



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

**InteliCare – Infraestrutura de Telessaúde para Apoio a
Serviços de Atenção domiciliar baseada em Redes de Sensores
Sem fio e Sistemas Embarcados**

BRUNO MAIA DE MORAIS

JOÃO PESSOA - PB
AGOSTO DE 2012

BRUNO MAIA DE MORAIS

**InteliCare – Infraestrutura de Telessaúde para Apoio a
Serviços de Atenção domiciliar baseada em Redes de Sensores
Sem fio e Sistemas Embarcados**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Informática do Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba como
parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientadores: Prof. Dr. José Antônio Gomes de
Lima e Prof^ª. Dr^ª. Tatiana Aires Tavares

JOÃO PESSOA - PB
AGOSTO DE 2012

BRUNO MAIA DE MORAIS

**InteliCare – Infraestrutura de Telessaúde para Apoio a
Serviços de Atenção domiciliar baseada em Redes de Sensores
Sem fio e Sistemas Embarcados**

Orientadores:

Prof. Dr. José Antônio Gomes de Lima

Doutor pela Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – Brasil

Prof^a. Dr^a. Tatiana Aires Tavares

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal - Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antônio Carlos Cavalcanti

Doutor pelo Institut National Polytechnique de Grenoble
Grenoble – França

Prof. Dr. Christian Azambuja Pagot

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – Brasil

Prof. Dr. Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal - Brasil

Coordenador do Programa de Pós Graduação em Informática:

Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito

Doutor pela Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – Brasil

***“Buscai em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça e todas estas coisas
vos serão dadas em acréscimo.” Mt 6, 33***

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família e meus amigos que sempre são em minha vida apoio para todos os passos.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente a Deus por esta conquista pois é Dele que me vem todo o sustento para a vida.

Agradeço também aos meus orientadores Prof. Dr. José Antônio e Profa. Dra. Tatiana Aires pela oportunidade oferecida, pela dedicação, paciência e amizade depositados desde o início da realização deste trabalho.

A todos os membros do LASID (Laboratório de Sistemas Digitais) pelas experiências vividas ao longo da pesquisa e aos amigos que contribuíram direta e indiretamente para conclusão deste trabalho.

A Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma infraestrutura de monitoramento para pessoas em situação de internação domiciliar através da integração de redes de sensores sem fio e processamento de dados em sistemas embarcados, possibilitando um acompanhamento em tempo de execução (online) do quadro clínico de cada paciente. Para realizar a telemetria online, uma rede de sensores com tecnologia ZigBee, foi montada e alguns sinais biológicos foram captados de forma a validar a infraestrutura proposta. Esta rede realiza a captação e envio dos dados coletados até estações base onde um sistema de tratamento embarcado em um FPGA fica encarregado de receber os dados, realizar os cálculos necessários e enviar as informações obtidas, através de uma rede Ethernet, a um sistema central de supervisão instalado em uma central de monitoramento. A utilização de um dispositivo de processamento dedicado, como um FPGA, proporciona ao sistema uma eficiência muito maior do que normalmente é encontrada em processadores de uso geral além de permitir a customização do hardware reduzindo o custo final do sistema. É apresentada também a integração da infraestrutura InteliCare com a ferramenta de distribuição de fluxos Arthron. Esta integração permite tornar mais real a experiência de colaboração em procedimentos médicos de forma que é possível ter numa mesma transmissão, áudio, vídeo e sinais biológicos. O sistema de supervisão instalado na central de monitoramento é responsável por gerenciar o armazenamento e a visualização dos dados recebidos. Ele exibe os dados em tabelas e gráficos em tempo de execução e permitirá que uma equipe de especialistas tome decisões e oriente os pacientes e/ou seus cuidadores para realizar determinado procedimento.

Palavras chave: Internação Domiciliar, Telemedicina, Telessaúde, Redes de Sensores sem Fios, Protocolo ZigBee, Sistemas Embarcados, Processador Nios II, FPGA.

ABSTRACT

This work presents a monitoring infrastructure for people in a situation of home care through the integration of wireless sensor networks and data processing in embedded systems, enabling a real-time monitoring of the clinical picture of each patient. To perform real-time telemetry, a sensor network with ZigBee technology was set and some biological signals were captured in order to validate the proposed infrastructure. This network performs the capture and transmission of data collected to base stations where a treatment system embedded in an FPGA is instructed to receive data, perform the necessary calculations and send the information obtained through an Ethernet network to a central installed in a monitoring central station. The use of a dedicated processing device such as an FPGA, provides a much greater efficiency than is typically found in general purpose processors and allows the customization of the hardware. Besides, reduces the final cost of the system. It also presented the integration of Arthron and InteliCare. Arthron is tool that works with flow distribution. This integration allows more real experiences of telemedical procedures so that you can have in a single transmission, audio, video, and biological signals. The monitoring system installed in the central station is responsible for storage and display the received data. It will display data in tables and graphs in real time and allow a team of experts make decisions and guide patients and / or their caregivers to perform a certain procedure.

Keywords: Home Care, Telemedicine, Wireless Sensor Networks, Zigbee Protocol, Embedded Systems, Nios II Processor, FPGA

Sumário

LISTA DE FIGURAS:	10
INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.3 TRABALHOS CORRELATOS NA INSTITUIÇÃO	14
1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	16
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 TELESSAÚDE E TELEMEDICINA	17
2.2 REDES DE SENSORES SEM FIO	18
2.2.1 Topologias das RSSF	20
2.2.2 Áreas de aplicação	21
2.3 PADRÃO IEEE 802.15.4 E PROTOCOLO ZIGBEE	22
2.3.1 Arquitetura protocolar	23
2.3.4 Comparação com outros protocolos	25
2.4 COMPRESSÃO DE DADOS	27
2.4.1 Modelo Genérico	28
2.4.2 Codificação Golomb-Rice	29
2.5 SISTEMAS EMBARCADOS	31
2.5.1 Arquitetura de Sistemas Embarcados	31
2.6 COMPUTAÇÃO RECONFIGURÁVEL	32
2.6.1 FPGA	33
2.6.2 Processador Nios II	35
2.7 ARTHRON	37
2.8 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	39
2.7.1 IAR Workbench	39
2.7.2 Quartus II	40
2.7.3 SOPC Builder	41
2.7.4 IDE Nios II	42
2.7.5 NetBeans IDE	44

INTELICARE – INFRAESTRUTURA PARA MONITORAMENTO DE PACIENTES.....	45
3.1 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE SINAIS	46
3.1.1 Montagem e configuração da Rede ZigBee.....	47
3.1.2 Componentes da Rede.....	47
3.1.3 Hardware Utilizado	50
3.2 SISTEMA DE TRATAMENTO LOCAL DE DADOS	52
3.2.1 Arquitetura do sistema de tratamento.....	53
3.3 SISTEMA CENTRAL DE MONITORAMENTO	59
3.4 INTEGRAÇÃO COM A ARTHRON	63
3.4.1 Arthron e InteliCare	63
3.4.2 Cenários de Uso.....	68
TRABALHOS CORRELATOS	71
4.1 A WIRELESS SENSOR NETWORK BASED ON ZIGBEE FOR TELEMEDICINE MONITORING SYSTEM	71
4.2 DEVELOPMENT OF TELEMEDICINE AND TELECare OVER WIRELESS SENSOR NETWORK.....	72
4.3 DEVELOPMENT OF WI-FI BASED TELECARDIOLOGY MONITORING SYSTEM.....	73
4.4 ANÁLISE COMPARATIVO	73
RESULTADOS	75
5.1 AQUISIÇÃO E COMPRESSÃO.....	75
5.2 TRATAMENTO E VISUALIZAÇÃO	83
5.3 RESULTADOS DE INTEGRAÇÃO ARTHRON E INTELICARE	88
CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	92
REFERÊNCIAS.....	94

Lista de Figuras:

Figura 1 - Topologia das RSSF	21
Figura 3 - Modelo Genérico de Compressão	29
Figura 4 - Arquitetura interna de uma FPGA	34
Figura 5 - Exemplo de sistema com Nios II	36
Figura 6 - Arquitetura Arthron	37
Figura 7 - Comunicação Entre Componentes da Arthron	38
Figura 8 - IAR Workbench	40
Figura 9 - Quartus II	41
Figura 10 - Abstração do Hardware do sistema de Bibliotecas HAL a partir de uma aplicação do usuário	43
Figura 11 - Visão geral do InteliCare	46
Figura 12 - Sistema de Captação e Sistema de Tratamento do InteliCare	48
Figura 13 - Diagrama UML de Atividade Nó Final	49
Figura 14 - Diagrama UML de Atividades Coordenador	50
Figura 15 - Diagrama de Blocos CC2431	52
Figura 16 - Arquitetura do Sistema de Tratamento	53
Figura 18 - Placa da Altera com FPGA para desenvolvimento de sistemas com Nios II	55
Figura 19 - Arquitetura projetada no SOPC Builder	56
Figura 20 - Camadas de sistema de software	58
Figura 21 - Diagrama UML de atividades do Sistema de Tratamento	59
Figura 22 - Diagrama UML de Caso de Uso do Sistema Central de Monitoramento	60
Figura 23 - Diagrama UML de Classes Sistema Central de Monitoramento	61
Figura 24 - Diagrama UML de Sequência do Sistema Central de Monitoramento	62
Figura 25 - Interface do Sistema Central de Monitoramento	62

Figura 26 - Arquitetura Arthron-InteliCare	64
Figura 27 - Diagrama UML de Atividade do funcionamento Arthron e InteliCare.....	65
Figura 28 - Diagrama de Classe Integração Arthron InteliCare	66
Figura 29 - Diagrama UML de Sequência da Integração Arthron InteliCare	67
Figura 30 - Cenário 1	68
Figura 31 - Cenário 2	69
Figura 32 - Cenário 3	70
Figura 33 - Exame Holter de Monitoramento de ECG.....	77
Figura 34 - Divisão do <i>payload</i> para o Cenário 1 Sem Compressão.....	77
Figura 35 - Divisão do <i>payload</i> para o Cenário 1 Com Compressão	78
Figura 36 - Divisão do <i>payload</i> para o Cenário 2 Sem Compressão.....	79
Figura 37 - Divisão do <i>payload</i> para o Cenário 2 Com Compressão	80
Figura 38 - Divisão do <i>payload</i> no Cenário 3 Sem Compressão.....	80
Figura 39 - Divisão do <i>payload</i> para Cenário 3 Com Compressão	81
Figura 40 - Gráfico Comparativo da Transmissão Com e Sem o Compressor	82
Figura 47 - Equipamentos Utilizados em Laboratório para Execução dos Testes	88
Figura 48 - Cenário de Integração Arthron e InteliCare.....	89
Figura 49 - Arthron e InteliCare	91

Capítulo

1

Introdução

Neste capítulo é apresentado o tema principal deste trabalho em seus aspectos introdutórios. Aqui são apresentados pontos que motivam a realização desta pesquisa bem como são detalhados os objetivos.

1.1 Contextualização e Motivação

O progresso contínuo da ciência e tecnologia aliado à melhoria das condições materiais, vem tornando o crescimento da população idosa um fenômeno mundial. No Brasil, as mudanças ocorrem de maneira radical e veloz, com estimativas conservadoras projetando em 2020 uma população de idosos superior a 30 milhões de indivíduos [Veras, 2009] [Carvalho, 2003]. À medida que a população envelhece, a incidência e prevalência de doenças crônicas, como cardiopatias, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e diabetes, tendem a aumentar [Paré, 2007].

Segundo a OMS [OMS, 2005], as doenças crônicas tornaram-se a principal causa de morte de adultos em praticamente todos os países e sua elevada prevalência é uma importante razão para os custos crescentes em saúde.

No Brasil, dados do PNAD [PNAD, 1998] revelam que o número de consultas aumenta à medida que a população envelhece, com mais portadores de doenças crônicas, levando ao crescimento no consumo de medicamentos, na realização de exames e nas hospitalizações bem como aumenta o número de pessoas em situação de internação domiciliar (Home Care). Estes pacientes caracterizam-se basicamente por serem portadores de doenças crônicas de baixa ou média complexidade, bem como de sequelas incapacitantes sendo eles dependentes de terceiros e com elevado potencial de intercorrências clínicas, mas que necessitam a presença em domicílio apenas de um cuidador.

Pesquisa realizada pelo Núcleo Nacional das Empresas de Assistência Domiciliar [NEAD, 2010] identificou um total de 108 empresas cadastradas junto aos conselhos regionais

de medicina em todo o Brasil, atendendo cerca de 30 mil pessoas em casa por mês e contratando aproximadamente 15 mil profissionais da área da saúde. Esta pesquisa ainda revela que há um forte potencial de expansão no setor de Serviços de Atenção Domiciliar e que avançam as possibilidades para que uma maior parte da população receba atendimento em casa.

Um trabalho de metanálise [Paré, 2007], compreendendo 65 estudos no intervalo de 1991-2006, apresentou achados consistentes relacionados aos efeitos do monitoramento remoto nas atitudes e comportamento do paciente, sendo o acompanhamento domiciliar muito bem recebido e aceito. A metanálise revelou que o monitoramento e acompanhamento de pacientes crônicos à distância é tecnicamente viável, com poucos erros e outros problemas sendo relatados, com parâmetros considerados confiáveis e acurados sendo transmitidos dos domicílios, fornecendo informações valiosas para uma decisão clínica oportuna.

Como consequência do exposto acima é gerada uma demanda crescente por recursos materiais e humanos, motivando o desenvolvimento de meios mais efetivos para atenção desses pacientes.

Uma infraestrutura que permita o monitoramento online de pacientes em situação de internação domiciliar e possibilite a uma equipe composta por diversos especialistas, monitorar vários pacientes simultaneamente e através do sistema orientar o cuidador sobre algum procedimento ou acionar a emergência ou ainda inferir determinadas situações, apresenta-se de forma bastante importante e viável.

Sendo assim este trabalho propõe o desenvolvimento de uma infraestrutura de telessaúde para apoio a serviços de atenção domiciliar baseada redes de sensores sem fio e sistemas embarcados.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma infraestrutura de rede de sensores sem fio com processamento em sistema embarcado que permita o monitoramento remoto de pessoas em situação de Internação Domiciliar.

Os objetivos específicos do projeto são:

- **Montagem e configuração de uma rede de sensores sem fio com processamento local e que utilize o padrão IEEE 802.15.4 com Zigbee.**

Esta rede é responsável pela captação dos dados dos pacientes em monitoramento e pelo envio dos dados até o sistema de tratamento. Um requisito importante dessa rede é o

processamento local no nó final como forma de minimizar a quantidade de dados transmitidos. As principais tarefas desta etapa consistem em determinar e montar uma topologia adequada para aquisição dos dados e desenvolver um firmware para cada tipo de módulo que compõem a rede.

- **Desenvolvimento de um sistema embarcado para tratamento dos dados captados da rede de sensores e distribuição dos dados processados através de uma rede Ethernet.**

Este sistema possui uma alta capacidade de processamento e apresenta flexibilidade para atualização de seu software e arquitetura. Um dispositivo de processamento dedicado com computação reconfigurável (FPGA), aliado ao poder de um processador embarcado foram utilizados de forma a atuarem satisfatoriamente no projeto. O sistema embarcado no FPGA realiza a decodificação, processamento e empacotamento dos dados recebidos da rede de sensores sem fios e paralelamente atua como um servidor de dados para o sistema de supervisão ao qual estará conectado através de uma rede Ethernet local.

- **Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão.**

Este sistema se conecta ao sistema de tratamento embarcado nos FPGAs e solicita o envio das medidas realizadas. Estas medidas deverão ser exibidas em gráficos e tabelas assim que são recebidas.

- **Integração com a ferramenta Arthron**

A ferramenta Arthron está sendo desenvolvida no contexto do projeto GTAVCS (Grupo de Trabalho – Ambiente de Vídeo Colaboração em Saúde). Esta ferramenta tem como principal funcionalidade a distribuição de fluxos de áudio e vídeo de um ponto para outro, como forma de permitir que, procedimentos médicos tais como cirurgias, estudos de caso, videoconferências médicas, etc, possam ser feitas com o recurso da colaboração. No contexto deste trabalho é proposto como objetivo a integração da infraestruturra de monitoramento de pacientes com a ferramenta Arthron.

1.3 Trabalhos Correlatos na Instituição

O InteliCare surgiu como proposta a partir da base de conhecimento adquirida em projetos anteriores.

Um dos projetos foi desenvolvido no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba em parceria com a PETROBRAS e teve como objetivo realizar o monitoramento do torque de Unidades de Bombeio de Petróleo. Através de um sensor

adequado o valor era transmitido por uma rede de sensores sem fio via protocolo Zigbee e enviado para uma central de monitoramento [Anjos et al., 2008] . Este projeto foi realizado entre os anos de 2007 e 2009 e obteve sucesso em atingir seus objetivos.

O segundo projeto relacionado ao tema do presente trabalho foi realizado no Laboratório de Sistemas Digitais em parceria com o MetroRec (Metrô de Recife). O objetivo deste projeto foi monitorar variáveis do metrô tais como pressão nas bolsas de ar, corrente de armadura, velocidade, tensão de alimentação entre outras [Araujo et al., 2008]. Através de uma rede móvel de sensores sem fio montada na topologia malha e utilizando o protocolo Zigbee, os dados são transmitidos para as estações de passageiros e tratados num sistema embarcado implementado em FPGA. Após isto são disponibilizados para uma central de monitoramento onde os engenheiros do MetroRec poderiam tomar decisões. Este projeto teve início no ano de 2008 e ainda está em andamento.

Outro projeto relacionado foi o Brazil-IP. Desenvolvido no Laboratório de Sistemas Digitais, este projeto foi financiado pelo CNPq e seu objetivo foi implementar em hardware um módulo de compressão de sinais biológicos e imagens médicas. Este projeto teve seu início em 2008 e seu término no ano de 2011.

Por fim tem-se o Grupo de Trabalho – Ambiente de Vídeo Colaboração em Saúde (GTAVCS) financiado pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) e desenvolvido no Laboratório de Vídeo Digital (LAVID). Este projeto teve início em Dezembro de 2010 e seu objetivo é desenvolver uma solução que permita a transmissão dos vários fluxos (áudio, vídeo e outros parâmetros) presentes em uma cirurgia. Além disso esta solução deve ser colaborativa, isto é, permitir que o receptor dos fluxos possa interagir com o transmissor. Isto será útil para aulas, debates de casos clínicos e segunda opinião médica. Um dos possíveis fluxos vislumbrados pelo GTAVCS é a transmissão de parâmetros clínicos como eletrocardiograma e a captação destes deve ser feita através de uma Rede de Sensores sem Fio.

