

# Redes de Sensores sem Fios

Alejandro C. Frery

Instituto de Computação  
Universidade Federal de Alagoas

CBPF

21 de novembro de 2007



# Objetivos

- Apresentar a área das Redes de Sensores sem Fios
- Identificar alguns dos inúmeros problemas e desafios que essas entidades oferecem



# Resumo

- 1 **Introdução**
- 2 Modelos e Definições
- 3 Funcionamento
- 4 Exemplo
  - O campo gaussiano
  - A distribuição espacial dos sensores
  - Amostragem e Reconstrução
- 5 Desafios



# Motivação

- ➡ Avanços na comunicação sem fios e em eletrônica levaram ao uso de redes de sensores sem fios (RSSF) em inúmeras aplicações: vigilância de lugares públicos, monitoramento ambiental, aplicações militares, casas inteligentes e saúde entre outras.
- ➡ Há inúmeros problemas teóricos, práticos e tecnológicos que demandam novas soluções.



# Descrição

Seguindo o artigo clássico de Akyildiz et al. (2002):

- ✓ Há um fenômeno de interesse a ser monitorado em um ambiente bem definido (pedestres e carros em um cruzamento, temperatura em uma fábrica, animais em uma floresta, concentração de poluentes em um curso d'água etc.
- ✓ A observação direta do fenômeno pode ser custosa, perigosa ou inviável, portanto,
- ✓ colocam-se dispositivos capazes de medir o fenômeno, de forma densa no ambiente, chamados *nós sensores*.



# Descrição

Seguindo o artigo clássico de Akyildiz et al. (2002):

- ✓ Há um fenômeno de interesse a ser monitorado em um ambiente bem definido (pedestres e carros em um cruzamento, temperatura em uma fábrica, animais em uma floresta, concentração de poluentes em um curso d'água etc.
- ✓ A observação direta do fenômeno pode ser custosa, perigosa ou inviável, portanto,
- ✓ colocam-se dispositivos capazes de medir o fenômeno, de forma densa no ambiente, chamados *nós sensores*.



# Descrição

Seguindo o artigo clássico de Akyildiz et al. (2002):

- ✓ Há um fenômeno de interesse a ser monitorado em um ambiente bem definido (pedestres e carros em um cruzamento, temperatura em uma fábrica, animais em uma floresta, concentração de poluentes em um curso d'água etc.
- ✓ A observação direta do fenômeno pode ser custosa, perigosa ou inviável, portanto,
- ✓ colocam-se dispositivos capazes de medir o fenômeno, de forma densa no ambiente, chamados *nós sensores*.



# Nós Sensores

Os sensores possuem as seguintes propriedades básicas:

- Cada sensor carrega sua fonte de alimentação, tipicamente de energia finita.
- Ele é capaz de processar e de transmitir dados.
- A sua capacidade de processamento e a sua memória são limitadas.
- A localização não é necessariamente controlada.



# Nós Sensores

Os sensores possuem as seguintes propriedades básicas:

- Cada sensor carrega sua fonte de alimentação, tipicamente de energia finita.
- Ele é capaz de processar e de transmitir dados.
- A sua capacidade de processamento e a sua memória são limitadas.
- A localização não é necessariamente controlada.



# Nós Sensores

Os sensores possuem as seguintes propriedades básicas:

- Cada sensor carrega sua fonte de alimentação, tipicamente de energia finita.
- Ele é capaz de processar e de transmitir dados.
- A sua capacidade de processamento e a sua memória são limitadas.
- A localização não é necessariamente controlada.



# Nós Sensores

Os sensores possuem as seguintes propriedades básicas:

- Cada sensor carrega sua fonte de alimentação, tipicamente de energia finita.
- Ele é capaz de processar e de transmitir dados.
- A sua capacidade de processamento e a sua memória são limitadas.
- A localização não é necessariamente controlada.



