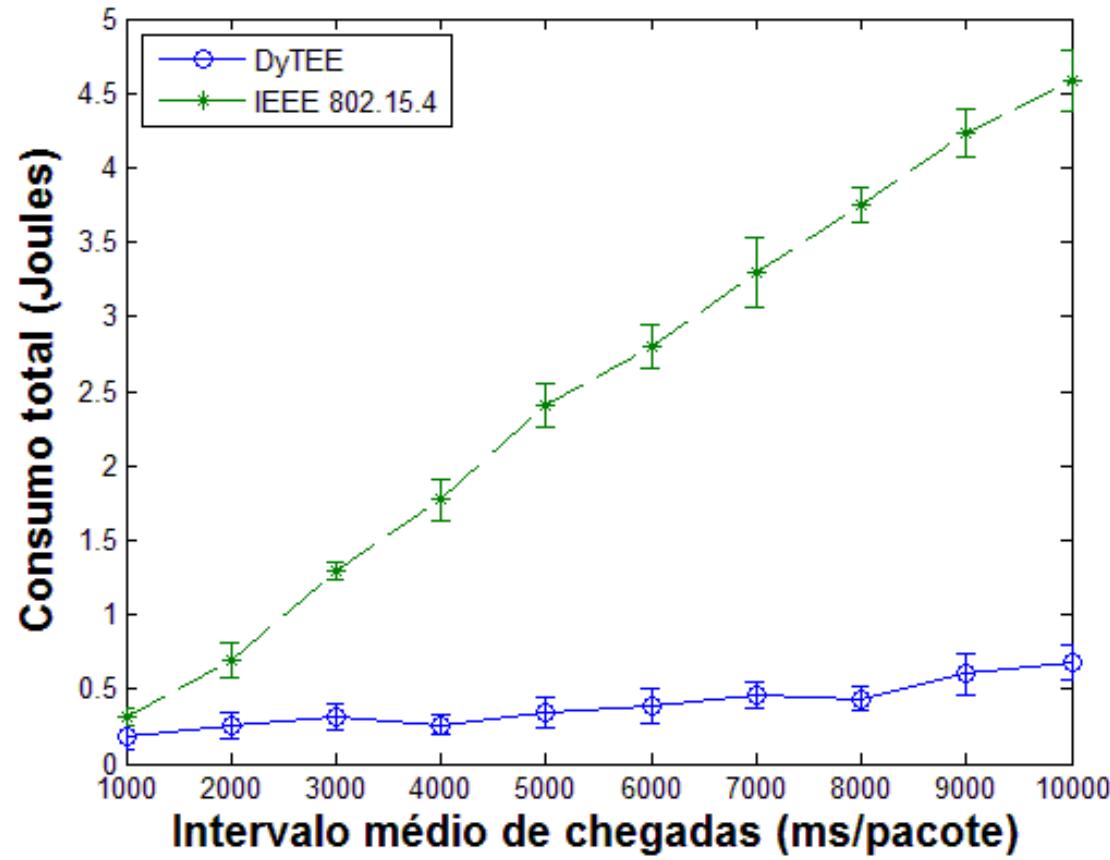
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Validação: Potência média consumida



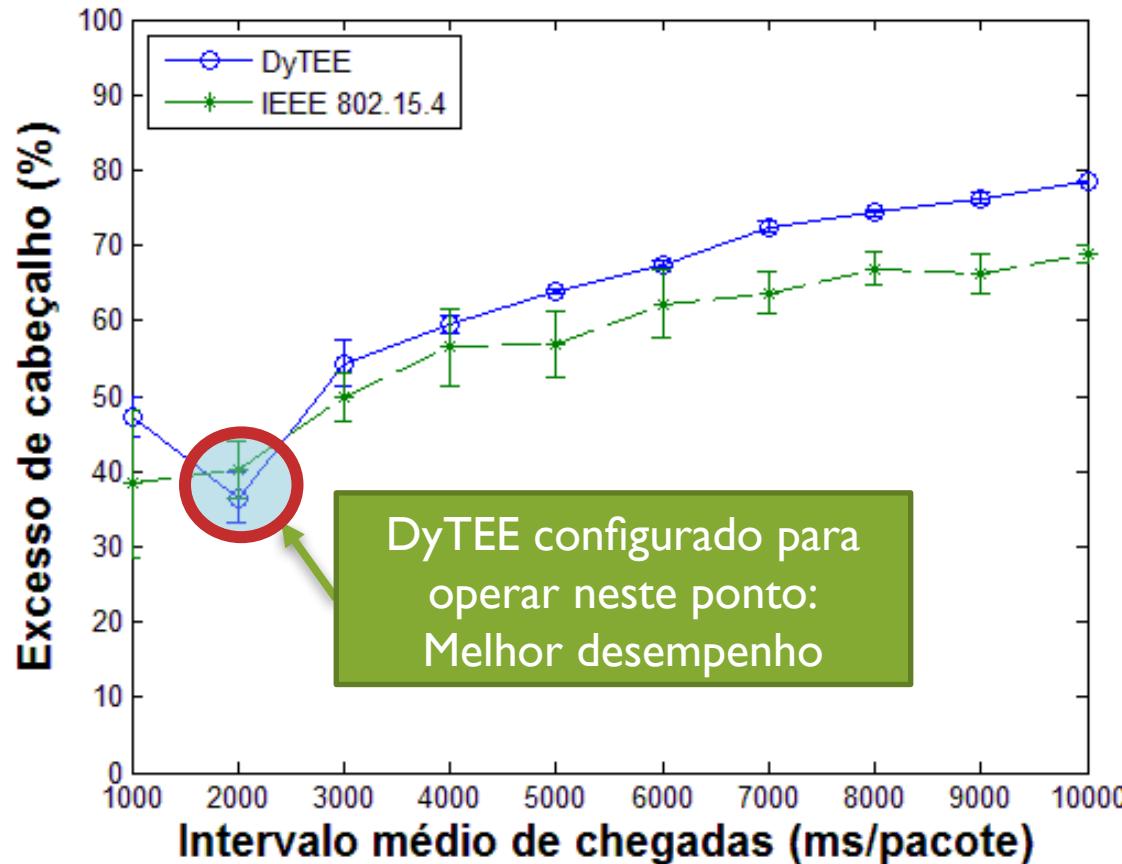
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Comparação: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