Todos estes projetos aqui descritos permitiram a realização da proposta de desenvolvimento do InteliCare. Agregando conceitos provenientes dos 3 projetos foi possível o desenvolvimento desta solução.

1.4 Contribuições do Trabalho

Seguem as principais contribuições deste trabalho

- Desenvolvimento de um sistema embarcado para monitoramento de pacientes
- Integração do sistema embarcado com uma rede de sensores em fio utilizando o padrão IEEE 802.15.4
- Utilização do algoritmo de compressão Golomb-Rice no microcontrolador 8051 para otimização do uso da largura de banda do padrão IEEE 802.15.4
- Desenvolvimento de um protótipo completo de hardware e software para validação da infraestrutura proposta
- Integração com a ferramenta de distribuição de fluxos Arthron, permitindo assim uma experiência mais real durante transmissões telemédicas

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é composta por seis capítulos. No Capítulo II é apresentada uma fundamentação teórica para introduzir os principais conceitos que são utilizados neste trabalho e servem como base para o bom entendimento. O Capítulo III apresenta em detalhes a solução proposta. Neste capítulo são apresentados os três subsistemas que compõem a infraestrutura proposta. São explicados os processos de configuração e montagem das redes de sensores, a arquitetura e os softwares projetados para o sistema embarcado são demonstrados e também é feita a descrição do sistema de supervisão. Este capítulo também apresenta o projeto através da Modelagem UML feito para o sistema embarcado e para o sistema de supervisão. O capítulo IV apresenta trabalhos correlatos e faz uma análise comparativa entre eles, apontando pontos positivos e negativos de cada um. O capítulo V apresenta os resultados dos testes realizados para validação da infraestrutura. Por fim o capítulo VI apresenta as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo

2

Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os principais conceitos técnicos e teóricos necessários ao entendimento deste trabalho. Aqui são descritas as diversas tecnologias utilizadas, desde dispositivos de hardware, passando por protocolos de comunicação e ferramentas utilizadas.

2.1 Telessaúde e Telemedicina

Telemedicina é uma área da medicina que está em crescimento e faz uso de tecnologias de comunicação para tratar pacientes em localidades remotas. No começo da telemedicina a tecnologia utilizada era mais simples, a exemplo do telefone que era utilizado para melhorar a qualidade dos serviços médicos para pessoas que não tinham fácil acesso aos atendimentos médicos avançados em grande escala. [Ryoo et al., 2008]

Entretanto, dado o avanço na indústria das telecomunicações que mudou do analógico (orientado a voz) para o digital (orientado aos dados), a telemedicina hoje é muito mais sofisticada do que antes. Graças aos avanços os médicos podem hoje operar um paciente localizado em uma sala do outro lado do país.

Com o surgimento dos telefones móveis (celulares) e outras tecnologias de comunicação móvel, a telemedicina está passando por um novo processo de mudanças. Os dispositivos de telemedicina estão cada vez mais dependentes das tecnologias de comunicação móvel. Este último avanço tem sido chamado de telemedicina móvel [Rosen, 1997] [Stepanian, 1999]

A popularidade da telemedicina móvel está crescendo de forma rápida dada sua conveniência proporcionada pela tecnologia. Ao invés de carregar pastas e estar preocupado em perder papéis, os profissionais de saúde podem rapidamente acessar e modificar os dados armazenados em um servidor central. As operações podem ser realizadas a partir de qualquer dispositivo com acesso a rede tais como celulares, notebooks, pda's, tablets, smartphones

entre outros. Isto tudo representa a evolução dos tradicionais sistemas desktop de telemedicina que agora passam a funcionar por meio de tecnologias sem fio e móveis.

Um dos grandes benefícios que a telemedicina irá trazer será para os pacientes que sofrem de doenças cardiovasculares, sendo esta responsável pela morte de 7 milhões de pessoas segundo dados do Relatório Mundial de Saúde do ano 2000. [WHO, 2000]. Através da telemedicina móvel será possível melhorar a acessibilidade para cuidar da população mais carente tais como as das áreas rurais bem como será possível uma diminuição dos custos já que o traslado até grandes centros em muitos casos não será mais necessário.

Assim será possível uma melhoria na qualidade do serviço como resultado da disponibilidade coordenada e contínua de serviços avançados de saúde e através de ferramentas poderosas de suporte a decisão.

Uma das iniciativas brasileiras de Telemedicina é a Rede Universitária de Telemedicina (RUTE). A RUTE é uma iniciativa do Ministério da Ciência e Tecnologia que visa a apoiar o aprimoramento de projetos em telemedicina já existentes e incentivar o surgimento de futuros trabalhos interinstitucionais. É apoiada pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e pela Associação Brasileira de Hospitais Universitários (Abrahue) e coordenada pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP).

Segundo a Rede Universitária de Telemedicina [RUTE, <http://www.rute.rnp.br>] dentre os usos de Telemedicina mais conhecidos estão a videoconferência médica, os trabalhos colaborativos e o estudo de casos na área de pesquisa; a educação a distância, a educação continuada, a especialização, o aperfeiçoamento e a atualização na área de capacitação profissional; e a segunda opinião, a consulta on-line e o telediagnóstico por imagem na área de atendimento.

2.2 Redes de Sensores Sem Fio

Nos últimos 10 anos a tecnologia presenciou um grande avanço nas áreas de sensores, circuitos integrados e comunicação sem fio. A rápida convergência de três tecnologias: microprocessadores, comunicação sem fio e micro sistemas eletromecânicos (MEMS - Micro Electro-Mechanical Systems) [Loureiro et al., 2002] tornou viável a criação de dispositivos de baixo custo, com poder de processamento e capacidade de comunicação a curtas distâncias.

Esta convergência de tecnologias levou ao surgimento das redes de sensores sem fio (RSSF), que são redes formadas por dispositivos munidos de sensores com capacidade de

comunicação via radiofrequência. Estes sensores podem produzir respostas a mudanças em condições físicas, tais como temperatura, umidade ou qualquer sinal cujo monitoramento possa ser feito através de um sinal elétrico. Em geral, as RSSF possuem como principal objetivo realizar monitoramento de ambientes ou localização de objetos. Estas redes formam um novo tipo de redes *ad hoc* com um conjunto de características e desafios peculiares.

Uma rede de sensores sem fio (RSSF), em sua forma mais simples, pode ser definida como uma rede de dispositivos chamados nodos ou nós que podem monitorar um ambiente e enviar as informações colhidas dos campos monitorados através de comunicação sem fio; os dados são enviados, possivelmente através de múltiplos saltos de transmissão, para um nó sorvedouro (chamado as vezes de controlador ou monitor) que pode ser usado localmente ou estar conectado a outras redes (em geral a internet) por meio de um *gateway*. Os nós podem ser estacionários ou se moverem. Podem estar cientes de sua localização ou não e podem ou não ser homogêneos [Verdone et al., 2007]. Este tipo de rede é apropriado para situações onde não se pode ter uma instalação com fios e se deseja ter acesso contínuo a determinadas informações.

Uma RSSF pode ser usada para monitorar e, eventualmente, controlar um ambiente. Este tipo de rede é formado geralmente por centenas ou milhares de dispositivos autônomos que tendem a ser projetados com pequenas dimensões (cm^3 ou mm^3) chamados nós sensores. Os principais componentes de um nó sensor são: transceptor para comunicação sem fio, fonte de energia, unidade de sensoriamento, memória e processador. O componente lógico de um nó sensor é o software que executa no processador [Loureiro et al., 2003]. Existem casos em que uma RSSF também pode ser composta de dispositivos chamados atuadores que permitem ao sistema controlar parâmetros do ambiente monitorado.

As RSSF diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas redes possuem um grande número de nodos distribuídos, têm restrições de energia, e devem possuir mecanismos para autoconfiguração e adaptação devido a problemas como falha de comunicação e perda de nodos. Uma RSSF tende a ser autônoma e requer um alto grau de cooperação para executar as tarefas definidas para a rede. Isto significa que algoritmos distribuídos tradicionais, como protocolos de comunicação e eleição de líder, devem ser revistos para esse tipo de ambiente antes de serem usados diretamente. Os desafios e considerações de projeto de RSSFs vão muito além das redes tradicionais [Loureiro et al., 2002].

Em uma RSSF os dados recolhidos do ambiente são transmitidos possivelmente através de múltiplos saltos via retransmissões por nós intermediários, para um nó sorvedouro (chamado às vezes de controlador ou monitor) que pode ser usado localmente ou estar conectado a outras redes (em geral a Internet) por meio de um *gateway*.

2.2.1 Topologias das RSSF

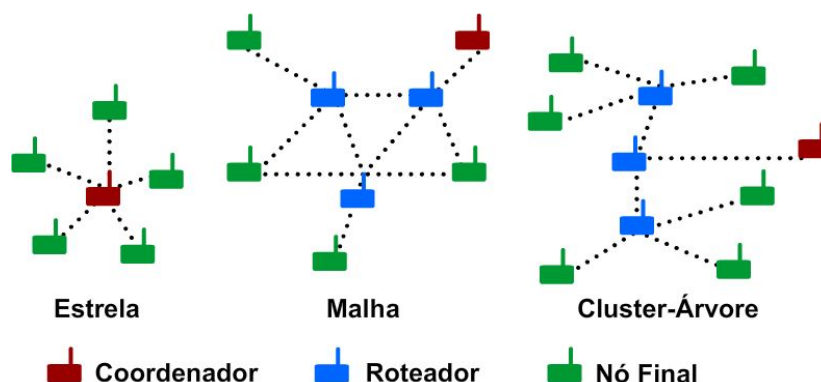
Uma RSSF pode ser organizada de três formas diferentes, definindo assim a sua topologia: estrela, malha e árvore.

Uma rede em estrela é formada por um nó coordenador e múltiplos nós finais. O coordenador é usado para organizar a rede e rotear as informações. Os nós finais se comunicam com os outros nós através do nó coordenador [Cao et al., 2008]. As aplicações que se encaixam neste tipo de topologia, são: automação residencial, periféricos de computador pessoal, jogos e aplicações médicas [Golmie et al., 2004].

Uma rede em árvore é formada a partir de uma hierarquia, na qual cada conjunto de nós finais se comunica com um determinado roteador, que por sua vez se comunica com o coordenador.

Uma rede em malha funciona de modo *ad hoc*, na qual um roteador pode se comunicar com qualquer outro diretamente; ou seja, sem a necessidade de intermediação por parte do coordenador. Nessa topologia a rede é auto-organizável, podendo se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saída de novos nós na rede. A topologia em malha permite também aumentar a abrangência da rede, visto que a comunicação de nós distantes com o coordenador pode ser feita a partir de múltiplos saltos, através dos roteadores. A Figura 1 ilustra as três topologias [Santos, 2010].

Figura 1 - Topologia das RSSF



2.2.2 Áreas de aplicação

As RSSFs desde seu surgimento têm, cada vez mais tomado espaço para solução de problemas em diversas áreas do conhecimento dada sua versatilidade e flexibilidade de aplicação. A seguir observa-se algumas áreas que têm utilizado RSSFs.

Medicina: Estas aplicações envolvem telemonitoramento de dados fisiológicos humanos, rastreamento e monitoramento de médicos e pacientes dentro de um hospital, administração de remédios em hospitais, etc. [Scott, 1998; Stankovic et al., 2005] Agregam tecnologia de sensores sem fio em um hospital com aplicações para medicina facilitando a vida de médicos, deficientes físicos e pacientes. Diversas são as possibilidades de aplicação. Por exemplo, é possível realizar exames que hoje são feitos de maneira *off-line*, em tempo de execução (*online*), de forma que o médico tenha acesso às informações de seus pacientes de qualquer lugar e sempre que for preciso.

Monitoramento Ambiental: Aplicações para monitoramento ambiental têm uma importância crucial para a comunidade acadêmica e para a sociedade como um todo [Cardell-Oliver et al., 2004; Szewczyk et al., 2004; Santoni et al., 2006]. Com estas aplicações, pode-se monitorar áreas com milhares de quilômetros quadrados durante anos. Microsensores em rede tornam possível a obtenção de informações detalhadas sobre áreas naturais onde não é possível monitorar através de métodos convencionais. Frequentemente nessas aplicações, a rede fornece soluções para medidas de segurança e vigilância; desastres naturais como enchentes e terremotos podem ser percebidos antecipadamente instalando-se um sistema embarcado em rede em lugares onde esses fenômenos podem ocorrer [Verdone et al., 2007].

Transportes: Uma RSSF pode ser utilizada para monitorar o movimento de veículos obtendo dados como velocidade e localização. Estas aplicações tem como objetivo gerar medidas de segurança, manutenção, analisar o desempenho e prover melhorias de serviço aos usuários dos meios de transportes monitorados.[Araújo et al., 2008; Svensson, 2005].

2.3 Padrão IEEE 802.15.4 e Protocolo ZigBee

No contexto das RSSF surge o padrão IEEE 802.15.4, que é designado para aplicações de redes de sensores sem fio. Esse padrão oferece comunicação sem fio com baixo consumo de energia e baixo custo, para aplicações de monitoramento e controle que não exijam grande largura de banda. Em comparação com outros padrões de comunicação sem fio, como o IEEE 802.11 (WiFi) e o IEEE 802.15.1 (Bluetooth), ele apresenta vantagens no que diz respeito ao consumo de energia, escalabilidade e menor tempo levado para adição de novos nós [Santos et al, 2011].

O padrão IEEE 802.15.4 define as camadas física e de controle de acesso ao meio. São definidas três faixas de frequência para comunicação: 868 MHz, 915MHz e 2.4GHz. O padrão divide as faixas de espectro em vinte e sete canais, sendo um para a primeira faixa, dez para segunda e dezesseis para a terceira [Karl, 2005].

Alguns protocolos implementam as camadas superiores sobre o padrão IEEE 802.15.4, sendo o protocolo *ZigBee* o mais conhecido. O protocolo *ZigBee* foi proposto no ano de 2002 e consiste em um padrão designado para redes de sensores sem fio desenvolvido pela *Zigbee Alliance* [Zigbee Alliance]. A *Zigbee Alliance* é uma associação de empresas que trabalham em conjunto para desenvolver tecnologias baseadas em uma padrão aberto, que possibilite comunicação sem fio confiável, com baixo consumo de energia e baixo custo, para aplicações de monitoramento e controle que não exijam grande largura de banda.

Recentemente, o protocolo ZigBee tem sido considerado um bom candidato para uso em ambientes industriais [Edgan, 2005], tendo sido utilizado em aplicações de monitoramento e controle de diversos tipos.

O *Zigbee* apresenta algumas vantagens importantes sobre os demais protocolos de comunicação como o Wi-Fi e Bluetooth por exemplo. Seu consumo de energia é geralmente mais baixo que nas redes com outros protocolos. Uma característica importante do ZigBee que o diferencia dos outros é que ele permite expandir uma rede através de milhares de nós.

Teoricamente, uma rede ZigBee pode conter cerca de 65.536 nós, embora, na prática não é recomendável exceder 3000 nós em uma rede [Ascariz, 2007]. Outra vantagem dos dispositivos ZigBee é a velocidade com que novos nós podem ser adicionados a rede: 30 ms; enquanto que um nó que estava em estado de sono pode ser acordado em 15 ms, e então começar a comunicação com outros nós da rede

Em uma rede IEEE 802.15.4 os nós podem ser de dois tipos: FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*). Os nós FFD podem agir como o coordenador da rede ou um nó final. O coordenador da rede é responsável, por exemplo, pela inicialização e sincronização da rede, e geralmente funciona como o sorvedouro da rede de sensores. Além disso, ele pode servir como ponte entre várias outras redes IEEE 802.15.4. Os nós FFD podem também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do intermédio do coordenador. Por meio de roteadores, uma rede IEEE 802.15.4 pode ser expandida e obter maior cobertura [53]. Os nós RFD podem atuar apenas como nós finais, que são responsáveis pelas funções de sensoriamento e/ou atuação e podem interagir com apenas um nó FFD na rede [Santos et al, 2011].

2.3.1 Arquitetura protocolar

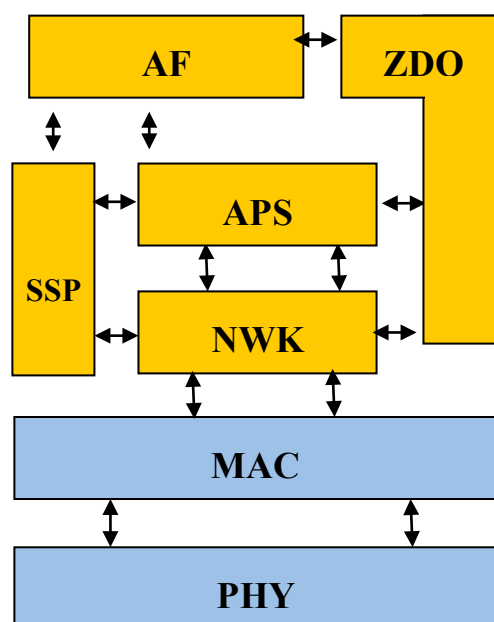
O padrão 802.15.4 definido pela IEEE define um protocolo de interconexão para dispositivos de comunicação de dados usando baixa taxa de transmissão, baixa potência, baixa complexidade e transmissões de rádio frequência de pequeno alcance em uma rede sem fio (WPAN).

A arquitetura do ZigBee foi desenvolvida em blocos ou camadas. Cada camada executa serviços específicos para servir a camada acima: a entidade de dados provê dados para o serviço de transmissão e a entidade de gerência fornece informação para todos os outros serviços. Cada entidade de serviço expõe uma interface para a camada superior através do ponto de acesso ao serviço (SAP) e cada SAP suporta um número de primitivas de serviço para ativar a funcionalidade solicitada.

A arquitetura do ZigBee, observada na Figura 2, é baseada no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) de sete camadas, mas define apenas as camadas relevantes para obter a funcionalidade desejada. O padrão IEEE 802.15.4-2003 define as duas camadas mais baixas: a camada física (PHY) e a sub-camada de controle de acesso ao meio (MAC). A ZigBee Alliance trabalha sobre essas camadas para desenvolver a camada de rede (NWK) e o framework para a camada de aplicação, que inclui a camada de aplicação para suporte às sub-

camadas (APS), os objetos de dispositivo ZigBee (ZDO) e os objetos de aplicação definidos pelo fornecedor (Application Object). A Figura 2 demonstra a organização das camadas no protocolo ZigBee [ZigBee Specification, 2007].