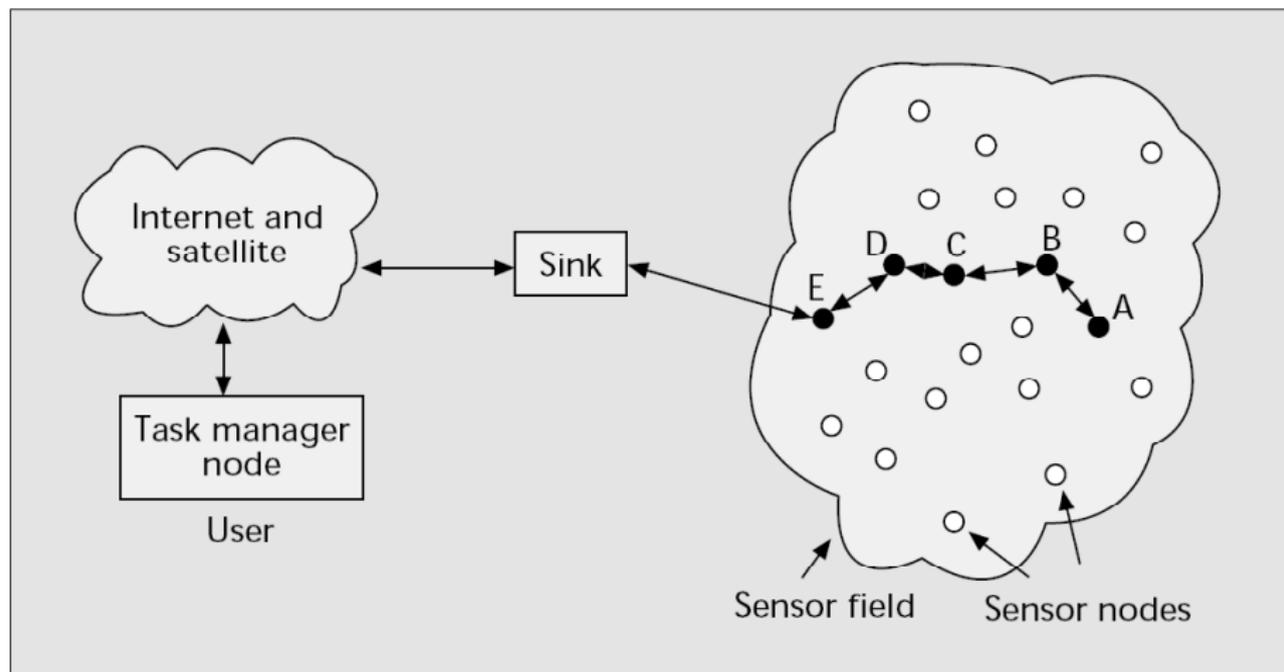
# Agrupamento e Coleta de Dados

Além dos nós sensores, podem ser colocados alguns dispositivos capazes de fazer algum tipo de gerenciamento global em grupos (*clusters*) de sensores: os *cluster heads*.

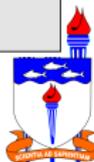
As informações coletadas são repassadas a um nó central (*sink*) para a tomada de decisões.



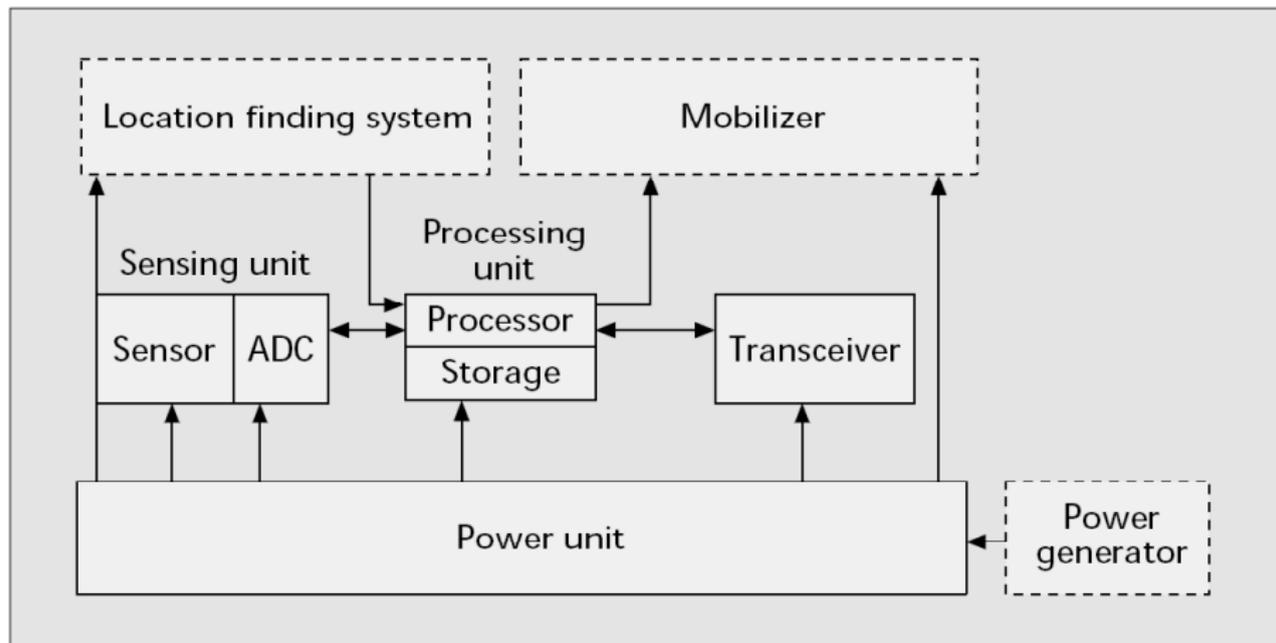
# Esquema



**Figura:** Esquema de uma RSSF (Fonte: Akyildiz et al., 2002)



# Anatomia de um nó sensor



**Figura:** Elementos de um nó sensor (Fonte: Akyildiz et al., 2002)



# O que se espera das RSSF?

- Bom funcionamento: levar a decisões acertadas
- Comportamento adaptativo em condições dinâmicas
- Baixo custo (tipicamente, dispositivos descartáveis)
- Longa vida da capacidade de monitoramento, não necessariamente dos indivíduos
- Uso de protocolos de comunicação para aumentar o tempo de monitoramento e a qualidade das informações coletadas



# O que se espera das RSSF?

- Bom funcionamento: levar a decisões acertadas
- Comportamento adaptativo em condições dinâmicas
- Baixo custo (tipicamente, dispositivos descartáveis)
- Longa vida da capacidade de monitoramento, não necessariamente dos indivíduos
- Uso de protocolos de comunicação para aumentar o tempo de monitoramento e a qualidade das informações coletadas