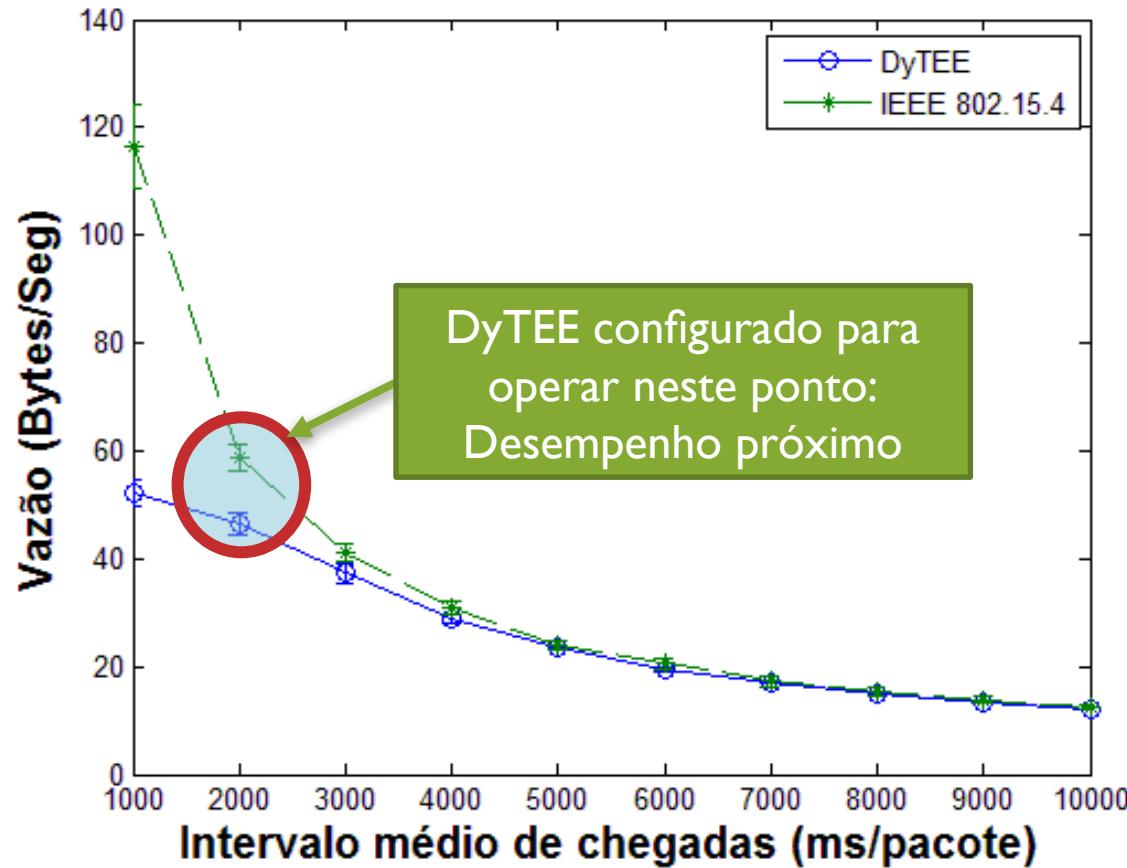
# Resultados dos experimentos – Comparação: Excesso de cabeçalho