Figura 2 - Arquitetura do protocolo Zigbee



A camada Física (PHY): O padrão IEEE 802.15.4-2003 define duas camadas PHY que operam em duas faixas de frequência distintas: 868/915 MHz and 2.4 GHz. A frequência mais baixa cobre a banda europeia de 868 MHz e a banda de 915 MHz usadas em países como EUA e Austrália. A frequência mais alta da camada PHY é utilizada virtualmente no mundo inteiro.

A camada de Acesso ao Meio (MAC): A sub-camada IEEE 802.15.4-2003 MAC controla o acesso ao canal de rádio usando o mecanismo CSMA-CA. Sua responsabilidade inclui transmitir frames de sinalização, sincronização e prover um mecanismo confiável de transmissão.

A camada de Rede (NWK): A camada NWK ZigBee inclui mecanismos usados na conexão e desconexão de dispositivos numa rede, de aplicação de segurança aos frames e roteamento para seus destinos. Adicionalmente, a camada de rede inclui a descoberta e manutenção de rotas entre dispositivos envolvidos na rede NWK. A descoberta e

armazenamento da informação da vizinhança pertinente também são feitos na camada NWK. O coordenador da camada NWK é responsável por iniciar uma nova rede, sempre que apropriado e atribuir endereços para os novos dispositivos associados.

A camada de Aplicação: é composta pela subcamada de suporte a aplicação (APS), pelo framework de aplicações (AF), pelo objeto de dispositivo ZigBee (ZDO) e pelos objetos de aplicação definidos pelos fornecedores. A responsabilidade da sub-camada APS inclui a manutenção das tabelas para *binding*, que possibilita combinar dois dispositivos baseado em seus serviços e suas necessidades, enviando mensagens entre os dispositivos combinados. O ZDO executa a função de definir a regra para o dispositivo na rede (coordenador ZigBee ou dispositivo), iniciando e/ou respondendo às requisições de *binding* e estabelecendo uma conexão segura na rede. O ZDO também é responsável pela descoberta de dispositivos na rede e pela determinação de que tipos de serviços estes dispositivos provêm. O AF é o ambiente em que os objetos da aplicação são hospedados nos dispositivos ZigBee. Esse ambiente possui perfis de aplicação que definem acordos para as mensagens, formatos de mensagens e processamento de ações que permitem aos desenvolvedores criar aplicações interoperáveis e distribuídas empregando entidades que residem em dispositivos separados. Estes perfis tornam as aplicações capazes de enviar comandos, requisitar dados e processar comandos e requisições.

O provedor de serviços de segurança (SSP): é uma subcamada que oferece mecanismos de segurança para as camadas de rede e aplicação. A segurança geral do sistema é definido ao nível do perfil da aplicação, que define o tipo de segurança implementada dentro de uma rede específica.

2.3.4 Comparação com outros protocolos

O ZigBee possui características que o tornam absolutamente distinto de outros protocolos. A tabela abaixo (Tabela 1) mostra um comparativo das principais características deste protocolo com os protocolos de redes sem fio mais populares.

Tabela 1 - Comparação entre protocolos mais populares para redes sem fio

	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Taxa de transferência	250 Kbps	1 Mbps	54 Mbps
Modulação	DSSS	FHSS	DSSS/OFDM
Alcance	300 m	10 m	100 m
Tempo de acesso à rede	30 ms	3 s	3 s
Tempo de transição para o estado ativo	15 ms	3 s	----
Corrente de transmissão	30 mA	40 mA	400 mA
Corrente em <i>standby</i>	3 uA	200 uA	20 mA
Duração de baterias	1000 dias	1 a 7 dias	0,5 a 5 dias
Número de nós	65536	7	32

Dentre estas características, destacam-se a grande escalabilidade das redes ZigBee, o alcance máximo entre os nós e os tempos de associação e de transição dos nós em uma rede ZigBee.

A escalabilidade de uma rede refere-se à capacidade de expansão pela inclusão de novos nós na rede. Ao contrário dos outros protocolos, o ZigBee possibilita a formação de redes com até 65536 nós [Ascariz, 2007]. Isto torna este protocolo ideal para redes de sensores que precisam abranger áreas muito grandes. Outra característica que contribui para uso deste protocolo no desenvolvimento de amplas redes de sensores é o seu alcance. Embora tenha sido projetado para redes de pequeno alcance, pode-se encontrar hoje no mercado módulos ZigBee com alcances que variam de 30m a 1600m.

Outra característica relevante do ZigBee é o tempo bastante curto que os dispositivos gastam para se associar a uma rede e o tempo em que um dispositivo que se encontrava em *standby* leva para voltar ao estado ativo. Para aplicações industriais onde o tempo é um fator crítico (sistemas de tempo real), esta característica é de grande importância.

2.4 Compressão de Dados

Compressão de dados é o processo de converter um bloco de dados de entrada em um bloco de dados de saída de menor tamanho [SALOMON, 2004]. O bloco de dados pode ser um arquivo qualquer, uma imagem, um vídeo, um áudio ou um fluxo de dados enviado pela Internet. E em cada caso pode existir uma técnica específica para compressão dos dados.

Existem duas razões principais para a popularização da compressão de dados. A primeira está ligada ao fato de que as pessoas gostam de guardar dados e não gostam de apagá-los. Não importa quão grande é a capacidade de um HD (*hard disk*), mais ou cedo ou mais tarde ele não terá mais espaço suficiente. Em segundo lugar, as pessoas não gostam de ter que esperar demais por transferências de dados.

Dados sempre carregam consigo alguma informação. Os seres humanos usam símbolos para transmitir informação. Dependendo do contexto, um símbolo pode ser um gesto, uma letra, uma frase inteira, um bit, um pixel, etc. Dessa forma, os símbolos servem para codificar as informações em dados. Os vários métodos de compressão de dados utilizam-se de cada um desses contextos para explorá-los da melhor maneira possível com o objetivo de reduzir a quantidade de dados. Contudo, existe um princípio que é comum a todos os métodos: normalmente, existe redundância na codificação de uma informação em dados.

A idéia de compressão por redução das redundâncias sugere uma lei geral da compressão de dados que diz para utilizar codificação menor (códigos menores) para símbolos que ocorram com frequência e códigos maiores para símbolos que ocorram raramente. Uma análise dos vários métodos de compressão deve mostrar que, de alguma maneira, todos eles utilizam essa lei [SALOMON, 2004].

A maioria dos métodos de compressão são classificados em 4 categorias principais:

- Codificação *Run-Length* (RLE);
- Métodos Estatísticos;
- Métodos Baseados em Dicionário;
- Transformadas;

Os métodos ainda podem ser divididos em não-adaptativos, semi-adaptativos e adaptativos. Um método não-adaptativo é rígido, ou seja, não modifica suas operações, seus parâmetros ou suas tabelas de acordo com os dados particulares que estão sendo comprimidos em um determinado momento. Os semi-adaptativos são aqueles que antes de modificarem

seus parâmetros, adaptando-se aos dados de entrada, lêem todos os dados que serão comprimidos. E, por fim, os adaptativos são capazes de, em tempo de execução, modificarem parâmetros ajustando-os aos dados de entrada em busca de melhores resultados.

Existe também a separação entre métodos de compressão com perdas e sem perdas. A introdução de perdas aceitáveis no processo de compressão é muitas vezes utilizada para alcançar resultados maiores de compressão. Normalmente, perdas estão associadas à compressão de imagens, vídeos e áudios. Isso acontece porque as perdas introduzidas muitas vezes são imperceptíveis pelos seres humanos. Por exemplo, cita-se o MP3, técnica que revolucionou o mercado mundial musical, que remove frequências de áudio inaudíveis ao ouvido humano.

Contudo, para certos casos, as perdas em compressão de dados podem ser inaceitáveis. É o caso dos sinais biológicos e imagens médicas, pois precisam ser tratados com maior cuidado. Se um desses sinais ou uma dessas imagens formarem as bases de um diagnóstico, e se esse diagnóstico fizer a diferença entre a vida e a morte de um paciente, cada mínimo detalhes pode ser crucial [Ogiela, Tadeusiewicz, 2008]

As principais formas de se mensurar os resultados de compressão de dados são a taxa de compressão e a razão de compressão (RC). A taxa de compressão é definida como

$$\text{taxa de compressão} = \frac{\text{tamanho dos dados de saída}}{\text{tamanho dos dados de entrada}} \quad \text{Equação 1}$$

Valores maiores que 1 indicam que não ocorreu compressão, mas sim expansão. A taxa de compressão pode ser apresentada na forma de porcentagem. Por exemplo, uma taxa de compressão de 0,6 significa que os dados após a compressão ocupam 60% do tamanho dos dados originais. A RC é o inverso da taxa de compressão,

$$\text{razão de compressão} = \frac{\text{tamanho dos dados de entrada}}{\text{tamanho dos dados de saída}} \quad \text{Equação 2}$$

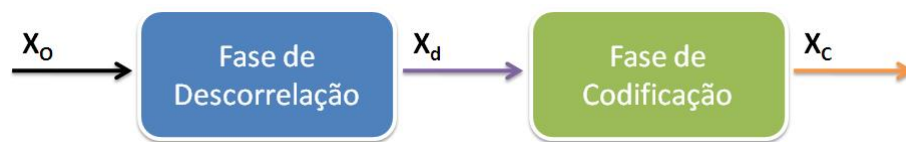
Nesse caso, para um valor menor que um, ocorreu expansão ao invés de compressão [SALOMON, 2004].

2.4.1 Modelo Genérico

A Figura 3 apresenta um modelo de compressão genérico (Meira et al, 2005). Considere o sinal de entrada original x_0 . Ele é submetido a uma etapa de decorrelação, cujo

objetivo é reduzir a correlação entre cada uma das amostras, diminuindo assim a redundância entre elas e produzindo o sinal descorrelacionado x_d . Este, por sua vez, é utilizado na etapa de codificação, que tenta reduzir a quantidade de bits empregados na representação dos símbolos, principalmente naqueles com entropia mais baixa, resultando no sinal comprimido x_c representado por uma sequência de bits.

Figura 3 - Modelo Genérico de Compressão



A maneira mais comum de realizar técnicas de descorrelação é através de predição polinomial. Nesta fase é construída uma estimativa para uma dada amostra de entrada x_0 baseada nas amostras anteriores $x_{0-1} x_{0-2} \dots$. A amostra x_0 é substituída pelo erro da predição $e_n = x_0 - x_{0-1}$

2.4.2 Codificação Golomb-Rice

Inicialmente proposto na década de 60 por Solomon W. Golomb (Golomb, 1966), os códigos de Golomb correspondem a uma família de codificações de código de prefixo com comprimento ótimo para determinadas distribuições de probabilidade dos símbolos a serem codificados [Seroussi, Weinberger, 1997].

O esquema de codificação de Golomb pode ser explicado da maneira a seguir. Considere o número inteiro não negativo n a ser codificado. Primeiro, é computado o quociente da seguinte divisão, onde m é um parâmetro inteiro maior que zero:

$$q = \left\lfloor \frac{n}{m} \right\rfloor \quad \text{Equação 3}$$

Depois, calcula-se o resto dessa divisão:

$$r = n - qm \quad \text{Equação 4}$$

O código é composto pela concatenação de duas partes. A primeira é a codificação unária de q , ou seja, corresponde a repetição de q bits 1 e um bit 0 (utilizado como delimitador entre as duas partes).

A segunda parte depende de r e $b = \lceil \log_2 m \rceil$. Se $0 \leq r < 2^b - m$, ela é formada pelos $b - 1$ bits menos significativos de r . Por outro lado, se $2^b - m \leq r < m$, ela é formada pelos b bits menos significativos de r .

Escolhendo $m = 3$, por exemplo, tem-se $b = 2$ e r pode assumir os valores 0, 1 e 2. Para $0 \leq r < 1$, tem-se o código 0 quando $r = 0$. Caso contrário, $1 \leq r < 3$, tem-se os códigos 01 e 10 quando $r = 1$ e $r = 2$, respectivamente.

A tabela abaixo mostra alguns exemplos de códigos de Golomb para $m = 3$ e $m = 5$.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$m = 3$	00	001	010	100	1001	1010	1100	11001	11010
$m = 5$	000	001	010	0011	0100	1000	1001	1010	10011

Pesquisas mostram que a utilização de esquemas de predição juntamente com codificação de Golomb para compressão sem perdas alcançam taxas parecidas a outros métodos baseados em codificação aritmética (Howard, Vitter, 1994) (Weinberger et al, 1996).

Um detalhe importante é que o erro de predição pode assumir valores negativos. Porém, como foi visto, a codificação de Golomb trabalha apenas com números não negativos. Para suplantar esse problema, é necessário fazer uma etapa intermediária entre a predição e a codificação.

Os valores negativos podem ser mapeados como valores positivos, intercalando-os com os valores positivos "reais", diferenciando-os entre ímpares e pares, respectivamente. Mais formalmente, o erro de predição e é mapeado de acordo com:

$$M(e) = \begin{cases} 2e & \text{se } e \geq 0, \\ 2|e| - 1 & \text{se } e < 0. \end{cases} \quad \text{Equação 5}$$

2.5 Sistemas Embarcados

Um sistema embarcado (ou sistema embutido) é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla. Diferente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos e não se destina a ser programado pelo usuário final.

Em um sistema embarcado, o usuário final pode fazer escolhas relativas à funcionalidade, mas não pode alterar a funcionalidade do sistema adicionando ou substituindo software. Com um computador, isto é exatamente o que um usuário pode fazer: em um momento, o PC pode atuar como um processador de texto e logo depois pode ser uma máquina para jogos simplesmente alterando o software em execução. Um sistema embarcado é projetado para executar uma tarefa específica, embora com diferentes escolhas e opções [Heath, 2003].

Os sistemas embarcados estão inseridos em milhares de dispositivos comuns utilizados no dia a dia como em eletrodomésticos, aparelhos de áudio e vídeo, celulares e outros [GUPTA, 2002]. Algumas das aplicações mais importantes dos sistemas embarcados são: Sistema de controle para aviação, como sistemas de controle inercial, controle de voo e outros sistemas integrados nas aeronaves (como sistemas de orientação de mísseis), Sistemas automotivos, Sistemas de monitoramento de ambientes e Sistemas de comunicação: (redes de computadores, telefonia e TV digital).

A rápida proliferação de sistemas embarcados vem exigindo um aumento do número de engenheiros treinados no desenvolvimento de sistemas baseados em microcontroladores, conceitos de sistemas de tempo real, conceitos de projeto de hardware e software, processamento distribuído e integração hardware-software [Wolf et. Al., 2000].

2.5.1 Arquitetura de Sistemas Embarcados

A arquitetura de um sistema embarcado é uma abstração dos seus dispositivos, o que significa que é uma generalização do sistema que normalmente não mostra informações detalhadas de implementação, como o código fonte do software ou os projetos de circuitos do hardware. No nível arquitetural, os componentes de hardware e software em um sistema embarcado são representados como composição de alguns elementos que interagem entre si.

Elementos são representações de hardware e/ou software cujos detalhes de execução tenham sido abstraídos, deixando apenas comportamentos de interdependência de informação. Eles também podem ser integrados internamente dentro do dispositivo embutido, ou existir fora do sistema e interagir com elementos internos. Em resumo, uma arquitetura embarcada inclui elementos do sistema, elementos que interagem com o sistema, as propriedades individuais de cada um dos elementos e as relações entre os elementos interativos. [Noegard, 2005].

A abordagem da arquitetura de sistemas embarcados se torna bastante importante pela sua capacidade de rapidamente e informalmente explicar um projeto para pessoas que possuam ou não um conhecimento técnico na área, podendo servir como fundamento para o planejamento do projeto. Como ela claramente esboça os requisitos do sistema, a arquitetura pode atuar como uma base para a análise e teste de qualidade de um dispositivo e de seu desempenho sobre várias circunstâncias.

De acordo com Noegard (2005), se entendida e criada, uma arquitetura pode ser usada para estimar com precisão e reduzir os custos através da demonstração dos riscos envolvidos na execução dos vários elementos, permitindo a redução destes riscos. Finalmente, as diversas estruturas de uma arquitetura podem depois ser aproveitadas para a concepção de futuros produtos com características similares, permitindo assim, reutilizar o conhecimento sobre o projeto, levando a uma diminuição da futura concepção e dos custos de desenvolvimento

2.6 Computação Reconfigurável

Segundo Athanas, (1993) e Olukotun, (1994) a principal característica da computação reconfigurável (*reconfigurable computing* – RC) é a presença de um hardware que pode ser reconfigurado para implementar uma funcionalidade particular mais apropriada e sob medida, e não um processador de propósito geral. Sistemas de RC unem os microprocessadores e o hardware programável com a finalidade de combinar o potencial do hardware e do software e ser utilizado em aplicações que vão desde um sistema embarcado a sistemas de alta performance computacional.

O termo computação reconfigurável, atualmente refere-se a sistemas que provem alguma forma de programabilidade do hardware e adaptação de sua arquitetura de acordo com necessidades computacionais específicas [Compton et al, 2000] [Bondalapati et al., 2002]. Esta característica, aliada a capacidade de implementar funções em hardware para aumentar o desempenho sem grandes perdas no desempenho, faz da computação reconfigurável uma ótima alternativa para desenvolvimento de SOC's [Holanda, 2007].

Arquiteturas reconfiguráveis, devido a sua adaptabilidade, permitem explorar o paralelismo disponível em aplicações apresentando vantagens no desempenho bastante significantes se comparadas às arquiteturas convencionais. [Bondalapati et al., 2002]

Embora os conceitos básicos tenham sido propostos na década de 60, a RC só veio ser praticável recentemente. A computação reconfigurável surge como um novo paradigma que busca um meio termo entre flexibilidade e desempenho. Durante a última década um grande número de sistemas de RC desenvolvidos pela comunidade científica tem demonstrado o potencial para atingir alto desempenho para uma diversidade de aplicações.