# O que se espera das RSSF?

- Bom funcionamento: levar a decisões acertadas
- Comportamento adaptativo em condições dinâmicas
- Baixo custo (tipicamente, dispositivos descartáveis)
- Longa vida da capacidade de monitoramento, não necessariamente dos indivíduos
- Uso de protocolos de comunicação para aumentar o tempo de monitoramento e a qualidade das informações coletadas



# O que se espera das RSSF?

- Bom funcionamento: levar a decisões acertadas
- Comportamento adaptativo em condições dinâmicas
- Baixo custo (tipicamente, dispositivos descartáveis)
- Longa vida da capacidade de monitoramento, não necessariamente dos indivíduos
- Uso de protocolos de comunicação para aumentar o tempo de monitoramento e a qualidade das informações coletadas



# O que se espera das RSSF?

- Bom funcionamento: levar a decisões acertadas
- Comportamento adaptativo em condições dinâmicas
- Baixo custo (tipicamente, dispositivos descartáveis)
- Longa vida da capacidade de monitoramento, não necessariamente dos indivíduos
- Uso de protocolos de comunicação para aumentar o tempo de monitoramento e a qualidade das informações coletadas



# Resumo

- 1 Introdução
- 2 Modelos e Definições**
- 3 Funcionamento
- 4 Exemplo
  - O campo gaussiano
  - A distribuição espacial dos sensores
  - Amostragem e Reconstrução
- 5 Desafios



# Uma forma de ver as RSSF I

A seguinte formalização foi apresentada por Frery et al. (2008). Uma RSSF pode ser modelada segundo o seguinte diagrama:

$$\begin{array}{ccccccc}
 \mathcal{N} & \xrightarrow{F} & V^* & \xrightarrow{S} & V & \xrightarrow{R} & D \\
 & & \downarrow R^* & & \downarrow \Psi & & \\
 & & D^* & & V' & \xrightarrow{R'} & D'
 \end{array}$$

onde  $\mathcal{N}$  denota o ambiente e o processo sob observação,  $F$  o fenômeno de interesse, com  $V^*$  seu domínio espaço-temporal.

Se fosse possível fazer observações sem ruído e completas, seriam formuladas regras ideais  $R^*$  que redundariam em decisões ideais  $D^*$ .

Ao invés disso, temos  $n$  sensores  $\mathbf{S} = (S_1, \dots, S_n)$ , cada um fazendo medições e informando com valores em  $V_i$ ; o conjunto de todos os valores possíveis é  $V = (V_1, \dots, V_n)$ .



## Uma forma de ver as RSSF II

Com esta informação são formadas as regras  $R$  que redundam nas decisões  $D$ .

Usar todos os dados coletados pode ser dispendioso e redundante; nessas situações, podem ser utilizadas técnicas de fusão de informações (Nakamura et al., 2007).

Denotadas com  $\Psi$ , essas técnicas produzem valores em  $V'$ ; e com essas novas informações, as novas regras e decisões são  $R'$  e  $D'$ , respectivamente. Idealmente,  $D'$  e  $D^*$  coincidem.

Vistas do ponto de vista da teoria de sinais,  $F$  é o sinal a ser analisado,  $S$  a estratégia de amostragem, e  $\Psi$  a reconstrução.



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ Ambiente
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ Ambiente
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ Ambiente
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➡ Tolerância a falhas
- ➡ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➡ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➡ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➡ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➡ Ambiente
- ➡ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➡ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ Ambiente
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ **Ambiente**
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ Ambiente
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação



# Variáveis de Projeto de RSSF

- ➔ Tolerância a falhas
- ➔ Escalabilidade (aplicações com  $10^2$  até  $10^6$  nós sensores)
- ➔ Custos de produção (já há sensores de menos de 1 U\$)
- ➔ Limitações de hardware (o que pode fazer e durante quanto tempo)
- ➔ Topologia da rede de sensores: localização ou distribuição, configuração dinâmica, acréscimo de novos sensores à rede
- ➔ Ambiente
- ➔ Meio de transmissão: rádio, infra-vermelho, óptico
- ➔ Consumo de potência: percepção, processamento e comunicação

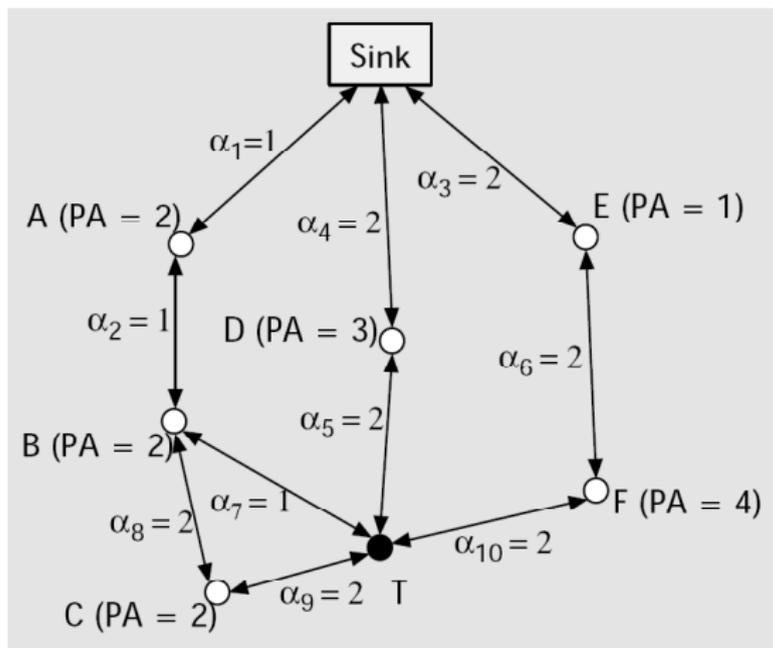


# Resumo

- 1 Introdução
- 2 Modelos e Definições
- 3 Funcionamento**
- 4 Exemplo
  - O campo gaussiano
  - A distribuição espacial dos sensores
  - Amostragem e Reconstrução
- 5 Desafios