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

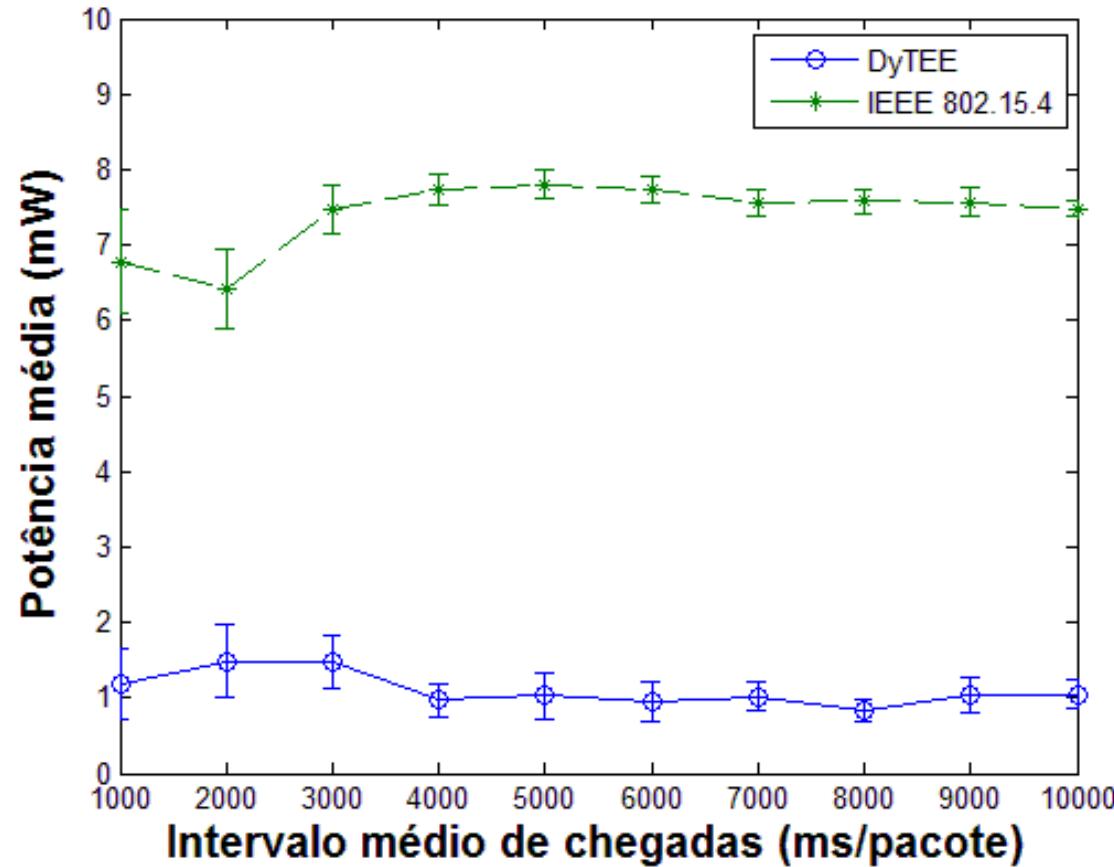


# Resultados dos experimentos – Comparação: Vazão



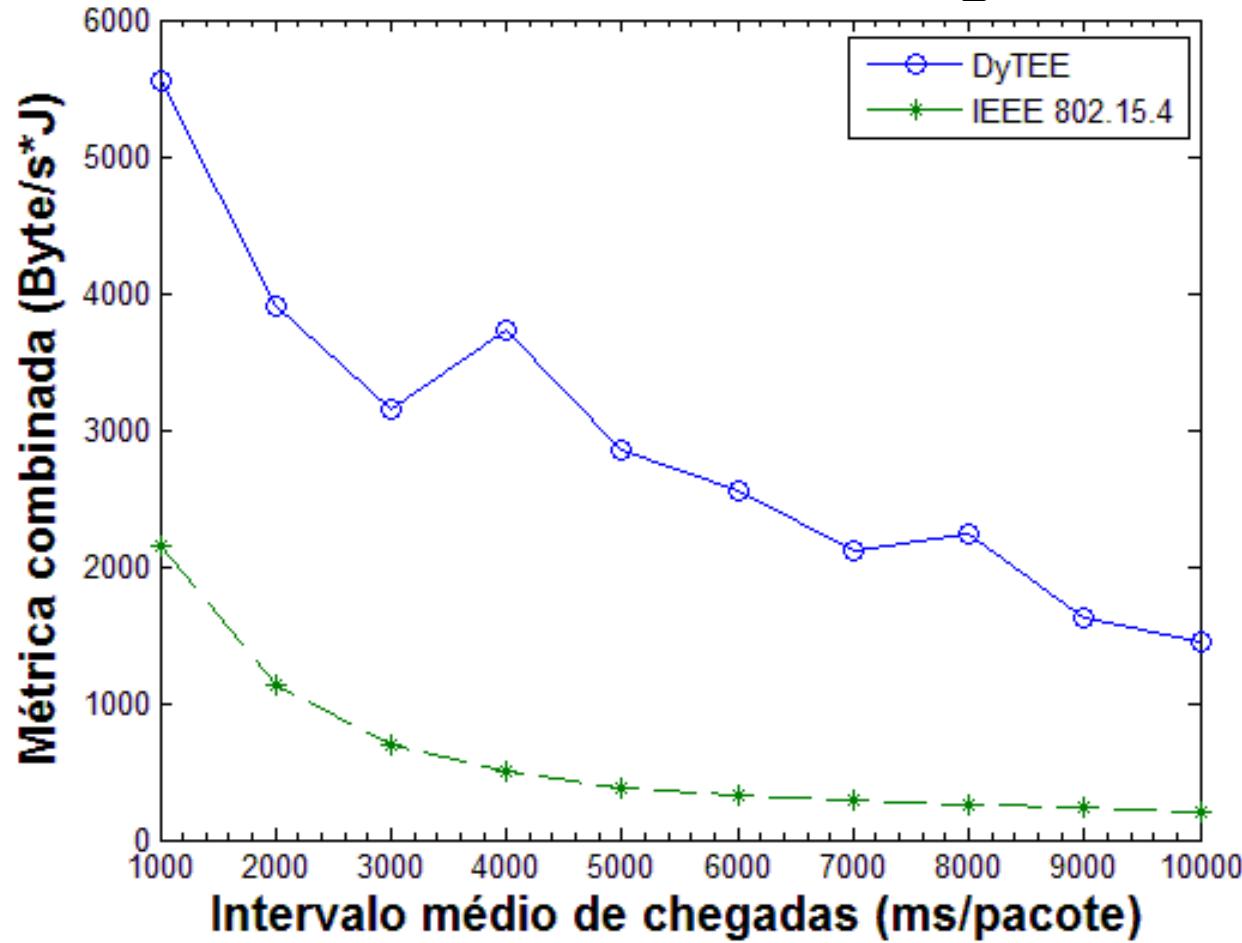
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Comparação: Potência média consumida



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Comparação: *Vazão* *Consumo de energia*



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

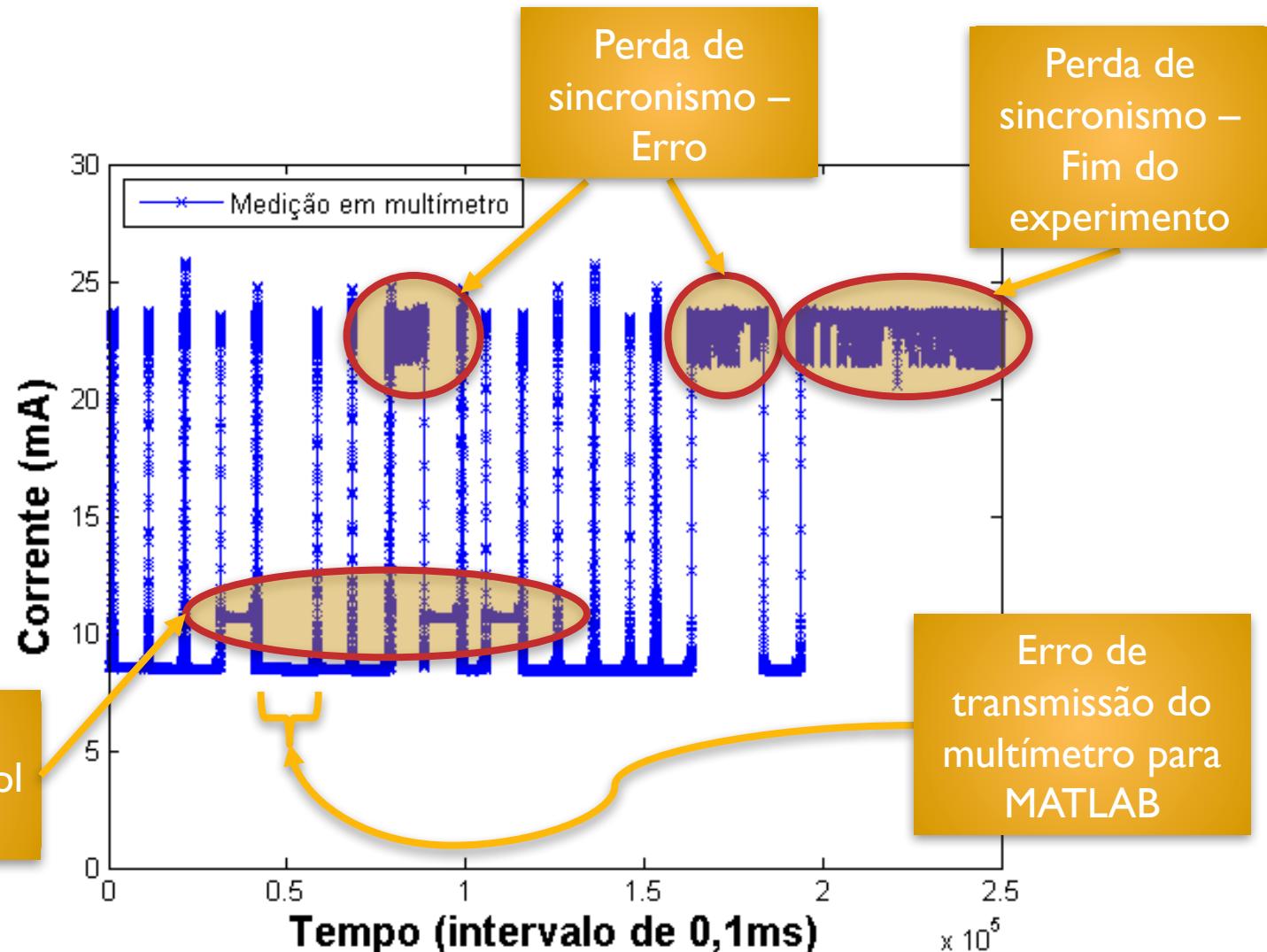


# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Resultados dos experimentos – Problemas na medição por multímetro