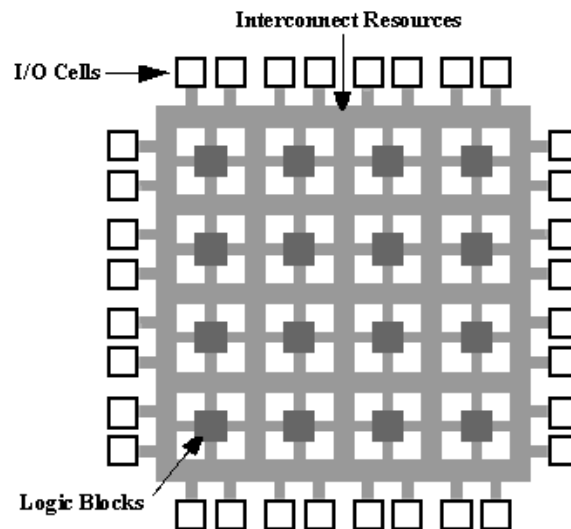
2.6.1 FPGA

Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) são circuitos integrados digitais que contém blocos lógicos reconfiguráveis (reprogramáveis), chamados de *CLB* (*Configuration Logical Blocks*) que são formados por portas lógicas e *flip-flops* que implementam funções lógicas, e interconexões entre eles que também podem ser rearranjadas. Engenheiros de projetos podem reconfigurar estes dispositivos para uma enorme variedade de tarefas. Dependendo da maneira como é implementada, alguns FPGAs podem ser reprogramados somente uma vez, enquanto outras podem ser diversas vezes reconfigurados. [Maxfield, 2004].

O termo "Field programmable" refere-se a possibilidade de um programador alterar o funcionamento do dispositivo, diferente de circuitos integrados típicos que tem sua funcionalidade definida no momento da fabricação. Já o termo "gate array" é uma referência a arquitetura interna básica que torna a reprogramação possível. A Figura 4 apresenta um esquema da arquitetura interna de um FPGA.

FPGAs são caracterizados principalmente pelo tamanho da lógica (medido tanto pelo número de transistores, ou, mais comumente, pelo número de blocos lógicos fundamentais que contêm), pela sua estrutura lógica e funcionalidades de processamento, e pela sua velocidade e consumo de energia [Pellerin, 2005].

Figura 4 - Arquitetura interna de uma FPGA



Atualmente, encontram-se no mercado inúmeras opções de plataformas de hardware com diferentes recursos para desenvolvimento de diversos tipos de sistemas. Algumas delas são: ASICs (Application Specific Integrated Circuits), PICs (Programmable Microprocessors), PLDs (Programmable Logic Devices) ou CPLD (Complex Programmable Logic Devices). A escolha do FPGA para implementação de um determinado sistema deve ser baseada nos requisitos do sistema e não em preferências pessoais de um projetista.

Se o projeto requer um dispositivo programável que necessite de muitas mudanças no projeto e utilize algoritmos complexos usando muitas operações de multiplicação/divisão e *loopings*, então pode fazer mais sentido usar um dispositivo de processamento de sinais dedicado como um DSP que podem ser programados e reprogramados facilmente utilizando C ou alguma outra linguagem de alto nível. Se a velocidade não é um forte requisito e uma plataforma compacta e barata é necessária, um microprocessador de propósito geral, como um microprocessador PIC seria a escolha ideal. Finalmente, se os requisitos de hardware requerem um maior nível de desempenho, com velocidade de clock da ordem de 100 MHz por exemplo, um FPGA apresenta-se como uma boa opção [Wilson, 2007].

Nos casos em que um projeto exige pequenos e simples blocos de hardware, então um PLD ou CPLD pode ser a melhor opção (compacto, simples lógica programável), no entanto, se o projeto tem múltiplas funções, ou uma combinação de controles complexos e funções específicas de hardware, então o FPGA é a melhor alternativa a se usar. Deve-se ainda

considerar a necessidade de execução de funções em paralelo e de otimização do hardware. Estes requisitos podem ser mais facilmente implementados em FPGA [Wilson, 2007].

2.6.2 Processador Nios II

O Nios II consiste em um processador RISC de 32 bits de propósito geral, projetado como uma plataforma para dispositivos embarcados e sua síntese pode ser feita nas famílias de FPGAs da Altera. Suas principais características são: conjunto de instruções, espaço de endereçamento e data path de 32 bits; 32 registradores de propósito geral; 32 fontes de interrupções externas; instruções dedicadas ao cálculo de multiplicações com 64 bits e 128 bits; acesso a uma variedade de periféricos on-chip, e interfaces para acesso a memórias e periféricos off-chip; dispõe de cerca de 2 GBytes de espaço de endereçamento; e permite a customização de até 256 instruções.

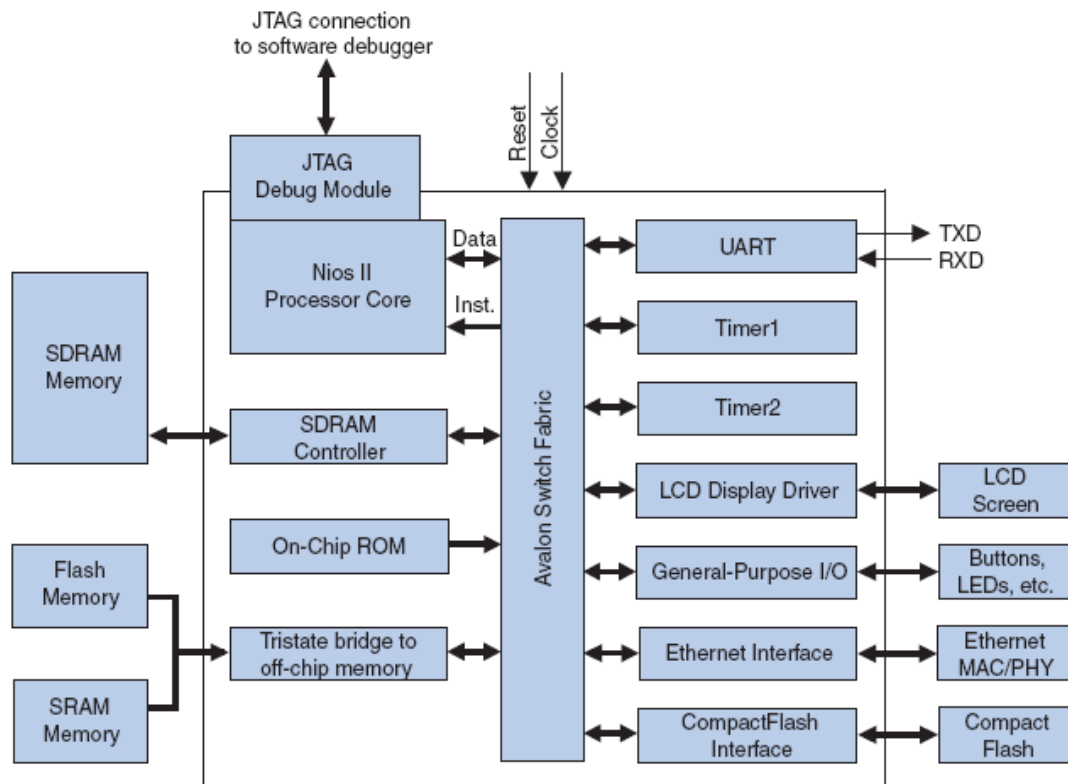
O Nios II é um processador *soft-core*, pois a plataforma é flexivelmente modificável e é apresentado como um núcleo *soft*, ou seja, não é uma pastilha de silício pronta, é representado através de um projeto codificado em uma linguagem de descrição de hardware, como VHDL ou Verilog e pode ser implementado em qualquer FPGA da família Altera que o suporte [Peron, 2007].

Um sistema com processador Nios II é equivalente a um microcontrolador ou um SoC (*system-on-chip*) que inclui uma CPU e uma combinação de periféricos e memória em um único chip. O termo “sistema do processador Nios II” se refere a um core do processador Nios II, um conjunto de periféricos *on-chip*, memória interna e interfaces para memória externa, tudo implementado em um único chip FPGA da Altera. Do mesmo modo que uma família de microcontroladores, todos os sistemas do processador Nios II usam um conjunto de instruções e um modelo de programação consistentes (PERON, 2007). Uma das principais diferenças entre o processador Nios II e os microcontroladores consiste em seu conjunto flexível de periféricos. Devido à natureza *soft-core* do processador Nios II, os projetistas podem desenvolver sistemas sob demanda com o conjunto exato de periféricos necessários para as aplicações desejadas.

O processador Nios II se comunica com um barramento de interconexão denominado Avalon. O Avalon é um barramento especial que prioriza a velocidade de transmissão de dados, permitindo conexões em paralelo. Este barramento é responsável pela integração do núcleo de processamento e os demais dispositivos, como memória, temporizadores,

periféricos de entrada e saída, e outros. A Figura 5 apresenta um exemplo de um sistema Nios II.

Figura 5 - Exemplo de sistema com Nios II



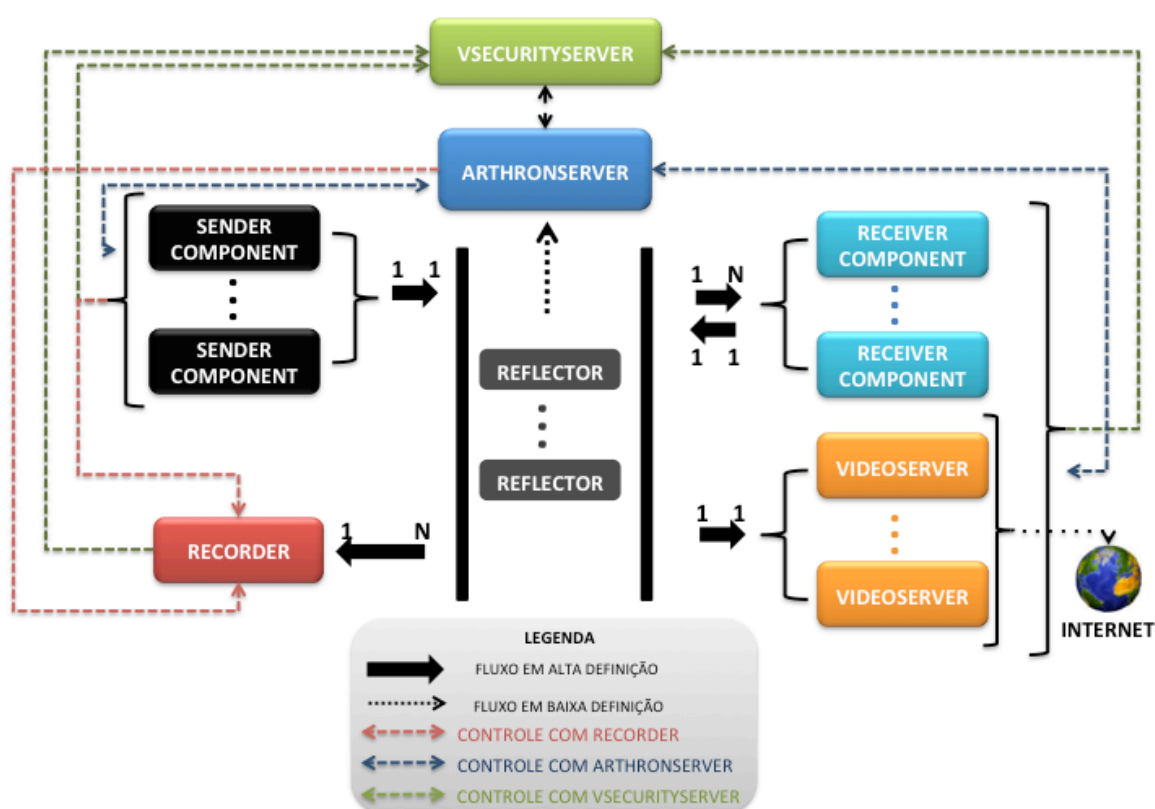
A característica de configurabilidade do Nios II não implica necessariamente que o projetista do sistema tenha que configurar um novo processador Nios II para cada projeto. A Altera fornece núcleos prontos do processador Nios II que os projetistas podem usar sem que seja necessário fazer nenhuma alteração, caso algum destes núcleos atendam aos requisitos do seu projeto.

Atualmente a Altera fornece três núcleos do processador Nios II. Nios II/f (versão rápida), Nios II/e (versão econômica) e Nios II/s (versão padrão). As versões Nios II/s e Nios II/f oferecem ainda, respectivamente, 5 e 6 estágios de pipeline e previsões de salto estático e dinâmico. Ambas possuem cache de instruções e somente a versão Nios II/f possui cache de dados, todas parametrizáveis. A versão Nios II/e não possui muitas características para o aumento de desempenho, entretanto possui um tamanho menor em elementos lógicos, podendo ser utilizado em quantidade maior em um FPGA para o aumento do desempenho [Carvalho, 2007].

2.7 Arthron

Arthron é uma ferramenta desenvolvida pelo Laboratório de Vídeo Digital da UFPB inicialmente no âmbito do Grupo de Trabalho de Mídias Digitais e Artes da RNP (GTMDA) e atualmente no Grupo de Trabalho Ambiente de Vídeo Colaboração em Saúde (GTAVCS). Sua funcionalidade principal é a manipulação e o controle remoto de diversos pontos de captação e exibição de conteúdo audiovisual. [Melo, 2010] [Vieira et. al. 2011]

Figura 6 - Arquitetura Arthron



Na versão atual da ferramenta foram adicionados novos requisitos tais como transmissão segura e suportes a vídeo em alta definição [Vieira et. al. 2012]. Além disso a integração com a infraestrutura de transmissão já existente da Rede Universitária de Telemedicina (RUTE) permite uma maior expansão e flexibilidade da ferramenta.

Na Figura 6 pode-se observar a arquitetura da ferramenta. Esta arquitetura permite que componentes se comportem ora como componentes de envio (sender component) ora como componente de recepção (receiver component). A demanda gerada pelo gerente (Arthron Server) é que irá determinar como um dado componente irá de comportar.

A forma de comunicação entre o Arthron Server e os outros módulos se dá através de *Web Service*, que é uma solução utilizada na integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes. Os *Web Services* são componentes que permitem às aplicações enviar e receber dados em formato XML.

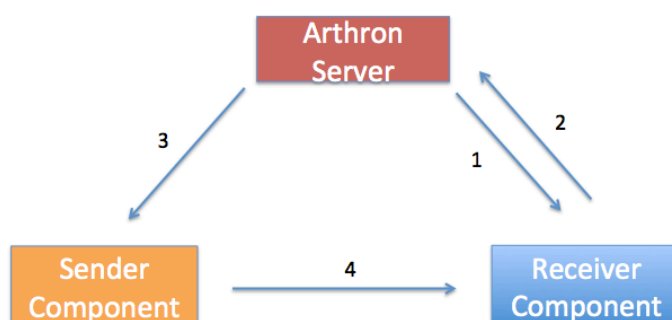
Sendo assim, há um conjunto de métodos básicos definidos que devem ser implementados em cada um dos componentes de forma que quando o Arthron Server execute a chamada, o componente se comporte da maneira adequada.

Antes de realizar a transmissão dos fluxos cada um dos componentes deve autenticar-se com o Arthron Server e informar quais são as suas capacidades, isto é, determinado módulo pode ser capaz de enviar áudio e vídeo em alta definição, outro pode ser capaz de receber apenas áudio em baixa definição, outro pode ser capaz de enviar apenas vídeo em baixa definição, etc. A autenticação é feita em conjunto com o componente VSecurityServer.

Informadas as capacidades, o Arthron Server pode, a partir de agora, gerenciar cada uma delas.

A Figura 7 ilustra como se dá a comunicação entre o Arthron Server e os componentes conectados.

Figura 7 - Comunicação Entre Componentes da Arthron



O primeiro passo, representado pela flecha número 1, é realizado pelo Arthron Server e consiste em solicitar a um determinado componente que se prepare para receber determinado fluxo. Esta solicitação deve ser baseada nas capacidades informadas no momento da conexão. Um exemplo de passo 1, seria solicitar ao componente que se prepare para receber um fluxo de áudio e vídeo de alta definição.

O segundo passo, ilustrado na Figura 7 pela flecha de número 2, consiste na resposta ao passo 1. O componente deve informar ao Arthron Server que está pronto para executar o que foi solicitado bem como enviar os parâmetros necessário para que a comunicação seja feita. Por exemplo, em resposta ao passo 1, exemplificado no parágrafo acima, seriam informados um ip e uma porta para onde deve ser enviado o fluxo de áudio e vídeo de alta definição.

O terceiro passo pode ser observado pela flecha 3, é realizado também pelo Arthron Server e consiste na solicitação de envio de determinado fluxo a um componente que esteja conectado e tenha esta capacidade. Nesta mesma solicitação, o Arthron Server informa para onde deve ser enviado este fluxo. Por exemplo, o Arthron Server solicitaria o envio de um fluxo de áudio e vídeo em alta definição para ip e porta informados no parágrafo anterior pelo passo 2.

Por fim, no passo representado pela flecha 4, a transmissão é realizada. Todas estas mensagens entre o Arthron Server e os componentes conectados, são trocadas através de *Web Service*.

2.8 Ferramentas de desenvolvimento

Nesta sessão são apresentadas as diversas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do InteliCare. Estão elencadas conforme a ordem do uso ao longo do trabalho. Trata-se inicialmente do IAR Workbench que é o ambiente de desenvolvimento dos firmwares para os nós de rede sem fio, depois trata-se do Quartus II e SOPC Builder, ferramentas utilizadas para desenvolvimento do hardware prototipado no chip FPGA. Por fim são apresentados o ambiente de programação NIOS II IDE utilizado para o desenvolvimento do software que roda no chip FPGA e o NetBeans IDE, que abarca programação em java para desenvolvimento do sistema de monitoramento.