# Estratégias de Roteamento



**Figura:** Critérios para escolha de rotas: potência disponível (PA), energia requerida ( $\alpha$ ) e comprimento em arcos (Fonte: Akyildiz et al., 2002)



# Roteamento por localização e dados

- Se houver vários sensores na mesma região, não envie todos os dados (*geographic-aware clustering*)
- Só envie a medição de sensores que observam temperaturas acima de 40 °C
- Se vários sensores estiverem medindo aproximadamente o mesmo valor, não envie todos os dados (*data-aware clustering*)



# Roteamento por localização e dados

- Se houver vários sensores na mesma região, não envie todos os dados (*geographic-aware clustering*)
- Só envie a medição de sensores que observam temperaturas acima de 40 °C
- Se vários sensores estiverem medindo aproximadamente o mesmo valor, não envie todos os dados (*data-aware clustering*)



# Roteamento por localização e dados

- ❑ Se houver vários sensores na mesma região, não envie todos os dados (*geographic-aware clustering*)
- ❑ Só envie a medição de sensores que observam temperaturas acima de 40 °C
- ❑ Se vários sensores estiverem medindo aproximadamente o mesmo valor, não envie todos os dados (*data-aware clustering*)



# Resumo

- 1 Introdução
- 2 Modelos e Definições
- 3 Funcionamento
- 4 Exemplo**
  - O campo gaussiano
  - A distribuição espacial dos sensores
  - Amostragem e Reconstrução
- 5 Desafios



# Estimação de Erro

O erro introduzido no processo de amostragem e reconstrução não tem sido aferido com detalhes na literatura, bem como a influência que a distribuição espacial dos sensores tem nesse fator de mérito.

Para responder parcialmente essas questões, em Frery et al. (2008) propomos um modelo de três componentes:

- 1 Um campo gaussiano para descrever o fenômeno de interesse  $F$
- 2 Um processo pontual capaz de modelar sensores agrupados, indiferentes e que se repelem
- 3 Duas estratégias de agrupamento de dados: os protocolos Leach (Heinzelman et al., 2002) e Skater (Reis et al., 2007)



# Estimação de Erro

O erro introduzido no processo de amostragem e reconstrução não tem sido aferido com detalhes na literatura, bem como a influência que a distribuição espacial dos sensores tem nesse fator de mérito.

Para responder parcialmente essas questões, em Frery et al. (2008) propomos um modelo de três componentes:

- 1 Um campo gaussiano para descrever o fenômeno de interesse  $F$
- 2 Um processo pontual capaz de modelar sensores agrupados, indiferentes e que se repelem
- 3 Duas estratégias de agrupamento de dados: os protocolos Leach (Heinzelman et al., 2002) e Skater (Reis et al., 2007)



# Estimação de Erro

O erro introduzido no processo de amostragem e reconstrução não tem sido aferido com detalhes na literatura, bem como a influência que a distribuição espacial dos sensores tem nesse fator de mérito.

Para responder parcialmente essas questões, em Frery et al. (2008) propomos um modelo de três componentes:

- 1 Um campo gaussiano para descrever o fenômeno de interesse  $F$
- 2 Um processo pontual capaz de modelar sensores agrupados, indiferentes e que se repelem
- 3 Duas estratégias de agrupamento de dados: os protocolos Leach (Heinzelman et al., 2002) e Skater (Reis et al., 2007)



- Escolhemos um campo gaussiano de média zero e função de covariância  $\exp\{-\mathbf{x}^s\}$ , onde  $s > 0$  é a escala que caracteriza o processo (Schlather, 1999).
- Os eventos são simulados utilizando a biblioteca RandomFields do pacote R.
- O tipo de fenômeno descrito é a luminosidade no solo de uma floresta.



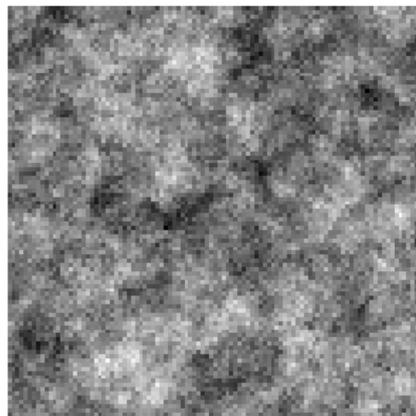
- Escolhemos um campo gaussiano de média zero e função de covariância  $\exp\{-\mathbf{x}^s\}$ , onde  $s > 0$  é a escala que caracteriza o processo (Schlather, 1999).
- Os eventos são simulados utilizando a biblioteca `RandomFields` do pacote `R`.
- O tipo de fenômeno descrito é a luminosidade no solo de uma floresta.