Erro de implementação/plataforma

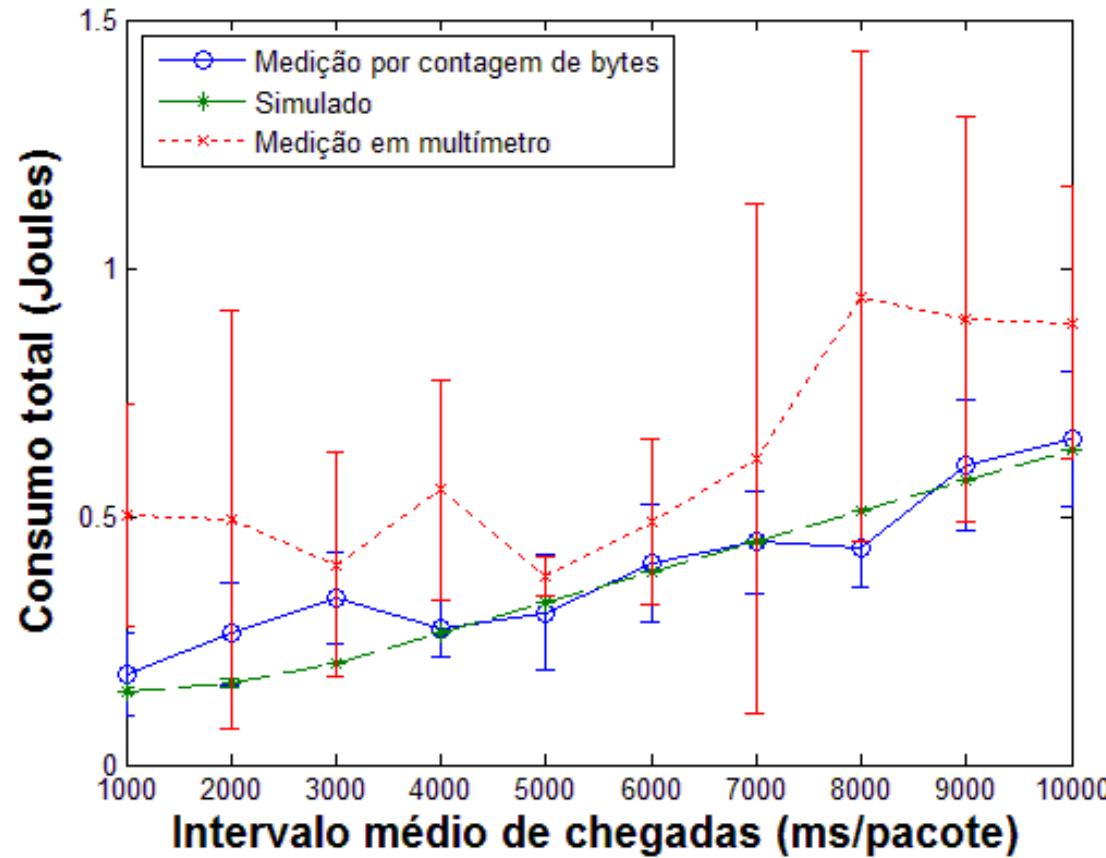
Erro de transmissão do multímetro para MATLAB