2.7.1 IAR Workbench

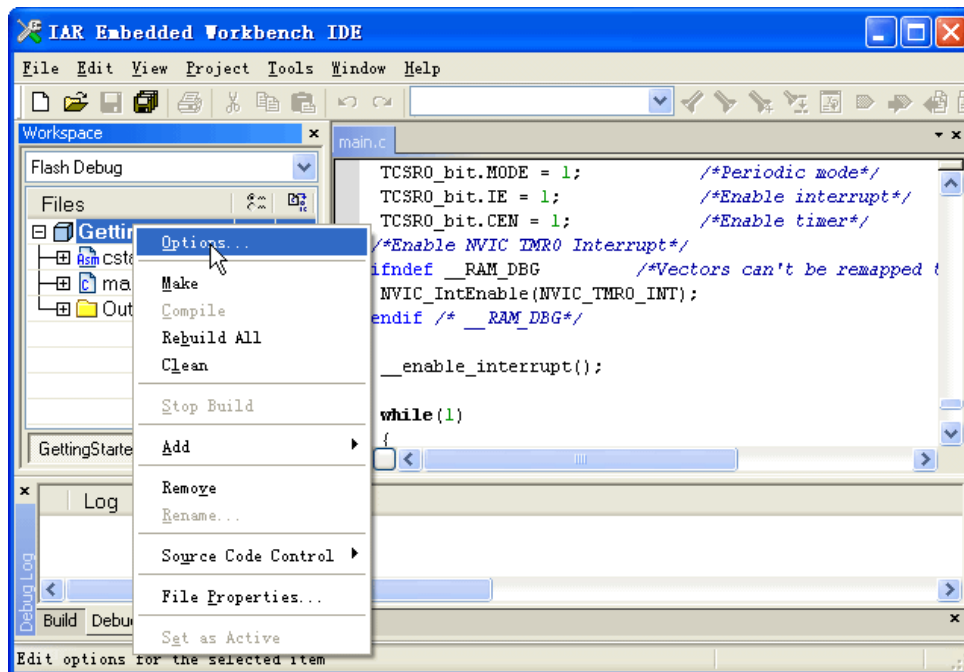
O IAR Workbench é um ambiente proprietário [IAR, 2012] de desenvolvimento integrado com compilador e módulo para debug de softwares que irão executar em microcontroladores diversos.

Suporta programação em C, C++ e a Assembly e abarca mais de 30 famílias de processadores. Além disso possui vasta documentação e interface amigável, sendo facilmente

manipulado. Possui um poderoso modo debug, permitindo visualizar a execução comando a comando diretamente no processador.

Para o desenvolvimento do InteliCare o IAR Workbench foi utilizado para programação tanto do nó final quanto do nó coordenador da rede sem fio. A Figura 8 ilustra a interface do IAR Workbench.

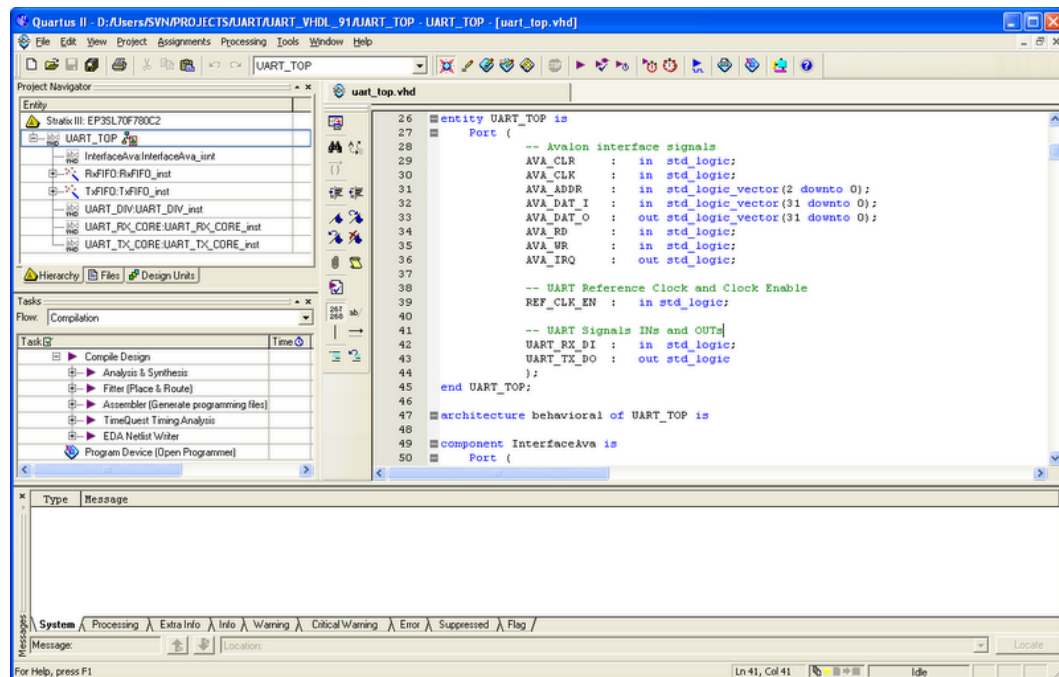
Figura 8 - IAR Workbench



2.7.2 Quartus II

O Quartus II é uma ferramenta desenvolvida pela Altera [Altera, 2012] que possibilita o desenvolvimento de projetos para uma ampla variedade de famílias de FPGA da Altera. A descrição de um projeto pode ser feita através de linguagens de programação de hardware como Verilog, VHDL ou AHDL.

Figura 9 - Quartus II



Na Figura 9 é possível visualizar o Quartus II.

O software Altera Quartus II fornece um completo ambiente de projeto multiplataforma que se adapta facilmente às necessidades específicas de concepção. Trata-se de um ambiente global para projetos de sistema em chips programáveis (*system-on-a-programmable-chip* - SOPC). O software Quartus II versão 8.0, inclui soluções para todas as fases de projetos de FPGAs e CPLDs.

2.7.3 SOPC Builder

O SOPC Builder é uma poderosa ferramenta de desenvolvimento da Altera que vem integrada ao software Quartus II e que permite definir e gerar um sistema completo em um chip programável (*system-on-a-programmable-chip* - SOPC), em muito menos tempo do que utilizando métodos tradicionais.

O SOPC Builder integra uma biblioteca de componentes pré-fabricados (incluindo processadores Nios II, controladores de memória, interfaces e periféricos) e uma interface personalizada para adição de componentes desejados. As interconexões entre os componentes da arquitetura são feitas automaticamente pela ferramenta através do barramento Avalon.

Através do SOPC Builder, um projetista pode facilmente modificar a arquitetura do sistema e configurar os dispositivos de hardware para atuarem da forma desejada.

2.7.4 IDE Nios II

O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Nios II® é a principal ferramenta para o desenvolvimento de software para a família de processadores embarcados Nios II. O IDE Nios II é baseado no IDE Eclipse utilizando as ferramentas de desenvolvimento C/C++ CDT (*C/C++ Development Tools*). [www.eclipse.org]. Ele oferece todas as características esperadas de um ambiente de desenvolvimento de projetos de software profissional (gestor de projeto, editor código, depurador, etc.), mas também oferece recursos adicionais para aumentar a produtividade em FPGA baseado no desenvolvimento do sistema. Estas incluem: [Zammattio, 2006]

- Importação de todos os parâmetros de hardware relevantes para o ambiente de software
- Geração de uma biblioteca ANSI "C" que é customizado para o sistema de hardware
- Inclusão automática e configuração dos controladores de periféricos Funções ANSI "C" e UNIX para auxiliar classes de dispositivo padrão
- Um framework pré-definido para a criação de controladores de periféricos que são captadas a partir de dependências de hardware

Quando o sistema de hardware é criado, a ferramenta SOPC Builder grava todos os parâmetros do sistema em um formato de arquivo de texto simples (*.ptf). Este arquivo contém informações sobre a configuração de cada componente e como ele tem sido conectado dentro do sistema. Quando o desenvolvedor de software cria um novo projeto a IDE solicita a localização do arquivo .ptr no sistema. A informação contida neste arquivo é então usada para criar um ambiente de desenvolvimento de software adaptado para corresponder ao processador e a configuração do sistema.

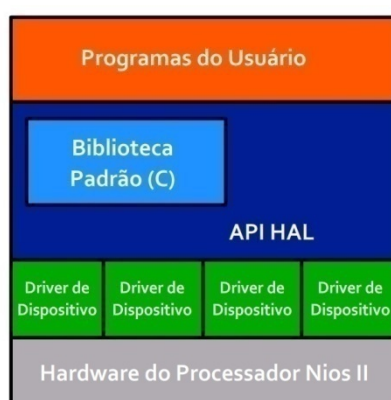
Um arquivo chamado *system.h* é criado após a análise do arquivo *.ptf*. O *system.h* contém toda a informação relevante de hardware para o processador, periféricos e configuração do sistema, sob a forma de declarações *#define* claramente especificadas para cada parte do sistema. Isto significa que essa biblioteca pode ser utilizado ao longo de todo o sistema de software para abstrair todos os detalhe de hardware a partir da aplicação desenvolvida. Por exemplo, o IDE constrói uma biblioteca ANSI 'C', com base no código fonte da *newlib*, que foi adaptado para corresponder à configuração do processador; isto é

muito importante para características como sistema de inicialização, interromper *handlers* e gerenciamento de código em cache [Zammattio, 2006].

A fim de delimitar claramente a aplicação e o código do sistema de hardware específico, o Nios II IDE cria dois subprojetos, um projeto de aplicação e um projeto de biblioteca do sistema. O projeto de aplicação é usado pelo desenvolvedor para adicionar e gerenciar os arquivos usados para criar a aplicação. O sistema de biblioteca contém todo o hardware específico para as funções para abstrair todos os detalhes de hardware do desenvolvedor, por isso é conhecida como a biblioteca de sistema *Hardware Abstraction Layer* (HAL). Esta biblioteca oferece um consistente ambiente de programação C / C++, independentemente das características de hardware subjacentes ao sistema e separa o código da aplicação do código dos dispositivos de hardware.[Anjos, 2009]

O sistema de bibliotecas HAL é um ambiente leve que proporciona uma interface simples do controlador de dispositivos para os programas se comunicarem com a camada de hardware. A interface do programa de aplicação (API) HAL está integrada com o padrão ANSI C e permite o acesso à biblioteca e dispositivos periféricos e arquivos usando biblioteca e funções familiares de C, tais como *printf()*, *fopen()*, *fwrite()*, etc. Um exemplo do sistema de bibliotecas pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 - Abstração do Hardware do sistema de Bibliotecas HAL a partir de uma aplicação do usuário



O sistema de bibliotecas HAL provê os seguintes serviços:

- Integração com a biblioteca *newlib* do padrão ANSI C (Funções Familiares da biblioteca padrão);
- Drives de dispositivos periféricos (Acesso a todos os dispositivos periféricos do sistema);

- API HAL (Provê um consistente padrão de estilos de interfaces UNIX para os serviços HAL);
- Inicialização do sistema (Executa as tarefas de inicialização para o processador);
- Inicialização de dispositivos (Instancia e inicializa os dispositivos no sistema antes do `main( )`).

2.7.5 NetBeans IDE

O NetBeans é um ambiente integrado gratuito de desenvolvimento mantido pela Oracle Corporation. Oferece suporte para as linguagens Java, PHP, C, C++, Ruby, entre outras.

O NetBeans fornece uma base sólida para a criação de projetos e módulos, possui um grande conjunto de bibliotecas e vasta documentação. Além disso possui plugins para UML, permite a criação de interfaces com o recurso *drag and drop*, isto é, com poucos cliques é possível ter uma interface de usuário.

Uma das grandes vantagens do Netbeans é a flexibilidade de executar em qualquer sistema operacional que possua instalado a máquina virtual java.

No desenvolvimento da infraestrutura apresentada nesta dissertação o Netbeans foi utilizado para programação do sistema central de monitoramento apresentado no próximo capítulo.

Capítulo

3

InteliCare – Infraestrutura para Monitoramento de Pacientes

A infraestrutura de monitoramento de pessoas em situação de internação domiciliar apresentada neste trabalho é composta por três subsistemas: um sistema telemétrico para captação de sinais biológicos, um sistema embarcado em FPGA para tratamento dos dados recebidos pelo sistema de captação e um sistema de monitoramento para receber, armazenar e visualizar os dados processados pelo sistema de tratamento. A união desses três subsistemas compõe uma infraestrutura denominada InteliCare, capaz de obter dados de sensores remotos, processá-los e enviá-los até centrais de controle e monitoramento.

Este sistema, integra redes de sensores sem fio com tecnologia ZigBee e sistemas embarcados em FPGA para processamento e distribuição dos dados coletados pela RSSF, possibilitando o monitoramento e a distribuição de informações sobre a situação clínica atual do paciente.

A obtenção de informações como Eletrocardiograma, Temperatura e Saturação de Oxigênio no Sangue, por exemplo, é de grande valia para uma equipe médica remotamente instalada em uma central de monitoramento. Através destas informações é possível obter um quadro clínico do paciente em tempo de execução e sem a necessidade de aferir presencialmente a pessoa monitorada.

De posse destas informações a equipe localizada na central de controle pode orientar o cuidador sobre como proceder em determinada situação bem como acionar equipes de emergência caso seja necessário. Esta análise das informações online permitem tomadas de decisões mais precisas com pacientes que têm um alto potencial de intercorrência.

A Figura 11 ilustra uma visão geral da infraestrutura InteliCare. Os pontos 1 identificam os pacientes em situação de internação domiciliar. Podem-se observar que em

todos há a presença de um cuidador. Este cuidador não necessariamente tem formação na área de saúde mas geralmente possui um conhecimento mínimo sobre como realizar determinados procedimentos corriqueiros para o paciente em questão.

O ponto 2 ilustra a convergência de todas as informações referentes ao quadro clínico dos pacientes monitorados para a rede mundial, de forma a permitir que os pontos de interesse representados pelos números 3, 4 e 5 recebam, visualizem e tomem decisões a partir destas informações. Os pontos de interesse podem ser médicos conectados a internet através de smartphones, grandes centros médicos, bem como, centrais de monitoramentos dos planos de atenção domiciliar.

Figura 11 - Visão geral do InteliCare



A seguir são detalhados cada um dos subsistemas que compõe a infraestrutura de monitoramento InteliCare. Começando pela captação dos sinais e finalizando com o sistema de monitoramento.

3.1 Sistema de Captação de Sinais

O sistema de telemetria para captação dos sinais é constituído por sensores e módulos de transmissão por rádio frequência (nó final) e em um ponto fixo (coordenador) formando uma rede de sensores sem fios em topologia estrela com tecnologia ZigBee a qual possibilita o monitoramento dos pacientes em situação de internação domiciliar nos pontos abrangidos

pela rede. Esta rede é responsável pela captação dos dados obtidos pelos sensores e pelo envio destes dados até uma Estação Base (EB) onde um sistema embarcado tratará e enviará os dados tratados para uma Central de Monitoramento (CM). A Figura 12 posicionada mais a frente ilustra os componentes mencionados.

As próximas seções descrevem como é feita a montagem e configuração das redes ZigBee.

3.1.1 Montagem e configuração da Rede ZigBee

Para este trabalho foram utilizadas redes com topologia estrela. Foi escolhida esta topologia dada a característica da aplicação, que não necessita de grandes distâncias e, portanto, é possível conectar os nós finais diretamente aos coordenadores sem a necessidade de roteadores.

3.1.2 Componentes da Rede

A rede de sensoriamento sem fio que foi instalada é constituída por dois módulos ZigBee, chamados de Estações Móveis (EM) e Estações Base (EB). Cada um desses módulos realiza uma função específica dentro da rede, que é definida pelo tipo e pelas configurações do firmware instalado no módulo.

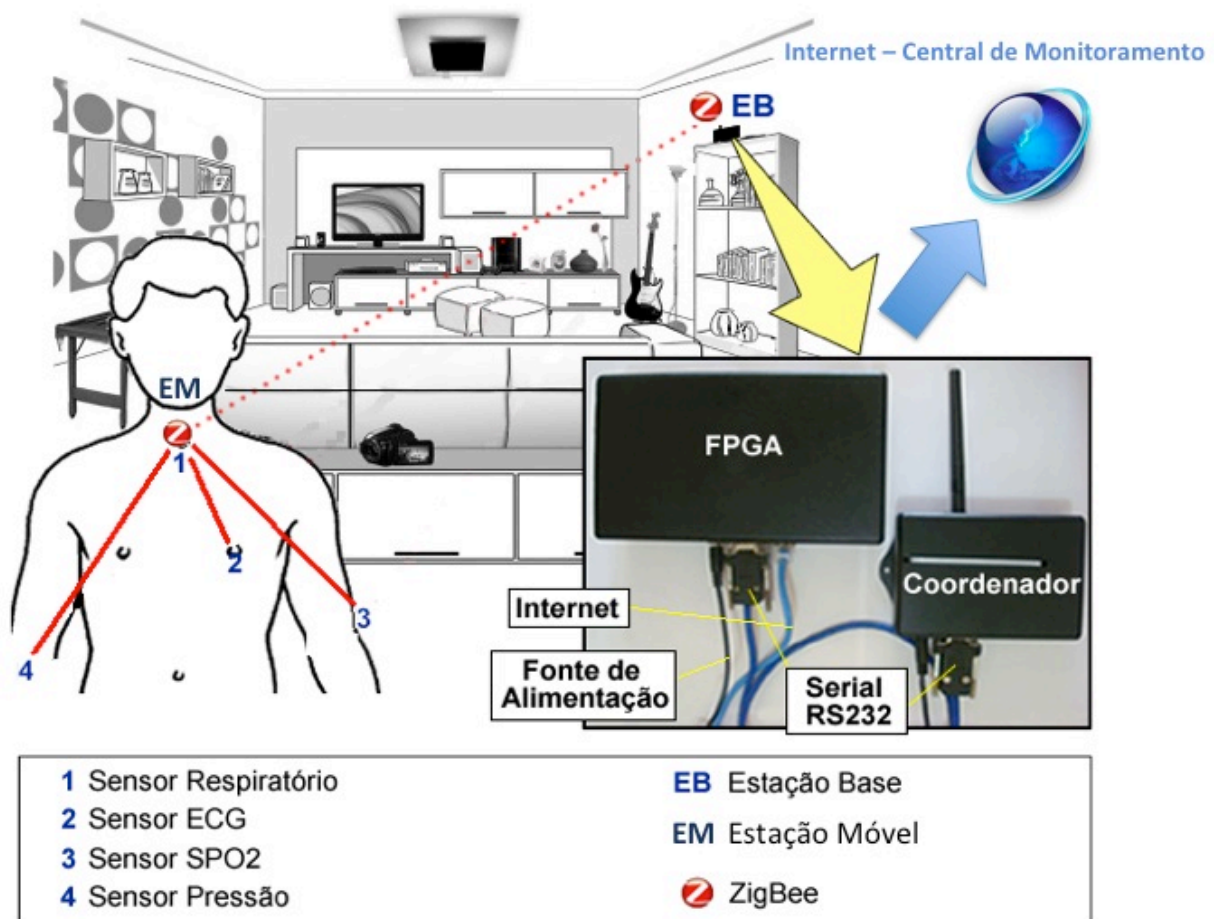
Estação Móvel (EM): Cada estação móvel é constituída por um dispositivo ZigBee configurado para atuar como nó final. Este dispositivo deve ficar junto a pessoa monitorada e possui 8 entradas disponíveis para sinais de sensores diversos. Neste trabalho foi utilizado um banco de dados de sinais já digitalizados com Eletrocardiograma, Eletroencefalograma, Saturação do Oxigênio (Oximetria), Respiração e Pressão Arterial. Na Estação Móvel também há um processamento do sinal. A idéia foi a capacidade de processamento do nó final da rede para comprimir os dados recebidos e diminuir a largura de banda utilizada e assim resolver o problema apontado em Hsu et al. (2009). Dado que o uso de memória é restrito bem como o consumo de energia, o algoritmo usado deve atender a estes requisitos e não ter perdas. O algoritmo utilizado foi o de Glomb-Rice.