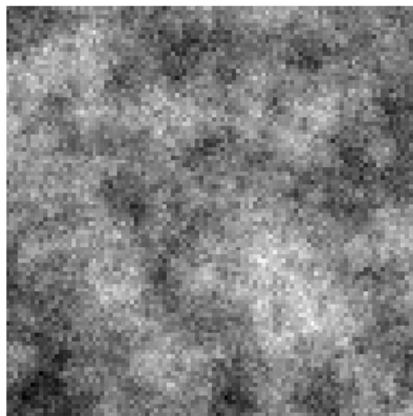
- Escolhemos um campo gaussiano de média zero e função de covariância  $\exp\{-\mathbf{x}^s\}$ , onde  $s > 0$  é a escala que caracteriza o processo (Schlather, 1999).
- Os eventos são simulados utilizando a biblioteca `RandomFields` do pacote `R`.
- O tipo de fenômeno descrito é a luminosidade no solo de uma floresta.



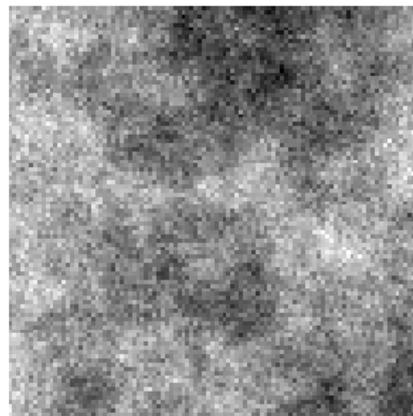
# Amostras do fenômeno



(a)  $s = 5$



(b)  $s = 10$



(c)  $s = 20$

**Figura:** Três eventos típicos



# Processo pontual para localização de sensores

Imaginou-se a situação de distribuir os sensores de quatro maneiras diferentes:

- 1 Idealmente: de forma regular e igualmente espaçada cobrindo toda a área
- 2 Próximo ao caso anterior, mas com flutuações aleatórias, como se despejados de um avião voando a baixa altitude
- 3 Sem controle sobre a localização, como se despejados de um avião voando a grande altitude
- 4 Com sensores agrupados em pequenas regiões, como se só os que chegam em terreno seco sobrevivessem



# Processo pontual para localização de sensores

Imaginou-se a situação de distribuir os sensores de quatro maneiras diferentes:

- 1 Idealmente: de forma regular e igualmente espaçada cobrindo toda a área
- 2 Próximo ao caso anterior, mas com flutuações aleatórias, como se despejados de um avião voando a baixa altitude
- 3 Sem controle sobre a localização, como se despejados de um avião voando a grande altitude
- 4 Com sensores agrupados em pequenas regiões, como se só os que chegam em terreno seco sobrevivessem



# Processo pontual para localização de sensores

Imaginou-se a situação de distribuir os sensores de quatro maneiras diferentes:

- 1 Idealmente: de forma regular e igualmente espaçada cobrindo toda a área
- 2 Próximo ao caso anterior, mas com flutuações aleatórias, como se despejados de um avião voando a baixa altitude
- 3 Sem controle sobre a localização, como se despejados de um avião voando a grande altitude
- 4 Com sensores agrupados em pequenas regiões, como se só os que chegam em terreno seco sobrevivessem



# Processo pontual para localização de sensores

Imaginou-se a situação de distribuir os sensores de quatro maneiras diferentes:

- 1 Idealmente: de forma regular e igualmente espaçada cobrindo toda a área
- 2 Próximo ao caso anterior, mas com flutuações aleatórias, como se despejados de um avião voando a baixa altitude
- 3 Sem controle sobre a localização, como se despejados de um avião voando a grande altitude
- 4 Com sensores agrupados em pequenas regiões, como se só os que chegam em terreno seco sobrevivessem



# Modelo de processo pontual

Foi montado um processo pontual “por partes” na região  $E = [0, 100]^2$ :

$$C(n, a) = \begin{cases} M(n, e^a) & \text{se } a < 0 \\ B(n) & \text{se } 0 \leq a \leq 1 \\ S(n, a) & \text{se } a > 1, \end{cases}$$

onde  $a \in \mathbb{R}$  descreve a atratividade dos sensores, e

- $M(n, r, E)$  é um processo sequencial de inibição espacial de Matérn, onde os pontos são os centros de (até)  $n$  discos de raio  $r$ ;
- $B(n)$  é um processo binomial de  $n$  pontos independentes; e
- $S(n, a)$  é a junção de dois processos binomiais independentes: um de  $an_0$  pontos em  $E' = [0, 25]^2$  e outro de  $n_0 = n/(1+a)$  pontos em  $E \setminus E'$  (assim,  $n_0 + an_0 = n$ ).



# Modelo de processo pontual

Foi montado um processo pontual “por partes” na região  $E = [0, 100]^2$ :

$$C(n, a) = \begin{cases} M(n, e^a) & \text{se } a < 0 \\ B(n) & \text{se } 0 \leq a \leq 1 \\ S(n, a) & \text{se } a > 1, \end{cases}$$

onde  $a \in \mathbb{R}$  descreve a atratividade dos sensores, e

- $M(n, r, E)$  é um processo sequencial de inibição espacial de Matérn, onde os pontos são os centros de (até)  $n$  discos de raio  $r$ ;
- $B(n)$  é um processo binomial de  $n$  pontos independentes; e
- $S(n, a)$  é a junção de dois processos binomiais independentes: um de  $an_0$  pontos em  $E' = [0, 25]^2$  e outro de  $n_0 = n/(1+a)$  pontos em  $E \setminus E'$  (assim,  $n_0 + an_0 = n$ ).