Perda de sincronismo – Erro

Perda de sincronismo – Fim do experimento

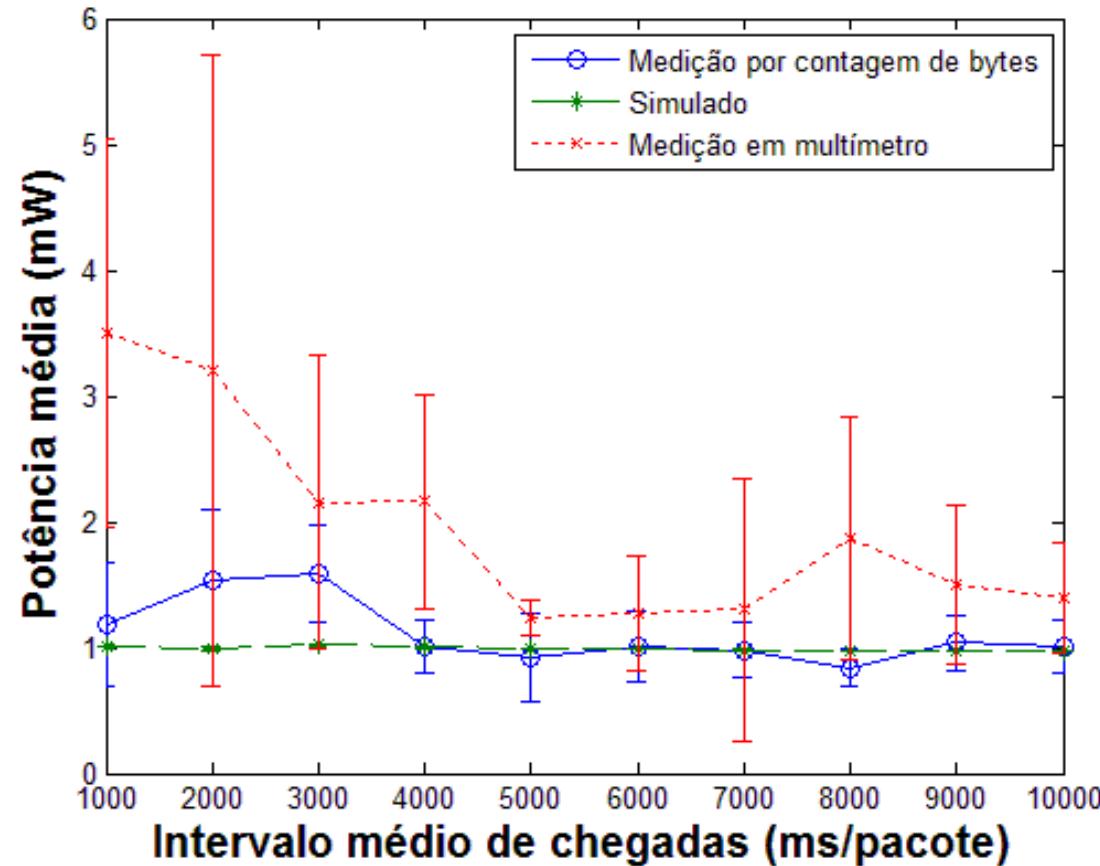


# Resultados dos experimentos – Validação: Consumo de energia



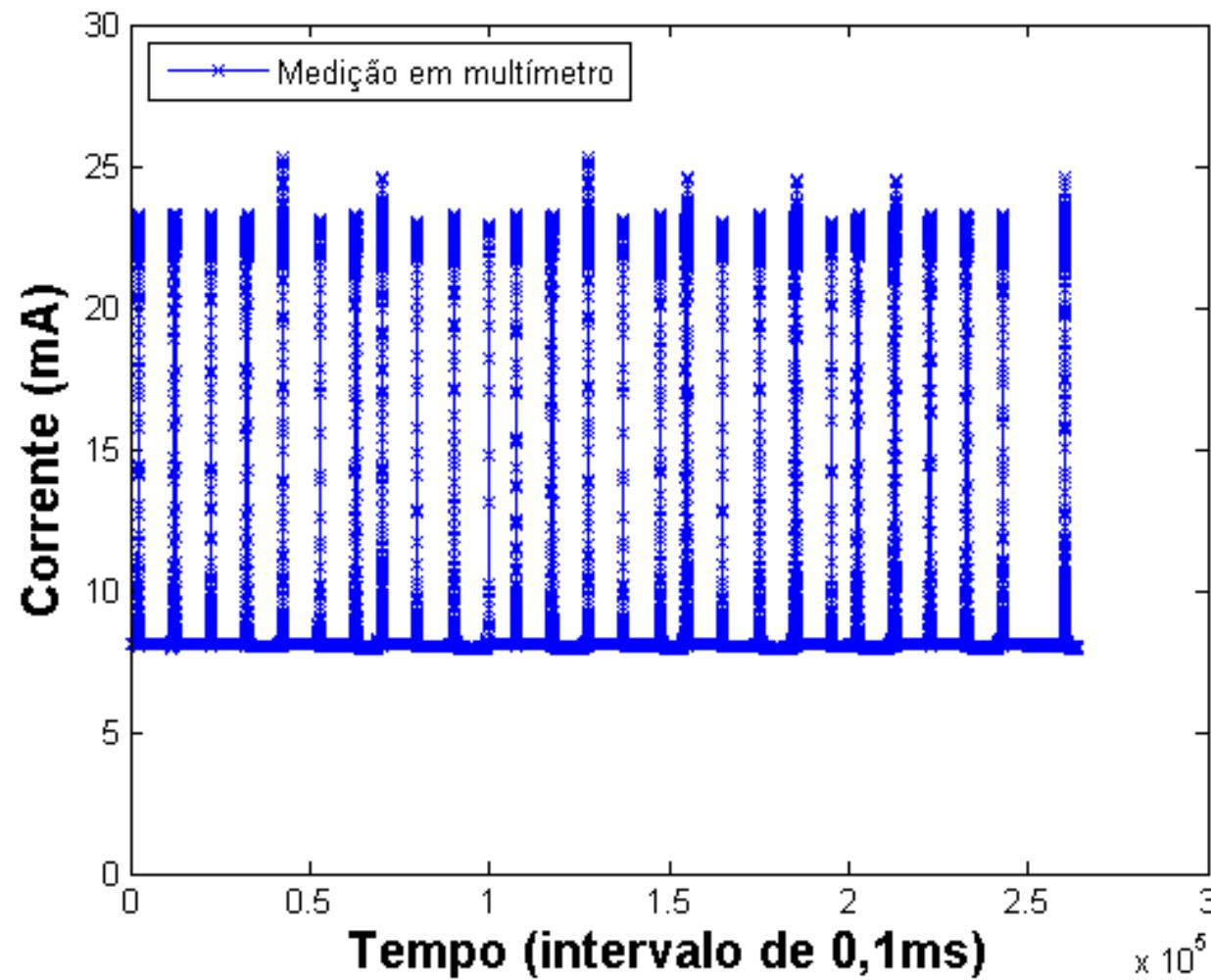
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Validação: Potência média consumida

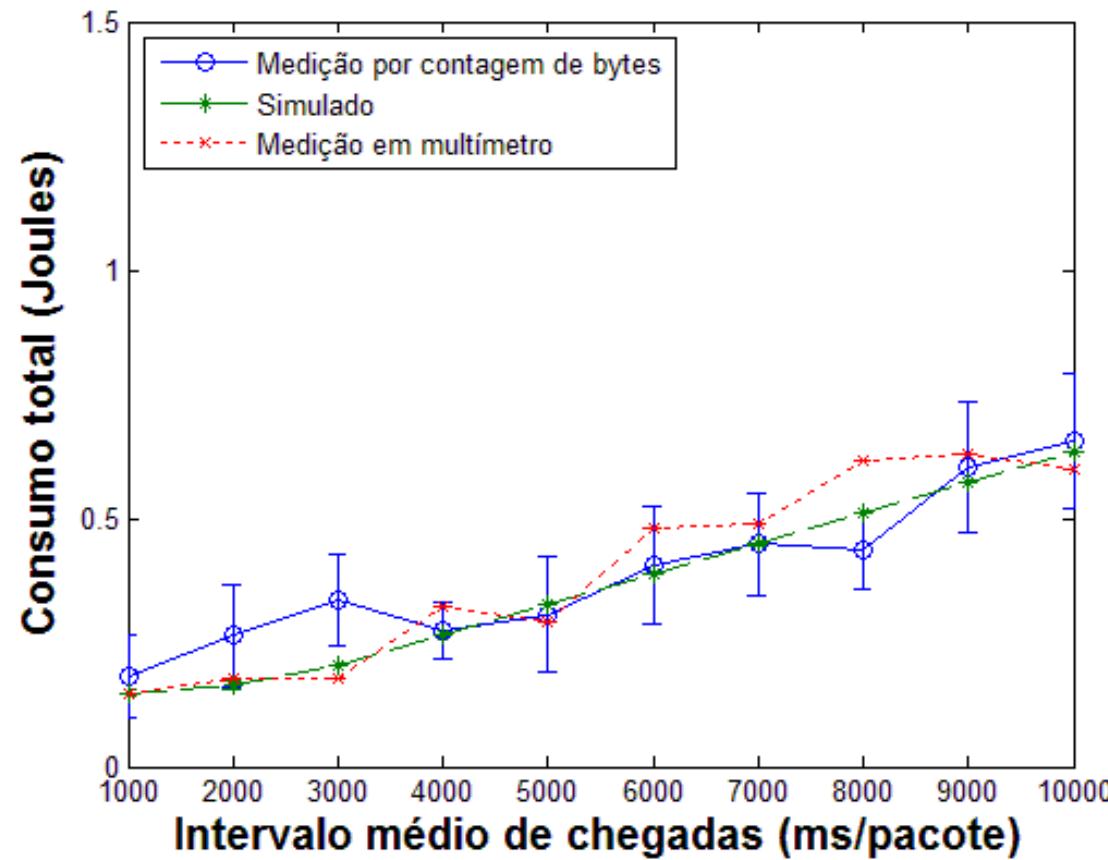


50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Pontos modificados para plataforma ideal