Estação Base (EB). Constitui-se de um dispositivo ZigBee configurado para atuar como nó coordenador da rede conectado a um FPGA através de uma interface serial (UART). Através desta conexão os dados são transferidos do coordenador para o FPGA onde um sistema embarcado processa os dados recebidos e os envia para uma Central de Monitoramento. Este sistema é descrito na próxima seção.

A Figura 12 ilustra a disposição dos nós da rede no ambiente real e a sua comunicação com a EB, composta pelo coordenador da rede e pelo sistema de tratamento. Observa-se que o paciente monitorado está equipado com alguns sensores como Respiratório, ECG, SPO2 e Pressão Arterial. Estes sensores estão ligados em entradas do nó final que, recebe os dados contendo as medidas realizadas, comprime-os e envia até a estação base por meio do protocolo Zigbee. O conjunto sensores mais nó final compões a Estação Móvel.

Na Figura pode-se observar também a comunicação da EB com a internet para envio dos dados até a Central de Monitoramento. Esta comunicação pode ser feita pela rede de dados 3G, bem como, pode ser enviada diretamente pela EB. Neste trabalho as tecnologias utilizadas permitem o envio dos dados direto da EB para a internet.

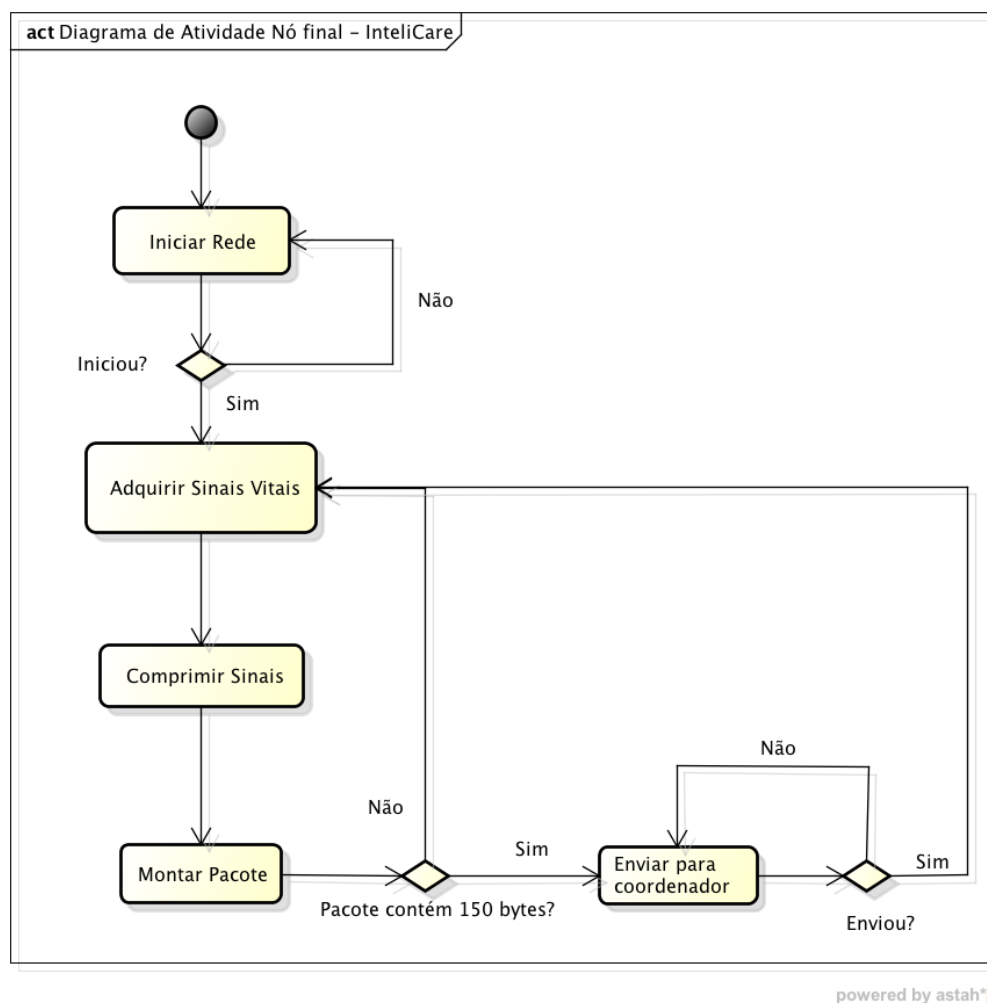
Figura 12 - Sistema de Captação e Sistema de Tratamento do InteliCare



O diagrama de atividades representado pela Figura 13 ilustra as ações realizadas pela EM durante o seu funcionamento. O primeiro passo é iniciar a interface de rede, isto é, se conectar ao módulo coordenador e informar o seu endereço para que a transmissão seja iniciada. O próximo passo é adquirir os sinais desejados que podem variar de acordo com a necessidade do paciente monitorado bem como com a capacidade do hardware utilizado. Após a aquisição dos sinais é realizada a compressão destes dados até que seja montado um pacote de 150 bytes que é o *payload* máximo da rede, isto é, é a quantidade máxima de informação que pode ser enviada por pacote.

Por fim o pacote é enviado até o coordenador da rede.

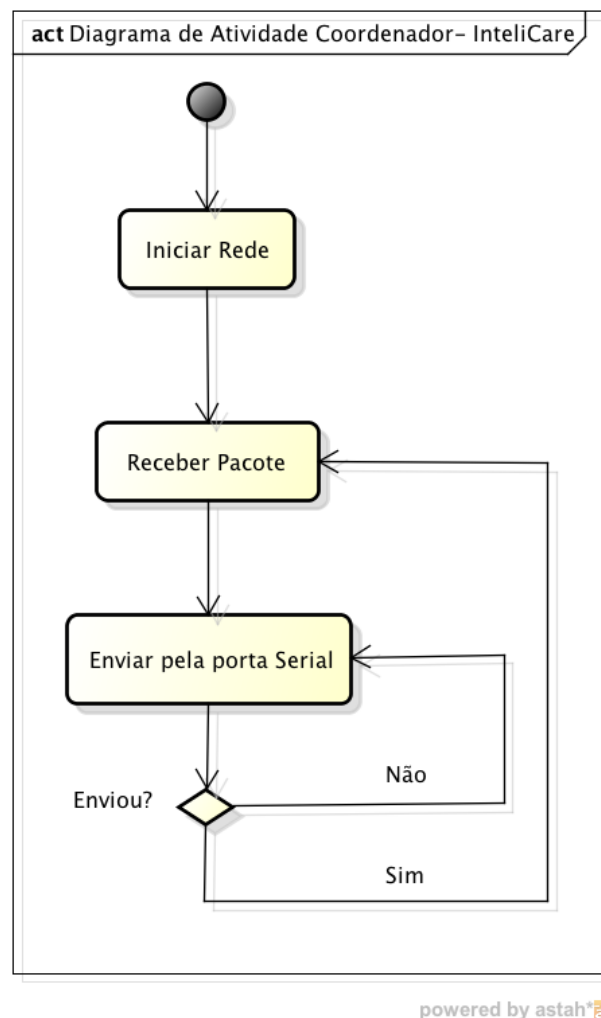
Figura 13 - Diagrama UML de Atividade Nó Final



O outro módulo envolvido no sistema telemétrico é o nó coordenador da rede. O diagrama da Figura 14 a seguir ilustra as atividades realizadas por ele durante o funcionamento do sistema.

A exemplo do nó final da rede, o primeiro passo aqui também é iniciar a interface de rede de forma a permitir que outros módulos se conectem a ele. É montada a tabela de endereços e a transmissão pode ser iniciada. O segundo passo é receber os pacotes transmitidos pelo nó final e enviá-los através da porta serial para, no caso do InteliCare, o módulo de tratamento que faz parte da Estação Base.

Figura 14 - Diagrama UML de Atividades Coordenador



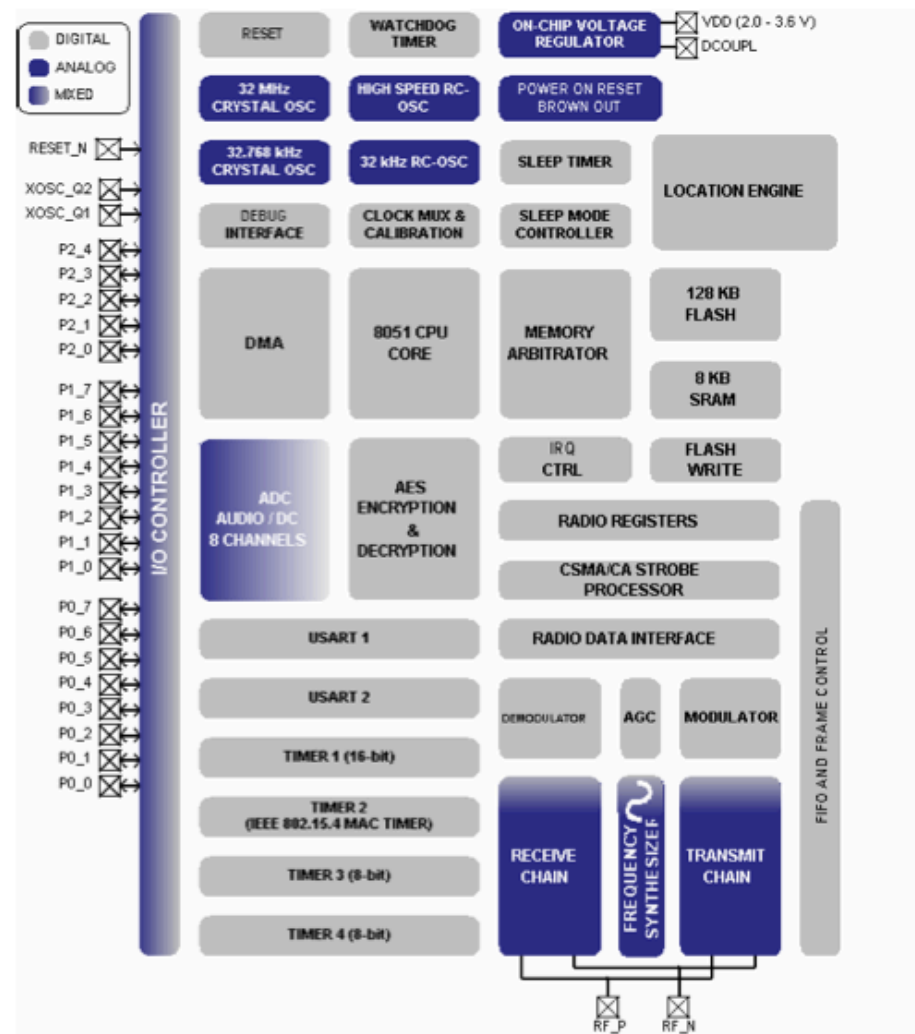
3.1.3 Hardware Utilizado

Para permitir a validação da infraestrutura proposta faz-se necessária a montagem e configuração da rede Zigbee. Sendo assim foi adquirido um kit de prototipação que se adequasse aos requisitos da infraestrutura. São eles: baixo consumo, frequência de aquisição de pelo menos 360Hz, 8 canais de entrada, resolução da conversão analógico digital entre 10 e 12 bits.

O kit escolhido tem como chip principal SoC SOC (*System-On-Chip*) CC2431 [Texas Instruments, 2012] e seu diagrama de blocos pode ser visualizado na Figura 15 e suas principais características são:

- Módulo de posicionamento em hardware
- Microcontrolador 8051 de alta performance
- Transceiver de rádio frequência operando em 2.4GHz
- Utilização do padrão IEEE 802.15.4
- Suporte a pilha de protocolo Z-Stack
- Receptor sensível e com alta imunidade a ruídos
- 128KB de memória flash
- 8KB de memória RAM
- DMA
- Baixo consumo de corrente (RX: 27mA, TX: 27mA para um clock de 32MHz)
- Apenas $0,5 \mu A$ de consumo de corrente no modo sleep (baixo consumo)
- Rápida transição do modo sleep (baixo consumo) para o modo normal.
- Suporte em hardware para CSMA/CA
- Sensor de temperatura
- Conversos AD com oito canais de entrada e resolução configurável até 12 bits
- Coprocessador para criptografia com o algoritmo AES utilizando 128 bits
- Ferramentas de desenvolvimento acessíveis e fáceis de usar

Figura 15 - Diagrama de Blocos CC2431



Fonte: Texas Instruments, 2012

3.2 Sistema de Tratamento Local de Dados

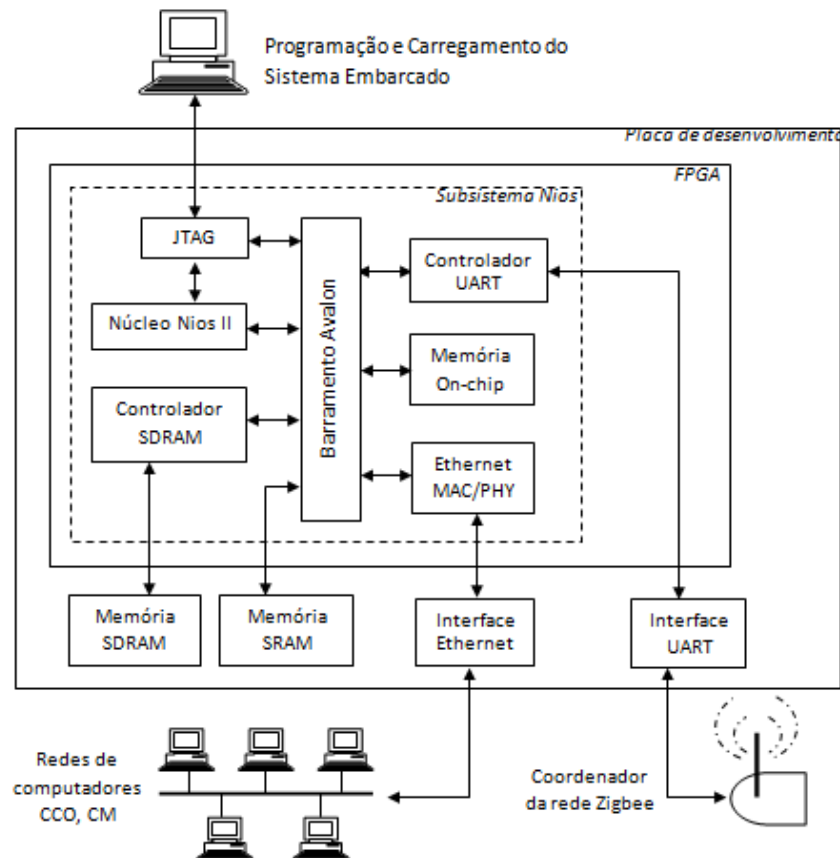
O sistema de tratamento de dados compõe as EBs e é responsável pela recepção dos dados do coordenador da RSSF, por seu processamento e envio destes dados para a Central de Monitoramento.

O hardware deste sistema é composto por um módulo ZigBee coordenador e um kit com um sistema embarcado (Figura 16), conectados através de uma interface serial.

O uso de um FPGA para implementação do sistema de tratamento, além de possibilitar sua instalação em qualquer ponto de uma casa ou apartamento, atribui ao sistema flexibilidade

na atualização de softwares, oferece possibilidades simples de expansão e facilita sua manutenção. Como o sistema de tratamento embarcado é dedicado a tarefas específicas, pode-se aperfeiçoar o projeto reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo final do produto.

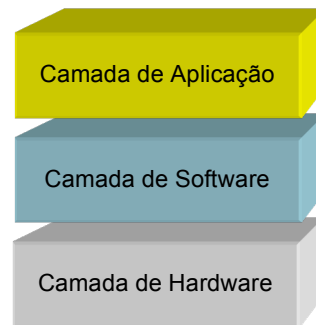
Figura 16 - Arquitetura do Sistema de Tratamento



3.2.1 Arquitetura do sistema de tratamento

O modelo arquitetural utilizado para este trabalho foi apresentado por Noergaard (2005). Este padrão define uma formação típica de um sistema embarcado dividido em camadas interdependentes: camada de hardware, camada de software de sistema e camada de aplicação, como pode ser visto na Figura 17. Para qualquer sistema embarcado a camada de hardware deve estar presente. Entretanto, algumas modelagens abstraem as camadas de software e aplicação tornando essas camadas opcionais para determinadas implementações. Embora dispensáveis como na arquitetura de Noergaard, essas camadas são bastante importantes para se obter as vantagens da modelagem arquitetural.

Figura 17 - Modelo de Arquitetura de um Sistema Embarcado



3.2.1.1 Camada de Hardware

Para desenvolvimento do protótipo para o projeto, foi utilizado um kit de desenvolvimento Nios II, edição Stratix (Figura 18) [Altera Stratix, 2012]. Este kit consiste em uma placa que provê uma plataforma de hardware e software para o desenvolvimento de sistemas embarcados baseados nos dispositivos da família Stratix da Altera. Os principais dispositivos presentes nesta placa são:

- Um FPGA Stratix™ EP1S10F780C6
- 8 Mbytes de memória flash
- 1 Mbyte de RAM estática
- 16 Mbytes de SDRAM
- Duas portas seriais RS232 DB9
- Interface Ethernet (MAC/PHY)
- Conectores JTAG para conexão com dispositivos da Altera.
- Circuito oscilador para clock de 50 MHz.