# Modelo de processo pontual

Foi montado um processo pontual “por partes” na região  $E = [0, 100]^2$ :

$$C(n, a) = \begin{cases} M(n, e^a) & \text{se } a < 0 \\ B(n) & \text{se } 0 \leq a \leq 1 \\ S(n, a) & \text{se } a > 1, \end{cases}$$

onde  $a \in \mathbb{R}$  descreve a atratividade dos sensores, e

- $M(n, r, E)$  é um processo sequencial de inibição espacial de Matérn, onde os pontos são os centros de (até)  $n$  discos de raio  $r$ ;
- $B(n)$  é um processo binomial de  $n$  pontos independentes; e
- $S(n, a)$  é a junção de dois processos binomiais independentes: um de  $an_0$  pontos em  $E' = [0, 25]^2$  e outro de  $n_0 = n/(1+a)$  pontos em  $E \setminus E'$  (assim,  $n_0 + an_0 = n$ ).



# Amostras da distribuição espacial de pontos

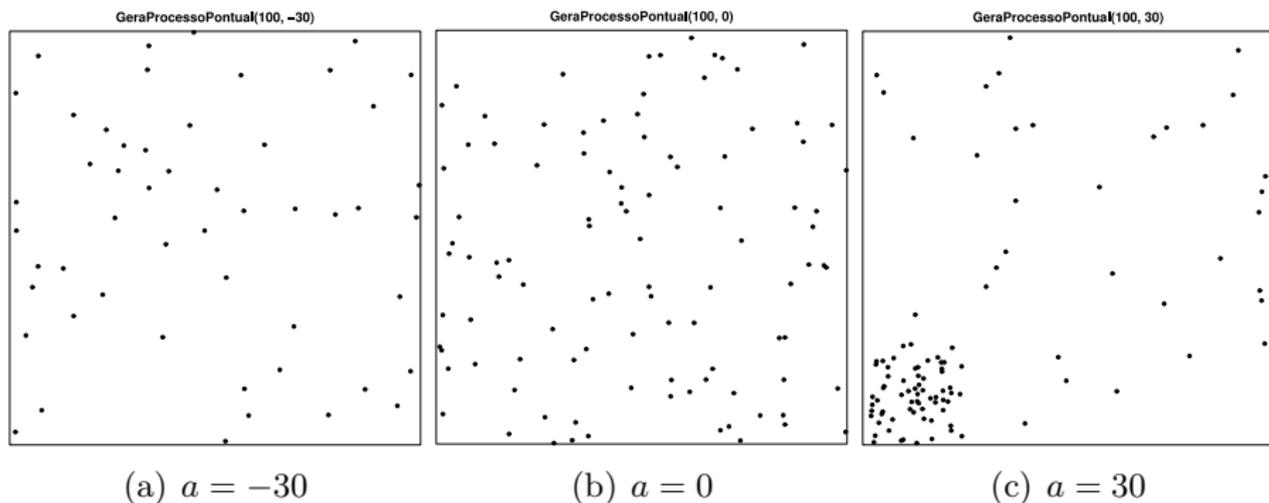


Figura: Três eventos típicos



# Amostragem e reconstrução do sinal

- Dados o sinal  $f$  e a distribuição espacial dos sensores, definimos que cada sensor será responsável por capturar a média nos pontos de  $E$  que são mais próximos dele, i.e., na sua célula de Voronoi.
- Esta é uma aproximação otimista, porém um bom ponto de partida para o estudo.
- Feita a amostragem, são aplicadas duas técnicas de agrupamento antes de enviar o sinal: Leach (que leva em conta apenas a vizinhança espacial dos sensores) e Skater (que, além disso, agrupa sensores que estão observando valores similares).



# Amostragem e reconstrução do sinal

- Dados o sinal  $f$  e a distribuição espacial dos sensores, definimos que cada sensor será responsável por capturar a média nos pontos de  $E$  que são mais próximos dele, i.e., na sua célula de Voronoi.
- Esta é uma aproximação otimista, porém um bom ponto de partida para o estudo.
- Feita a amostragem, são aplicadas duas técnicas de agrupamento antes de enviar o sinal: Leach (que leva em conta apenas a vizinhança espacial dos sensores) e Skater (que, além disso, agrupa sensores que estão observando valores similares).

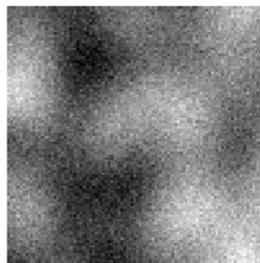


# Amostragem e reconstrução do sinal

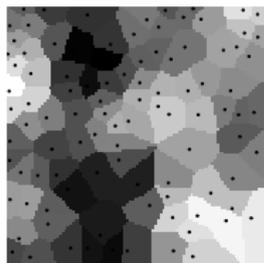
- Dados o sinal  $f$  e a distribuição espacial dos sensores, definimos que cada sensor será responsável por capturar a média nos pontos de  $E$  que são mais próximos dele, i.e., na sua célula de Voronoi.
- Esta é uma aproximação otimista, porém um bom ponto de partida para o estudo.
- Feita a amostragem, são aplicadas duas técnicas de agrupamento antes de enviar o sinal: Leach (que leva em conta apenas a vizinhança espacial dos sensores) e Skater (que, além disso, agrupa sensores que estão observando valores similares).