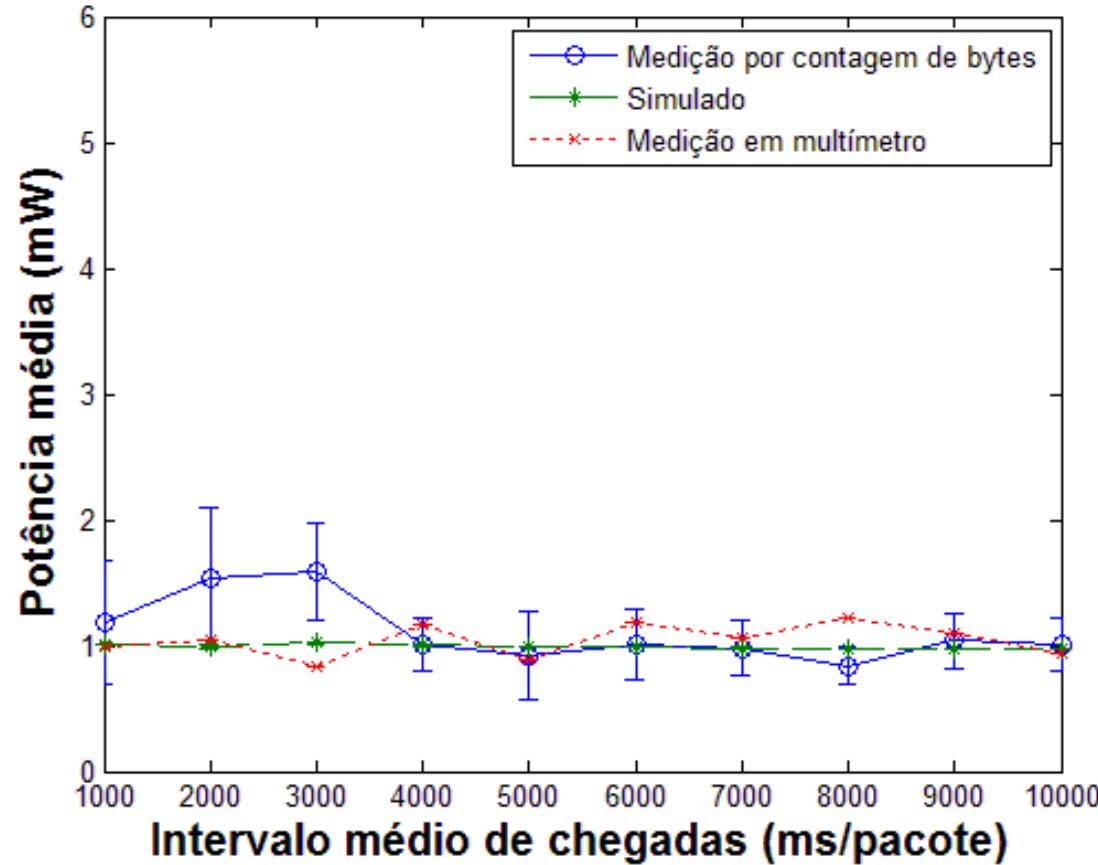


# Resultados dos experimentos – Ideal: Consumo de energia



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Validação: Potência média consumida



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada



# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros

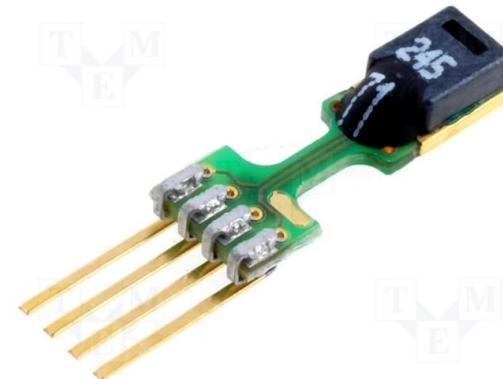


# Tempo de vida do módulo

- Considerando a situação:
  - Medição temperatura de uma sala
  - Taxa de aquisição de 5 segundos
  - 8 módulos na sala
  - Processador consumindo 25,51mW



## Tempo de vida e dados transmitidos – Estimativa baseada em resultados:



SHT71 (SENSIRION, 2011), consumes 90 W

DyTEE

≈

**9,73 days**  
**18,84 MB**

25,6%>

S-MAC

≈

**7,75 days**  
**15,31 MB**



# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Conclusão

- Melhores resultados do que o S-MAC e IEEE 802.15.4
  - Latência, vazão e principalmente consumo de energia
- Baixa complexidade
  - Implementado em Zigbit (ATZB-24-A2 com ATMEGA 128I)
  - Implementação do DyTEE (33,77 Kbytes) menor do que IEEE 802.15.4 (37,96 Kbytes)
- Longo tempo de vida quanto ao consumo de bateria



# Sumário da apresentação

- Introdução
- Objetivos
- Aspectos relevantes, trabalhos relacionados e motivação
- DyTEE
- Metodologia
  - Simulação
  - Escolha da plataforma
  - Obtenção de resultados
- Resultados
  - Simulações, topologia, parâmetros
    - Parâmetros do artigo S-MAC (MICA, topologia linear)
    - Parâmetros Atualizados (Zigbit, topologia estrela)
  - Experimento em módulos reais, topologia e parâmetros:
    - Por contagem de bytes
    - Por medição em multímetro
  - Tempo de vida do módulo
- Conclusão
- Trabalhos futuros



# Trabalhos futuros

- Implementar o DyTEE em outras plataformas
- Estudar maior redução de cabeçalho
- Testar em aplicação realmente operante
- Comparar com mais protocolos
- Desenvolver uma integração entre camadas (protocolo multi camada)
- Aprimorar redução em sistemas com baixo congestionamento