Figura 18 - Placa da Altera com FPGA para desenvolvimento de sistemas com Nios II

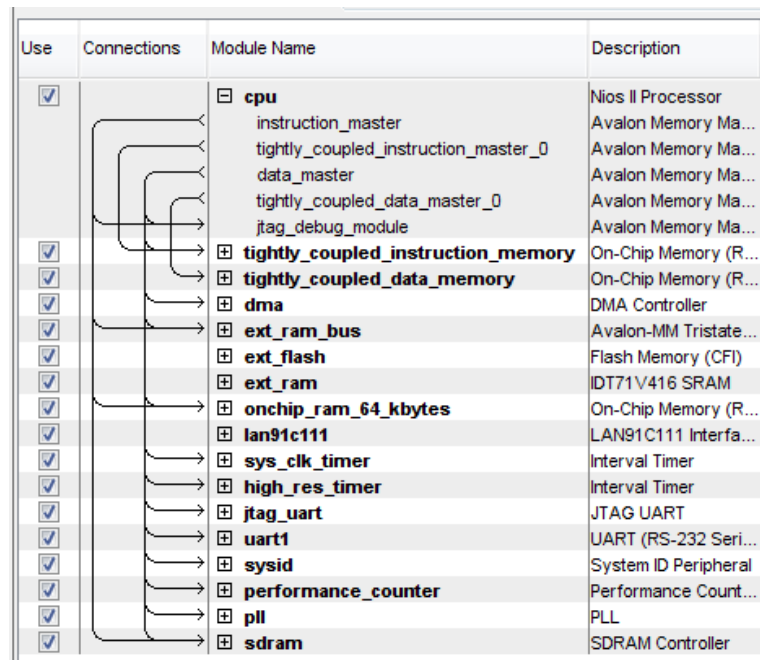


Além dos componentes citados acima, a placa ainda possui 41 pinos de I/O aos quais podem ser conectados LEDs, display de sete segmentos e botões. A Figura 18 demonstra um esquema com todos os componentes da placa de desenvolvimento utilizada.

O FPGA presente nesta placa possui 10570 elementos lógicos e 920448 bits de memória on-chip. Esta placa de desenvolvimento traz consigo projetos de referência do processador Nios II para que projetistas de hardware possam usá-los como exemplo para desenvolvimento de seus próprios projetos. Projetistas de software podem usar um projeto com um processador pré-programado na placa para começar a desenvolver software rapidamente. [Altera, 2007].

Para implementar o sistema embarcado no FPGA, primeiramente é necessário definir a arquitetura especificando e configurando sua estrutura interna e suas interfaces de entrada e saída para acesso aos periféricos necessários para a aplicação. Esta tarefa é realizada utilizando-se a ferramenta SOPCBuilder.

Figura 19 - Arquitetura projetada no SOPC Builder



A Figura 19 demonstra o projeto desta arquitetura no SOPC Builder.

Os principais componentes incluídos na arquitetura são:

- **Uma CPU Nios II** – Esta CPU foi configurada para usar como base o núcleo fast (Nios II/f) projetado para prover alta performance.
- **Uma interface UART** - Esta interface foi configurada com as mesmas configurações da porta serial do módulo ZigBee para permitir a comunicação e o recebimento dos dados deste dispositivo.
- **Uma interface Ethernet** - Esta interface permite a comunicação com a rede local e possibilita que o sistema envie os dados processados para o sistema de supervisão.
- **Memória on-chip** – Pequeno componente de memória que pode ser utilizado para armazenamento de instruções e dados para processamento rápido.
- **Memória SRAM** - Estes componentes podem ser utilizados pelo Nios como memórias de propósito geral.
- **Controlador de memória SDRAM** - Memória de maior capacidade onde os dados e arquivos do sistema são gravados.

- **Interface JTAG** - Permite a comunicação com o computador para carregamento e depuração do sistema.

Após a definição e configuração de todos os componentes, a arquitetura do sistema Nios II é então gerada. O SOPC Builder gera como resultado alguns arquivos contendo informações sobre a arquitetura projetada. Esses arquivos são:

- Um arquivo com a extensão .ptf que armazena o conteúdo do sistema de hardware criado pelo SOPCBuilder. Este arquivo é solicitado pela IDE Nios II para criar e compilar software para um hardware específico.
- Arquivos de linguagem de descrição de Hardware (HDL) - Estes são os arquivos com o projeto do hardware descritos no sistema do SOPC Builder e que são utilizados pelo Quartus na compilação do projeto.

Depois de gerar o sistema para o Nios II utilizando o SOPC Builder, é necessário integrá-lo ao projeto global do Quartus II. Utilizando o software Quartus, são realizadas todas as tarefas necessárias para criar o projeto final para o hardware do FPGA. São atribuídos pinos de I/O para sinais e pode-se ainda especificar requisitos de tempo e aplicar outras restrições. Finalmente, o projeto é compilado para produzir um arquivo objeto SRAM (.sof) para configurar o FPGA.

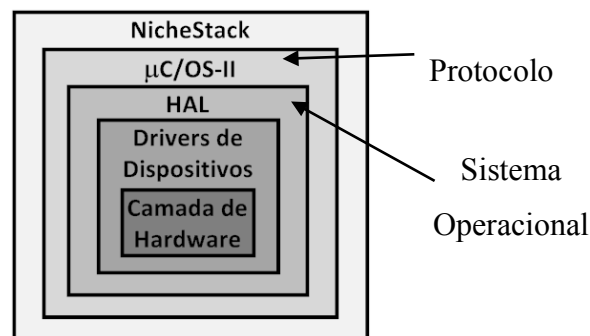
O arquivo de configuração (.sof) gerado na compilação do projeto no Quartus pode ser então carregado na placa através da interface JTAG utilizando um cabo USB-Blaster. Após a configuração, o FPGA se comporta conforme o especificado pelo projeto de hardware definido, que neste caso é um sistema processador Nios II.

3.2.1.2 Camada de Software

Seguindo o modelo de referência apresentado, a camada de sistema de software (Figura 20) é subdividida em *drives* de dispositivos, sistema operacional e biblioteca de funções. Inicialmente, cada periférico da plataforma Nios II deve fornecer um driver para que o software saiba utilizá-los corretamente, formando o conjunto dos *drivers* de dispositivos. A Altera oferece um alto nível de abstração ao fornecer uma biblioteca de funções em C denominada HAL (*Hardware Abstraction Layer*) que padroniza o uso dos *drivers* de tal forma que o programador possa utilizá-los pelo simples manuseio de funções GNU C. [ANJOS, ET. AL., 2008].

Para o gerenciamento dos vários processos de software que necessitam ser executados concorrentemente, a arquitetura proposta utiliza o sistema operacional $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ que é fornecido em uma versão especializada ao processador Nios II. Chamado de RTOS (*Real Time Operating System*), esse sistema operacional é descrito como portátil, escalável, possui um *kernel* de tempo real e um ambiente multitarefa [LABROSSE, 2002].

Figura 20 - Camadas de sistema de software



A interconexão com redes locais através da interface Ethernet é realizada utilizando a pilha de protocolo NicheStack TCP/IP que é uma implementação reduzida do protocolo TCP/IP.

3.2.1.3 Camada de Aplicação

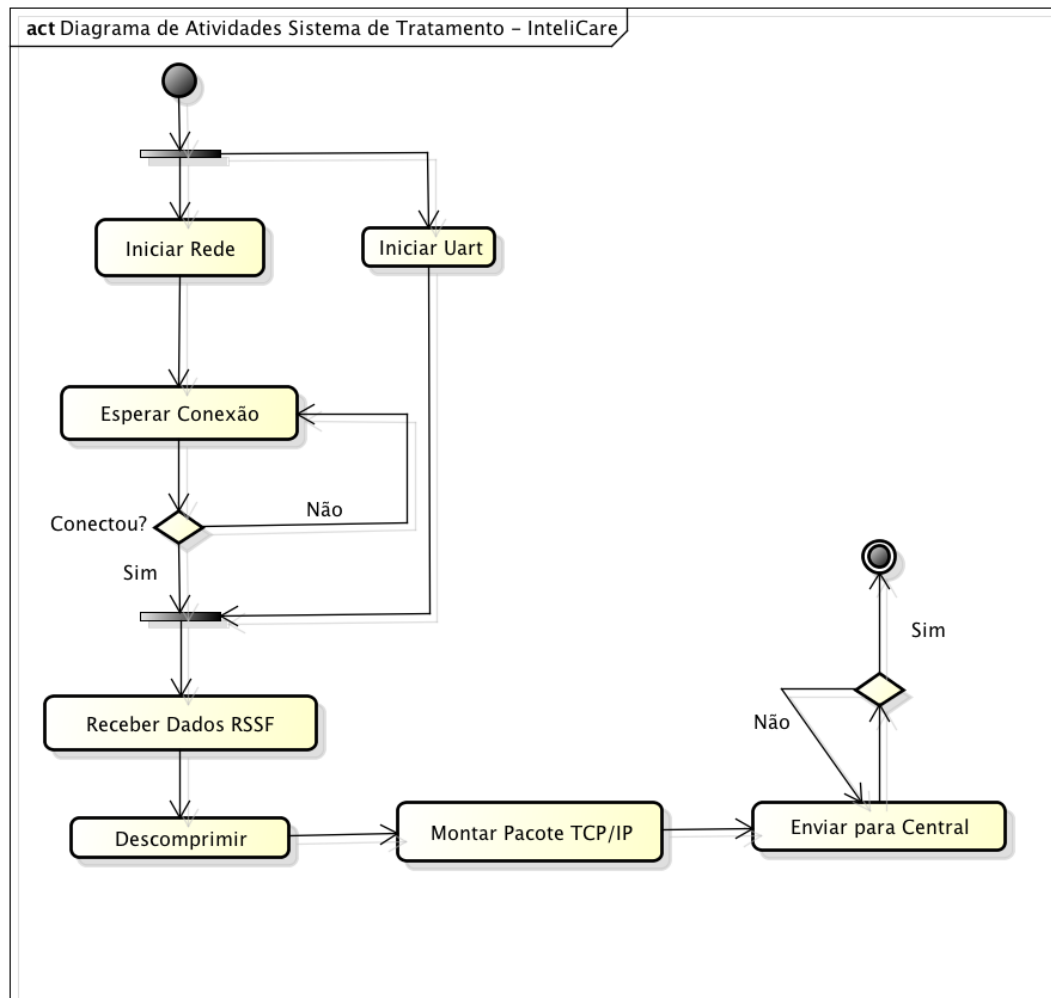
A camada de aplicação corresponde ao software para tratamento dos dados e distribuição dos dados tratados. Este software foi desenvolvido na linguagem C através da ambiente Nios II IDE e a Figura 21 a seguir ilustra as ações realizadas por este software.

O primeiro passo é iniciar as interfaces de comunicação de rede e serial. A interface Ethernet é o meio por onde os dados são enviados até o sistema central de monitoramento. Já a interface serial permite a comunicação com o nó coordenador da rede sem fio.

Após iniciar as interfaces de comunicação necessárias o sistema espera uma conexão do sistema de monitoramento. Esta conexão é realizada através de sockets TCP/IP de forma que o sistema embarcado em FPGA funciona como servidor e o sistema central de tratamento funciona como cliente.

Ao receber a conexão o próximo passo é receber os dados através da porta serial e descomprimi-los. Após a descompressão é montado um pacote TCP/IP para que seja enviado até a o sistema central de monitoramento.

Figura 21 - Diagrama UML de atividades do Sistema de Tratamento



powered by astah®

3.3 Sistema Central de Monitoramento

Um sistema supervisor permite que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são conhecidos como SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*). O objetivo deste sistema é propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o em tempo de execução de todos os eventos de importância da planta (Santos, 2007).

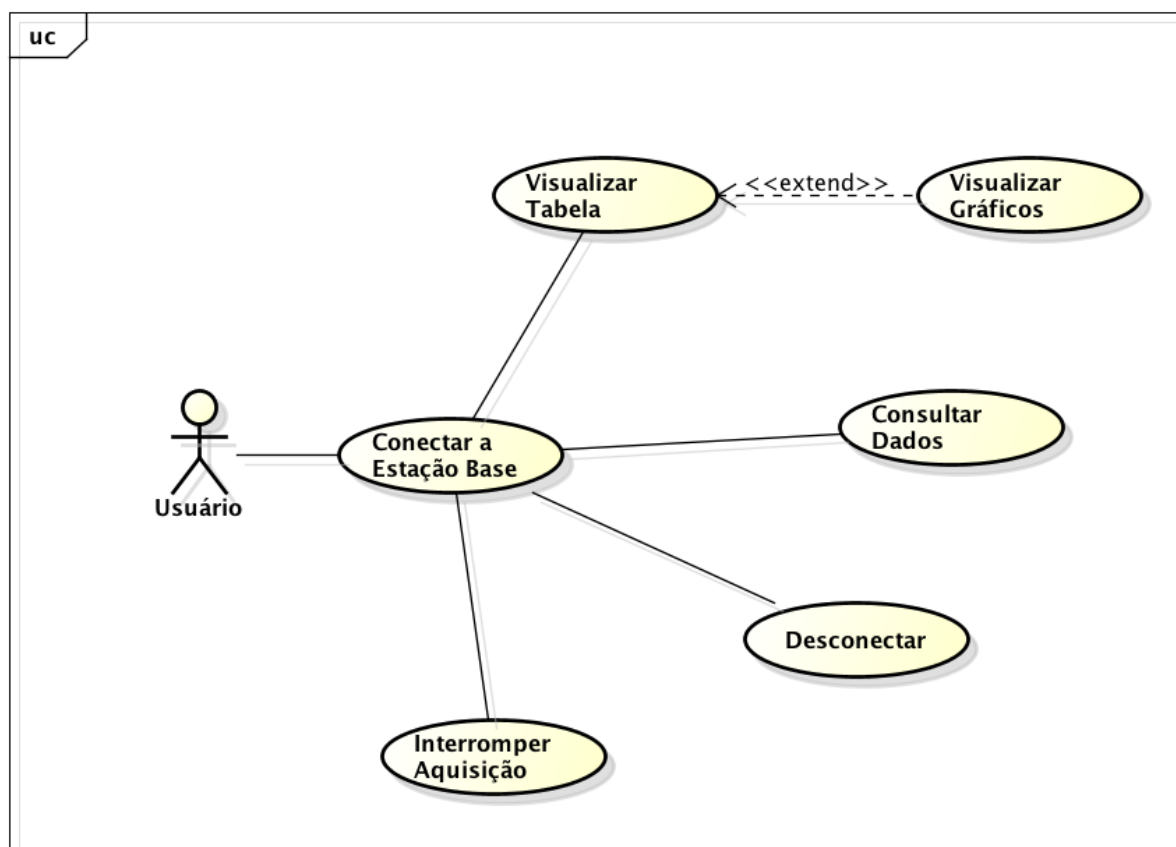
O sistema de supervisão deve ser utilizado em algum centro de monitoramento onde deve estar alocada uma equipe médica com especialistas que devem analisar e interpretar as informações recebidas e tomar decisões adequadas. Este sistema recebe os dados enviados

pela internet de todas as EBs, extrairá os dados referentes as medidas obtidas e mostrará em tempo de execução estas informações.

O sistema de supervisão é responsável pelo gerenciamento do armazenamento e visualização dos dados recebidos. Ele permite ao usuário visualizar o quadro clínico de cada paciente de maneira individual. Este sistema foi desenvolvido na linguagem de programação Java e neste trabalho serviu apenas como instrumento de validação dos módulos de captação e tratamento local, isto é, não contém funções específicas bem como não pode atender ainda a um usuário profissional.

A Figura 22 ilustra através de um Diagrama UML de Caso de Uso as ações que um usuário do sistema pode realizar. É possível ao usuário, se conectar a uma estação base e partir daí ter acesso aos dados em forma de tabela e gráficos. O usuário pode também desconectar a qualquer momento e parar a aquisição.

Figura 22 - Diagrama UML de Caso de Uso do Sistema Central de Monitoramento

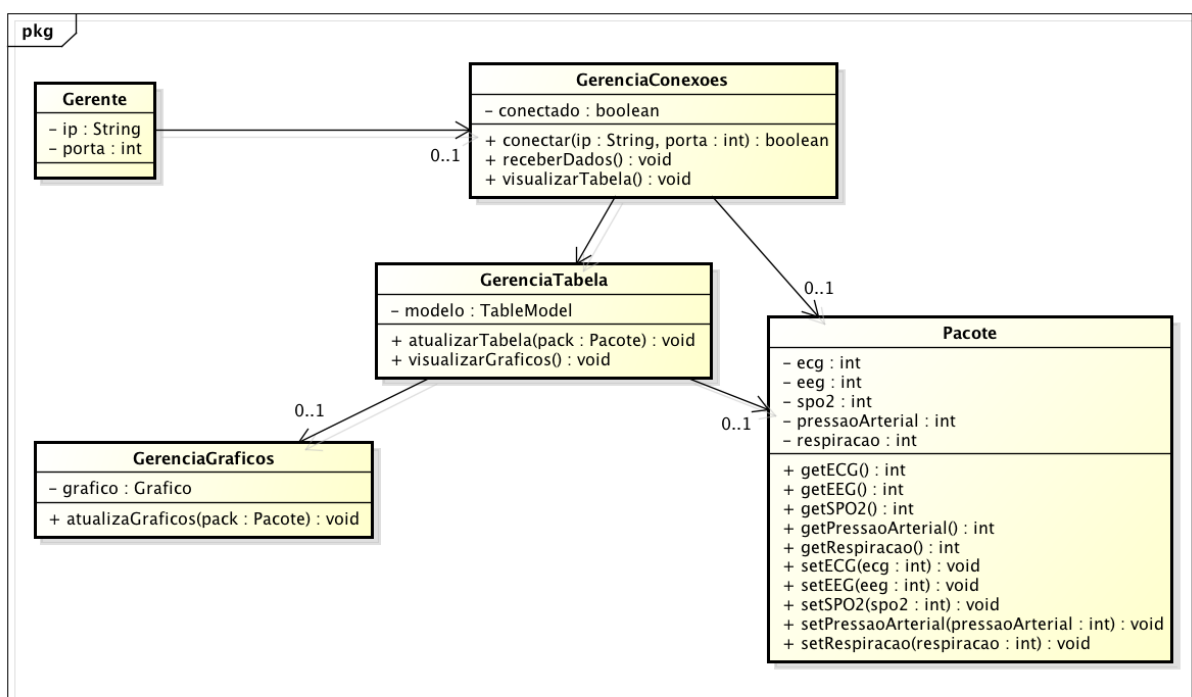


A Figura 23 ilustra o Diagrama de Classe do Sistema Cental de Monitoramento. É possível observar que há uma classe gerente que possui uma associação com a classe GerenciaConexoes. A classe GerenciaConexoes é responsável por fazer a comunicação com a Estação Base, isto é, se conectar ao sistema de tratamento embarcado em FPGA e receber os dados captados através de RSSF.