# Um fenômeno, duas distribuições de pontos I



(a)  $s = 20$



(b)  $a = -30$



(c) Leach

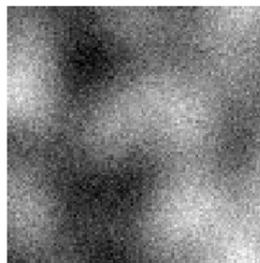


(d) Skater

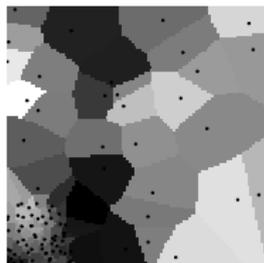
**Figura:** Fenômeno, amostragem e reconstrução



# Um fenômeno, duas distribuições de pontos II



(a)  $s = 20$



(b)  $a = 30$



(c) Leach



(d) Skater

**Figura:** Fenômeno, amostragem e reconstrução



# Erros

O valor absoluto de dois erros relativos é estimado:

$$\epsilon_1 = \int_E |(f - CM)/f|$$

onde  $f \neq 0$ , e

$$\epsilon_2 = \int_E |(S - CM)/S|,$$

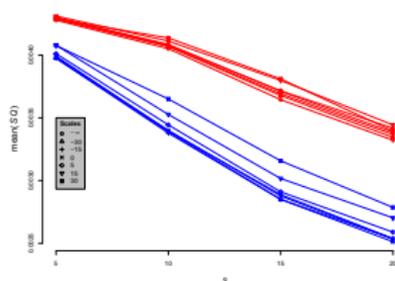
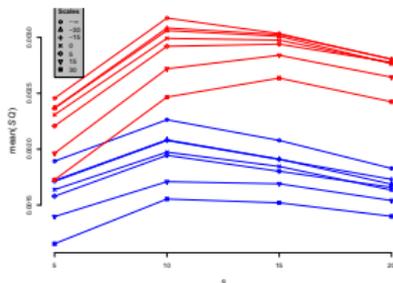
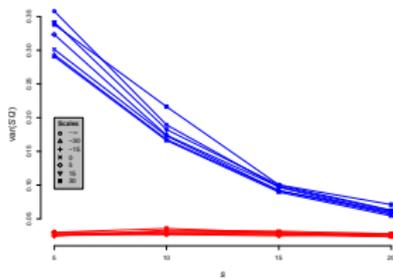
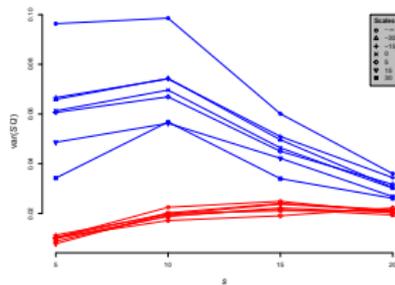
se  $S \neq 0$ , onde  $CM$  é a reconstrução pela média do cluster, e  $S$  é o dado amostrado na célula de Voronoi.

A primeira é uma medida mais exigente, ou pessimista, do que a segunda.

Foram feitas estimações Monte Carlo.



# Resultados: Leach em vermelho, Skater em azul

(a) Média  $\epsilon_1$  vs.  $s$ (b) Média  $\epsilon_2$  vs.  $s$ (c) Variância  $\epsilon_1$  vs.  $s$ (d) Variância  $\epsilon_2$  vs.  $s$ 

# Conclusões

- Há, de fato, dependência do comportamento do processo em relação à distribuição espacial de sensores, relação antes não estudada na literatura de RSSF.
- A função de amostragem, isto é, a média sobre as células de Voronoi, é excessivamente otimista e mascara o erro introduzido pelo processo de observação.



# Conclusões

- Há, de fato, dependência do comportamento do processo em relação à distribuição espacial de sensores, relação antes não estudada na literatura de RSSF.
- A função de amostragem, isto é, a média sobre as células de Voronoi, é excessivamente otimista e mascara o erro introduzido pelo processo de observação.



# Informações computacionais

Cada estimativa é baseada em cem replicações, que demandam aproximadamente cinco minutos de trabalho de uma CPU Intel Core 2 Duo de 2 GHz com 2 GB de memória RAM.

Foi utilizado um cluster de quarenta-e-oito processadores, tomando especial cuidado com o tratamento das sementes.

O estudo envolve a comunicação de códigos em C e R, além de bibliotecas de gerenciamento de processamento distribuído.