# Obrigado!

## Agradecimentos



**Laboratório de Automação e Robótica**



**Grupo de Pesquisa em Redes Avançadas sem Fio**



**Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação**

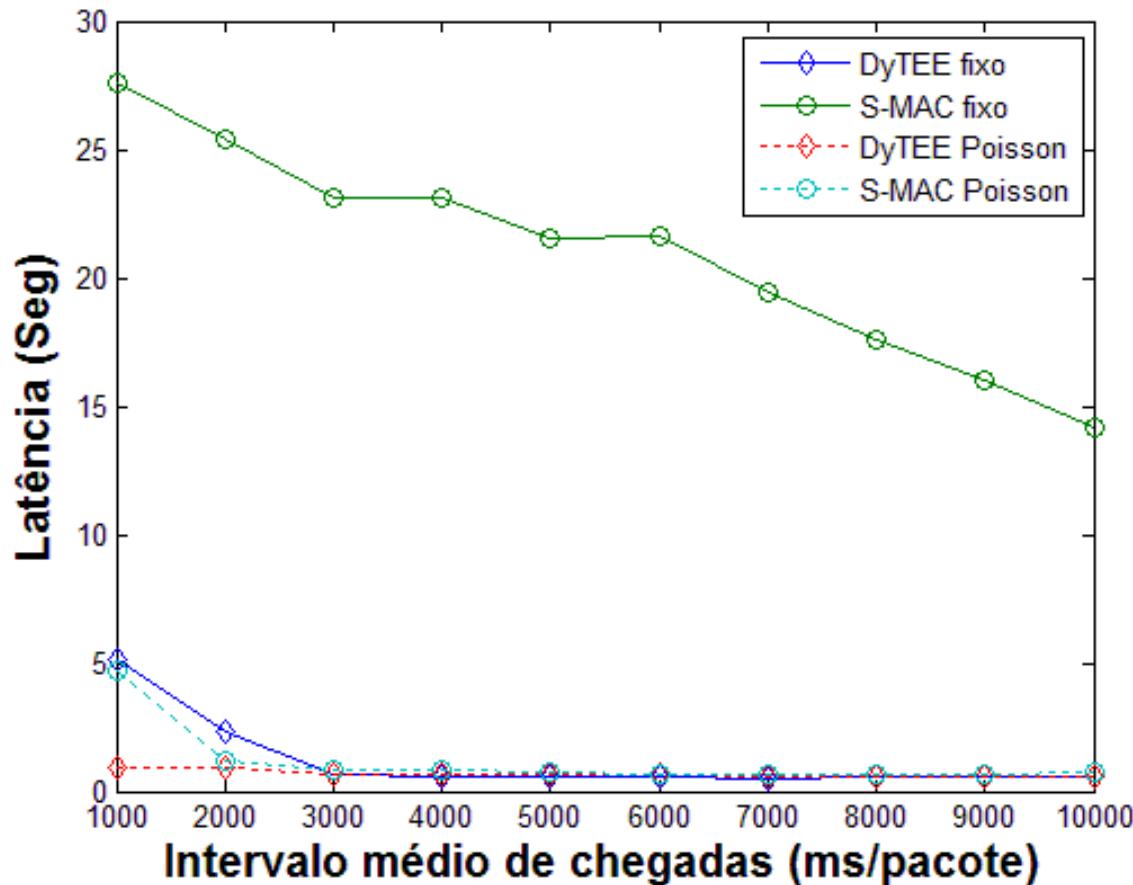


**Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior**



**Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico**

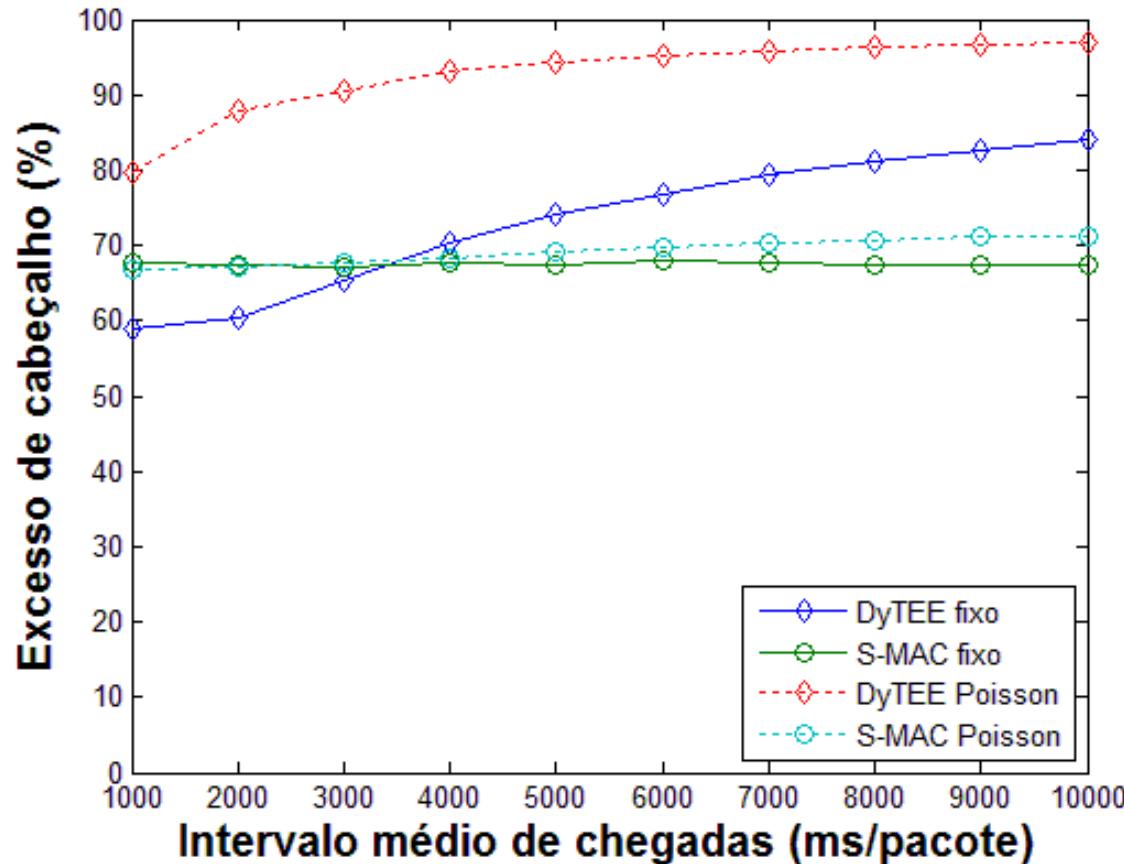
# Simulações – Estrela: Latência



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

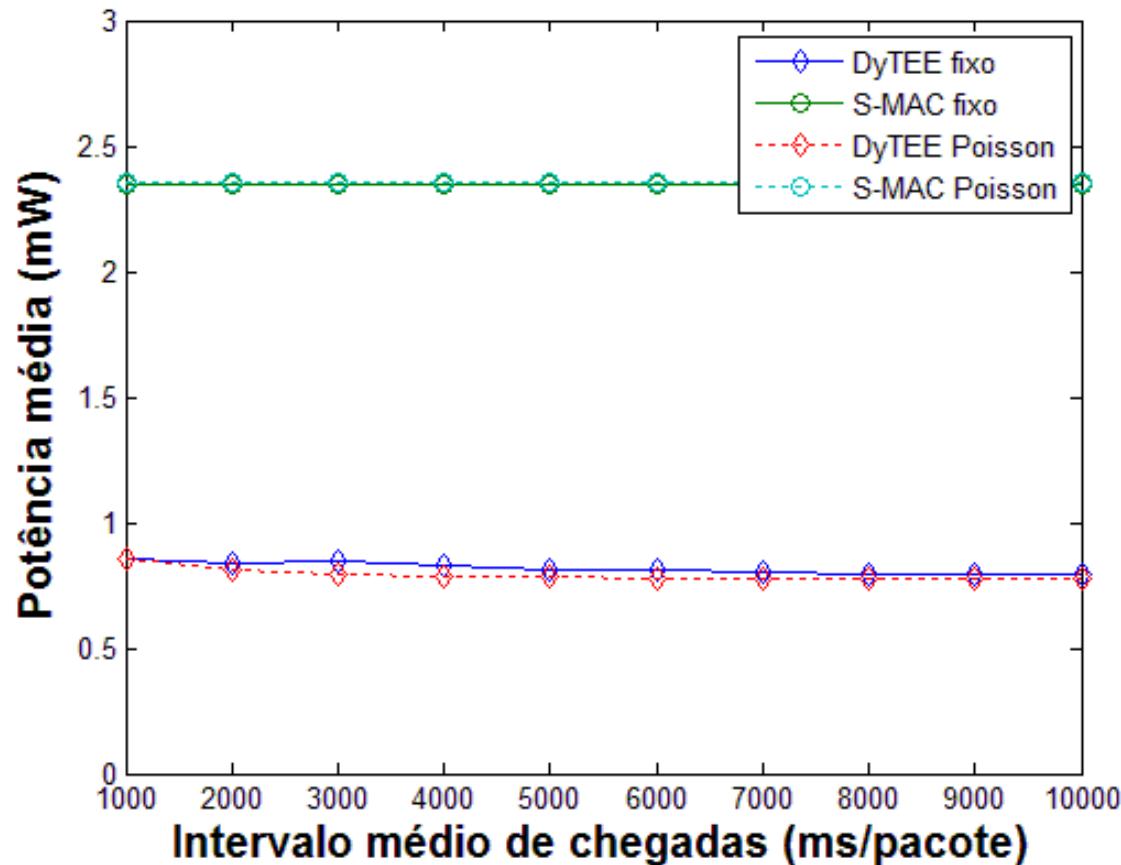


# Simulações – Estrela: Excesso de cabeçalho



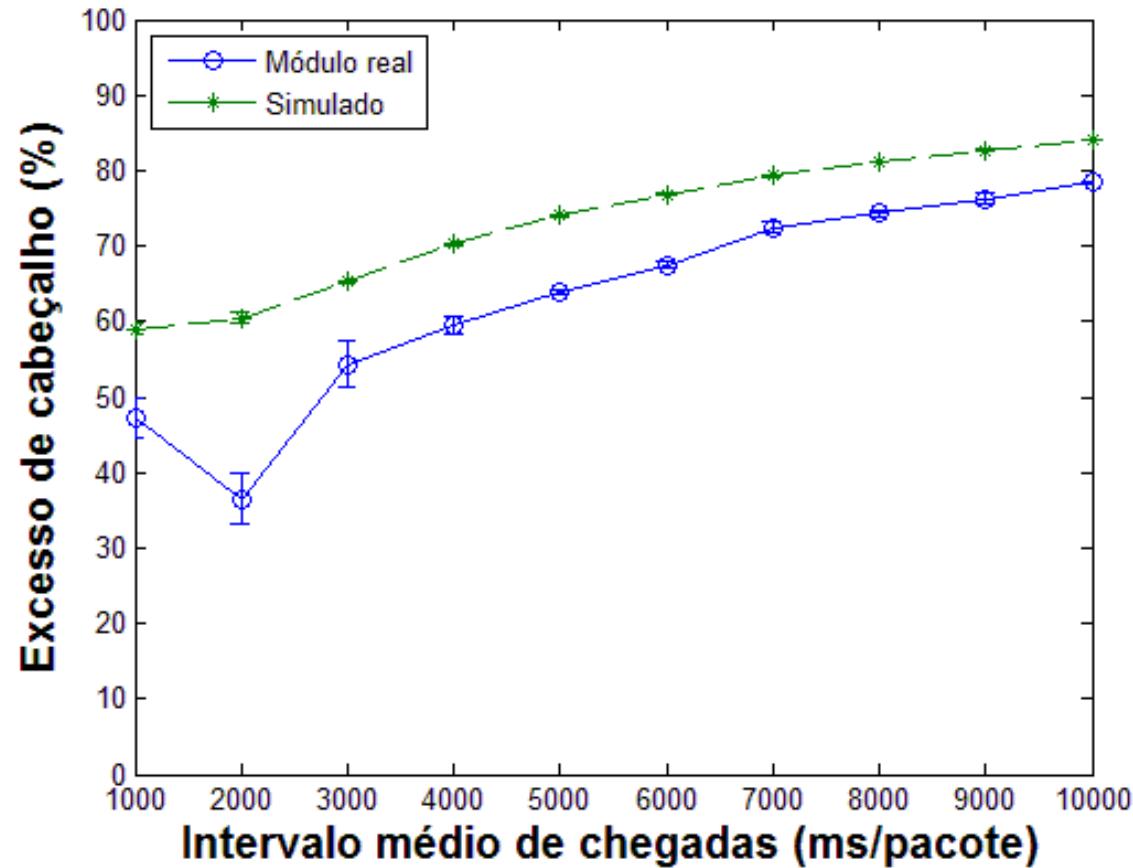
50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Simulações – Estrela: Potência média consumida



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Validação: Excesso de cabeçalho



50 mensagens enviadas com 20 Bytes cada

# Resultados dos experimentos – Medição por multímetro: IEEE 802.15.4