# Resumo

- 1 Introdução
- 2 Modelos e Definições
- 3 Funcionamento
- 4 Exemplo
  - O campo gaussiano
  - A distribuição espacial dos sensores
  - Amostragem e Reconstrução
- 5 **Desafios**



# Alguns desafios I

- ✓ Estudar o erro em modelos mais realistas, por exemplo substituindo as células de Voronoi por funções características de sensores reais (dissertação de Alencar)
- ✓ Utilizar processos pontuais marcados para descrever o funcionamento de RSSFs: cada sensor possui uma localização, uma potência disponível (que vai decaindo com o tempo), e um contexto para medir uma certa função
- ✓ Modelar fenômenos multivariados
- ✓ Utilizar dinâmicas para o processo sob observação e para a localização dos sensores (sensores móveis: robôs)
- ✓ Calcular o número de sensores e a estratégia ótimos para observar fenômenos dinâmicos com um certo erro máximo tolerável



# Alguns desafios I

- ✓ Estudar o erro em modelos mais realistas, por exemplo substituindo as células de Voronoi por funções características de sensores reais (dissertação de Alencar)
- ✓ Utilizar processos pontuais marcados para descrever o funcionamento de RSSFs: cada sensor possui uma localização, uma potência disponível (que vai decaindo com o tempo), e um contexto para medir uma certa função
- ✓ Modelar fenômenos multivariados
- ✓ Utilizar dinâmicas para o processo sob observação e para a localização dos sensores (sensores móveis: robôs)
- ✓ Calcular o número de sensores e a estratégia ótimos para observar fenômenos dinâmicos com um certo erro máximo tolerável



# Alguns desafios I

- ✓ Estudar o erro em modelos mais realistas, por exemplo substituindo as células de Voronoi por funções características de sensores reais (dissertação de Alencar)
- ✓ Utilizar processos pontuais marcados para descrever o funcionamento de RSSFs: cada sensor possui uma localização, uma potência disponível (que vai decaindo com o tempo), e um contexto para medir uma certa função
- ✓ **Modelar fenômenos multivariados**
- ✓ Utilizar dinâmicas para o processo sob observação e para a localização dos sensores (sensores móveis: robôs)
- ✓ Calcular o número de sensores e a estratégia ótimos para observar fenômenos dinâmicos com um certo erro máximo tolerável



# Alguns desafios I

- ✓ Estudar o erro em modelos mais realistas, por exemplo substituindo as células de Voronoi por funções características de sensores reais (dissertação de Alencar)
- ✓ Utilizar processos pontuais marcados para descrever o funcionamento de RSSFs: cada sensor possui uma localização, uma potência disponível (que vai decaindo com o tempo), e um contexto para medir uma certa função
- ✓ Modelar fenômenos multivariados
- ✓ Utilizar dinâmicas para o processo sob observação e para a localização dos sensores (sensores móveis: robôs)
- ✓ Calcular o número de sensores e a estratégia ótimos para observar fenômenos dinâmicos com um certo erro máximo tolerável



# Alguns desafios I

- ✓ Estudar o erro em modelos mais realistas, por exemplo substituindo as células de Voronoi por funções características de sensores reais (dissertação de Alencar)
- ✓ Utilizar processos pontuais marcados para descrever o funcionamento de RSSFs: cada sensor possui uma localização, uma potência disponível (que vai decaindo com o tempo), e um contexto para medir uma certa função
- ✓ Modelar fenômenos multivariados
- ✓ Utilizar dinâmicas para o processo sob observação e para a localização dos sensores (sensores móveis: robôs)
- ✓ Calcular o número de sensores e a estratégia ótimos para observar fenômenos dinâmicos com um certo erro máximo tolerável



# Alguns desafios I

- ✓ Empregar inferência em processos pontuais para construir regras decisórias mais eficazes
- ✓ Propor novos protocolos de funcionamento que levem em conta a localização espacial e os dados para otimizar o erro e o tempo de vida das RSSFs
- ✓ Propor novas técnicas de agregação de informações (sumarização de múltiplas câmeras, por exemplo)



# Alguns desafios I

- ✓ Empregar inferência em processos pontuais para construir regras decisórias mais eficazes
- ✓ Propor novos protocolos de funcionamento que levem em conta a localização espacial e os dados para otimizar o erro e o tempo de vida das RSSFs
- ✓ Propor novas técnicas de agregação de informações (sumarização de múltiplas câmeras, por exemplo)



# Alguns desafios I

- ✓ Empregar inferência em processos pontuais para construir regras decisórias mais eficazes
- ✓ Propor novos protocolos de funcionamento que levem em conta a localização espacial e os dados para otimizar o erro e o tempo de vida das RSSFs
- ✓ Propor novas técnicas de agregação de informações (sumarização de múltiplas câmeras, por exemplo)



# Referências I

- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cyirci, E. (2002), 'Wireless sensor networks: A survey', *Computer Networks* **38**(4), 393–422.
- Frery, A. C., Ramos, H., Alencar-Neto, J. & Nakamura, E. F. (2008), Error estimation in wireless sensor networks, *in* 'ACM Symposium on Applied Computing', ACM, Fortaleza, CE, Brazil.
- Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. & Balakrishnan, H. (2002), 'An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks', *IEEE Transactions on Wireless Communication* **1**, 660–670.
- Nakamura, E. F., Loureiro, A. A. F. & Frery, A. C. (2007), 'Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models and classifications', *ACM Computing Surveys* **39**(3), 9/1–55.



## Referências II

Reis, I. A., Câmara, G., Assunção, R. & Monteiro, A. M. V. (2007), Data-aware clustering for geosensor networks data collection, *in* ‘Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto’, Florianópolis, SC, Brazil, pp. 6059–6066. URL <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca/>.

Schlather, M. (1999), Introduction to positive definite functions and to unconditional simulation of random fields, Technical Report ST-99-10, Department of Mathematics and Statistics, Lancaster University, UK.



## Contato

Alejandro C. Frery

acfrery@pesquisador.cnpq.br

Instituto de Computação

Universidade Federal de Alagoas