Após receber os dados, devem ser atualizadas a tabela e os gráficos para que o usuário possa visualizar o que foi captado do paciente monitorado.

Existe ainda uma classe pacote que contém os valores das medidas captadas pela RSSF.

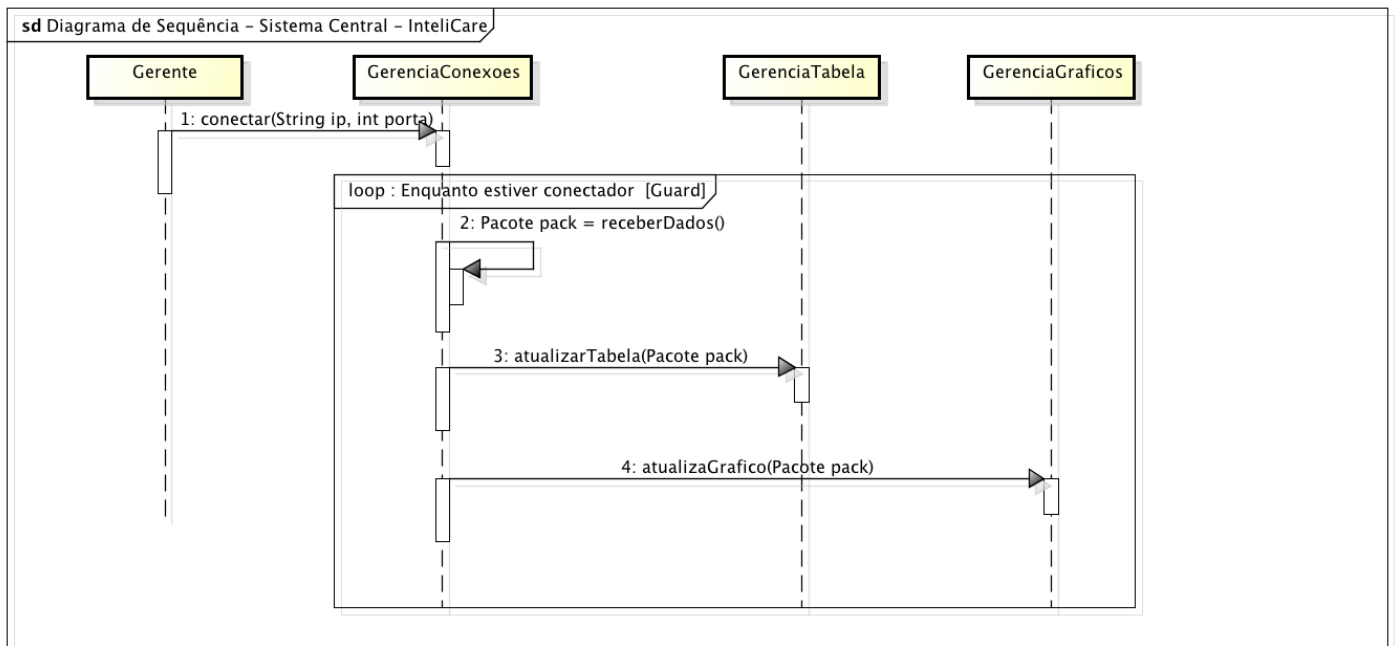
Figura 23 - Diagrama UML de Classes Sistema Central de Monitoramento



powered by astah®

A Figura 24 ilustra o Diagrama UML de Sequência do Sistema Central de Monitoramento. Este diagrama apresenta o sistema em tempo de execução de forma que é possível ver como a troca de mensagens entre os objetos instanciados a partir das classes mostradas no diagrama da Figura 23.

Figura 24 - Diagrama UML de Sequência do Sistema Central de Monitoramento



powered by astah

A Figura 25 ilustra a interface principal do Sistema Central de Monitoramento. Através deste interface o usuário pode realizar todas as ações que foram apresentadas como funcionalidades deste sistema.

Figura 25 - Interface do Sistema Central de Monitoramento



3.4 Integração com a Arthron

Esta seção descreve a integração da infraestrutura aqui apresentada a ferramenta Arthron.

3.4.1 Arthron e InteliCare

Como forma de expandir os tipos de fluxo que podem ser tratados pela Arthron e permitir que a experiência de transmissão e colaboração proporcionada seja mais completa, o InteliCare foi integrado como mais uma fonte de informação a ser distribuída, isto é, mais uma capacidade foi adicionada aos componentes.

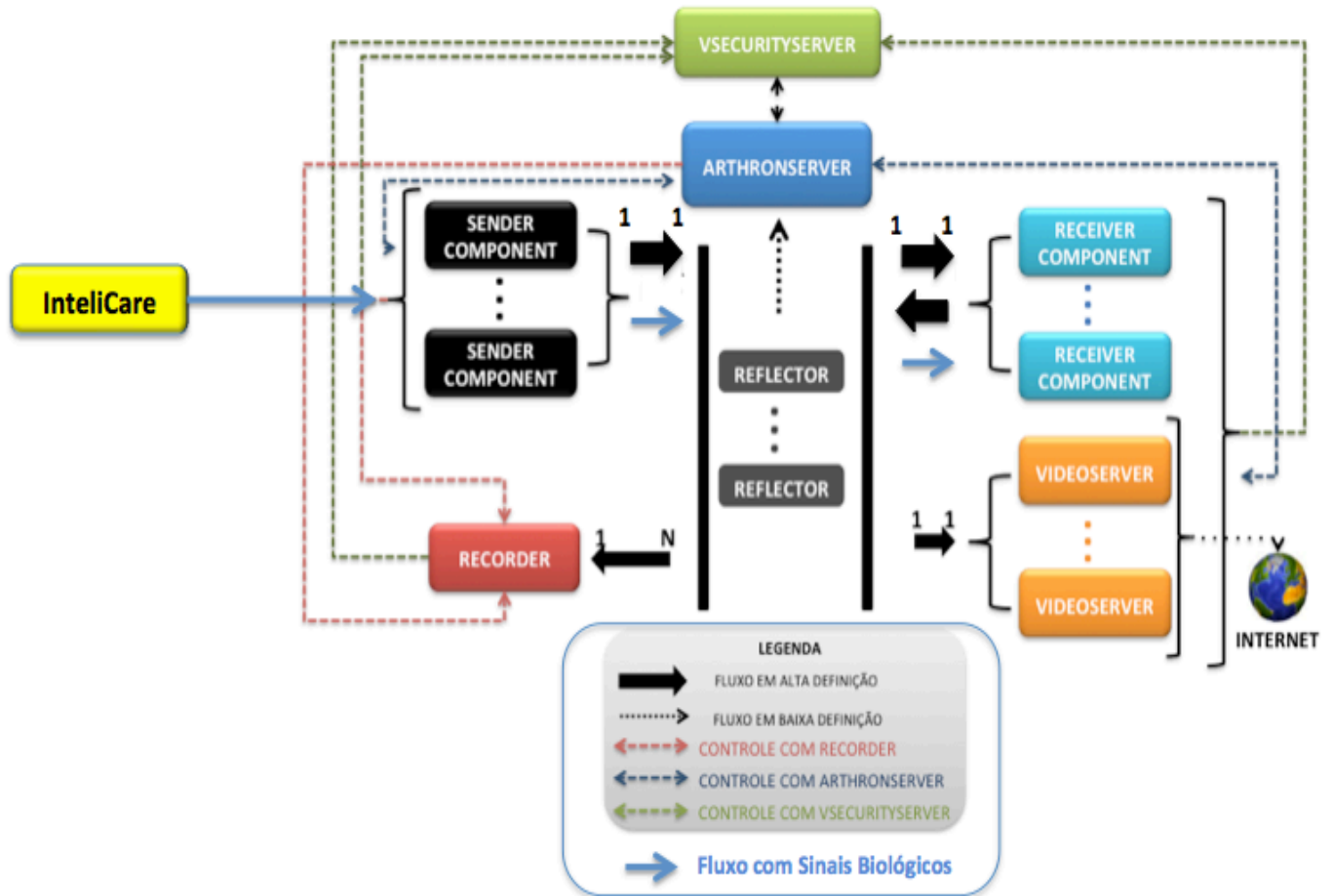
Esta integração foi motivada pela natureza multifluxo de procedimentos médicos e pela necessidade que os usuários tinham de, por exemplo, visualizar os sinais vitais de um paciente cuja cirurgia está sendo transmitida.

Na prática, com a integração InteliCare-Arthron, é possível transmitir além de vídeo e áudio, sinais vitais como ECG, Pressão Arterial, Temperatura e qualquer outro que se deseje.

Para a integração foi necessário o desenvolvimento de alguns componentes de software e que fossem capazes de se comunicar com as Estações Bases do InteliCare. Também foram desenvolvidos componentes de software para serem integrados aos componentes da Arthron, de forma que fosse possível a visualização dos sinais captados pela RSSF do InteliCare. É portanto substituído o módulo de visualização do InteliCare pela Arthron como distribuidor e visualizador dos sinais captados.

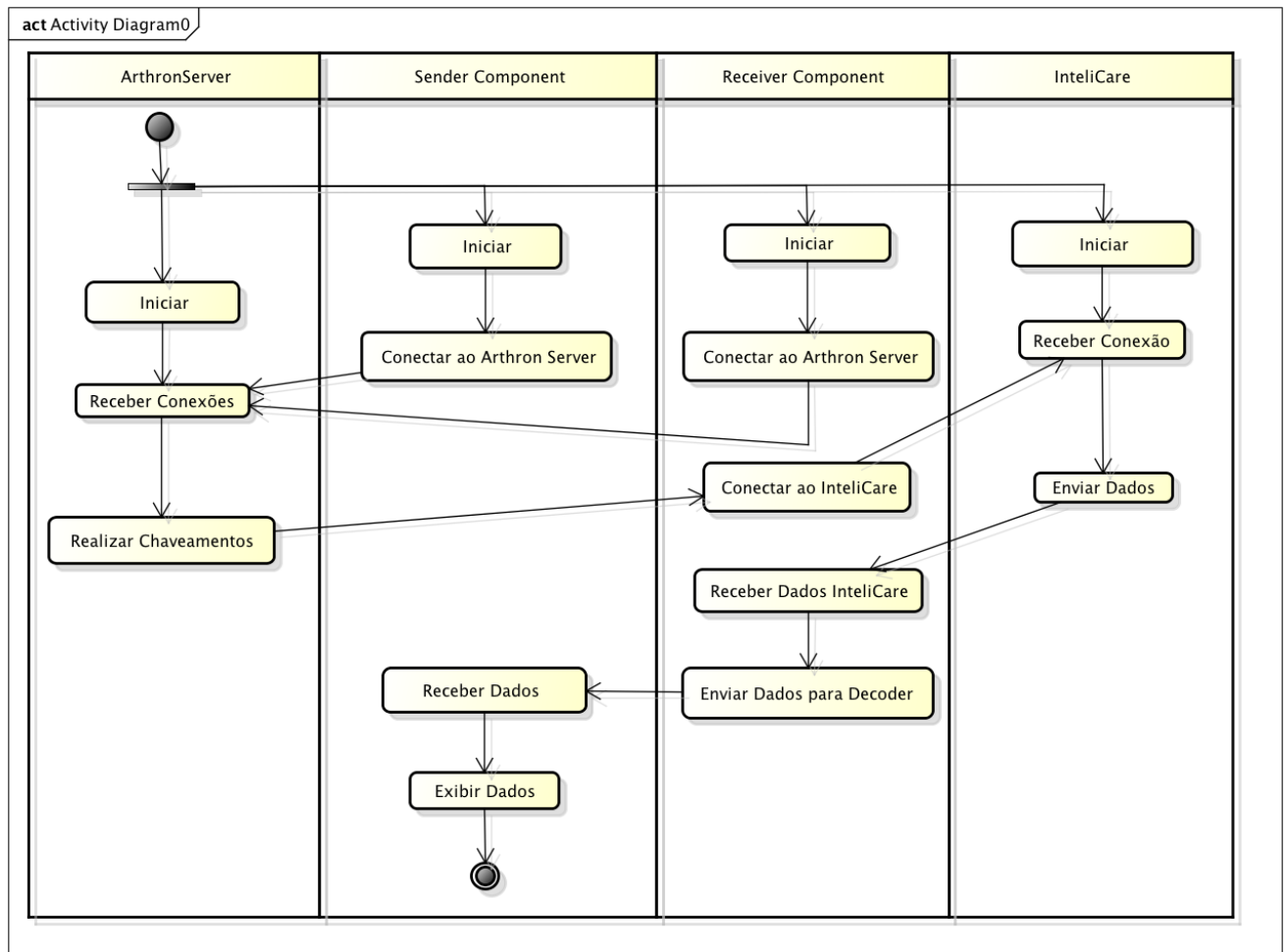
A Figura 26 ilustra a arquitetura da Arthron com o novo componente que é o InteliCare. É possível observar que o InteliCare é integrado com os componentes que tem a capacidade de enviar áudio vídeo e sinais. Para que os dados sejam enviados até os componentes de recepção é criado um outro fluxo específico, isto é, o fluxo de áudio e vídeo é enviado separadamente. Ao contrário dos fluxos de áudio e vídeo que podem ser bidirecionais, o fluxo com os sinais biológicos não são.

Figura 26 - Arquitetura Arthron-InteliCare



O Diagrama UML de atividade a seguir (Figura 27) ilustra a sequência de ações realizadas para um dado captado através da RSSF do InteliCare seja exibido através da Arthron.

Figura 27 - Diagrama UML de Atividade do funcionamento Arthron e InteliCare



powered by astah®

Primeiramente cada um dos componentes é inicializado de forma independente e se conectam ao Arthron Server informando suas capacidades, que para integração o InteliCare, precisam ser o envio ou recepção do que foi chamado de dados sensoriais.

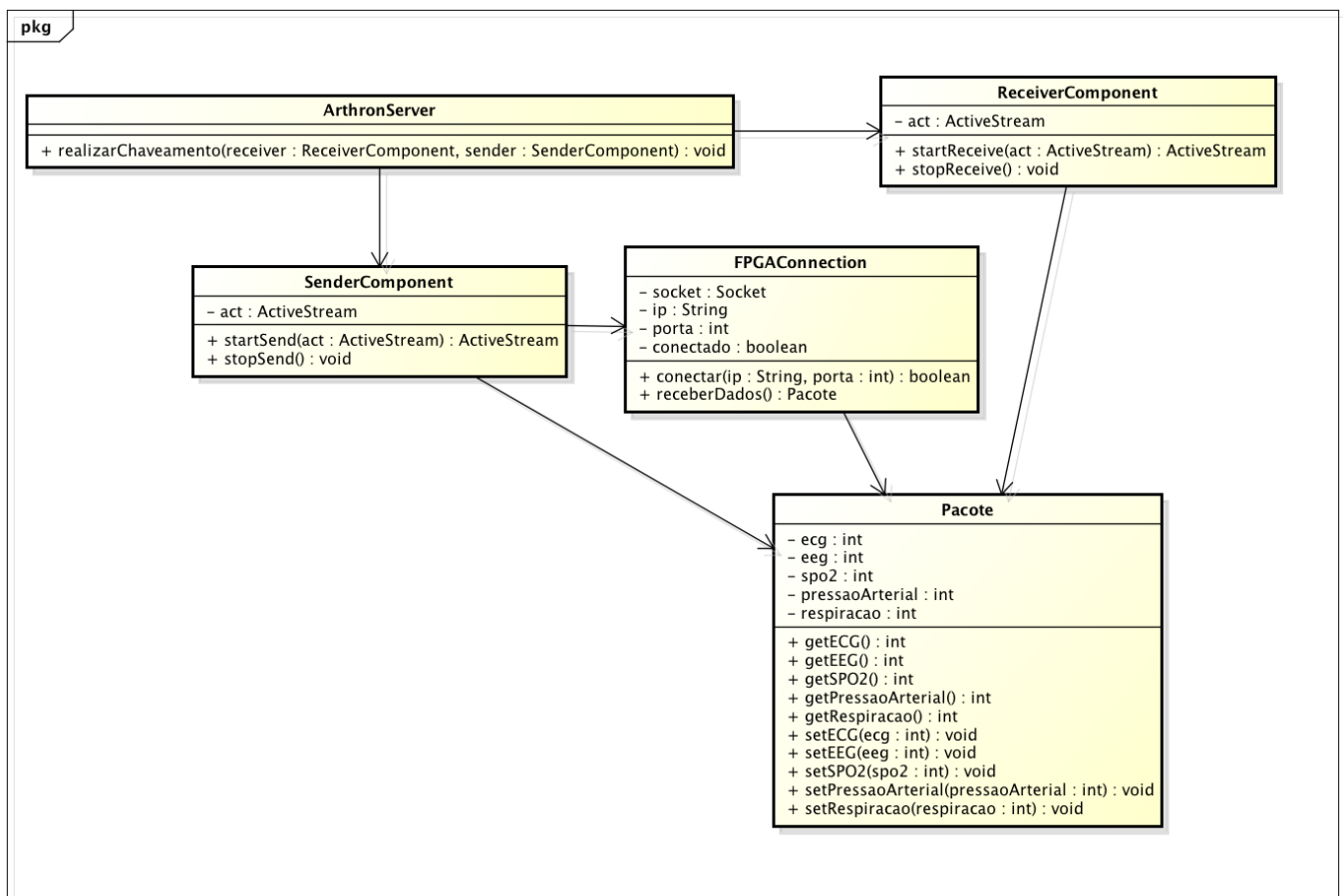
Informadas as capacidades, o usuário do Arthron Server pode realizar uma operação chamada chaveamento, que consiste em direcionar um fluxo de um componente para outro.

Feito o chaveamento, o módulo que informou ter como capacidade o envio de dados sensoriais irá se conectar a uma estação base do InteliCare através da internet e este por sua vez irá enviar os dados captados através da RSSF. Após isto os dados são enviados até o componente de recepção indicado pelo Arthron Server.

Foi desenvolvido um componente chamado FPGAConnection, responsável por realizar a comunicação entre o Arthron e o InteliCare. Este componente realiza uma conexão via socket TCP/IP com uma estação base do InteliCare e recebe os dados oriundos da RSSF.

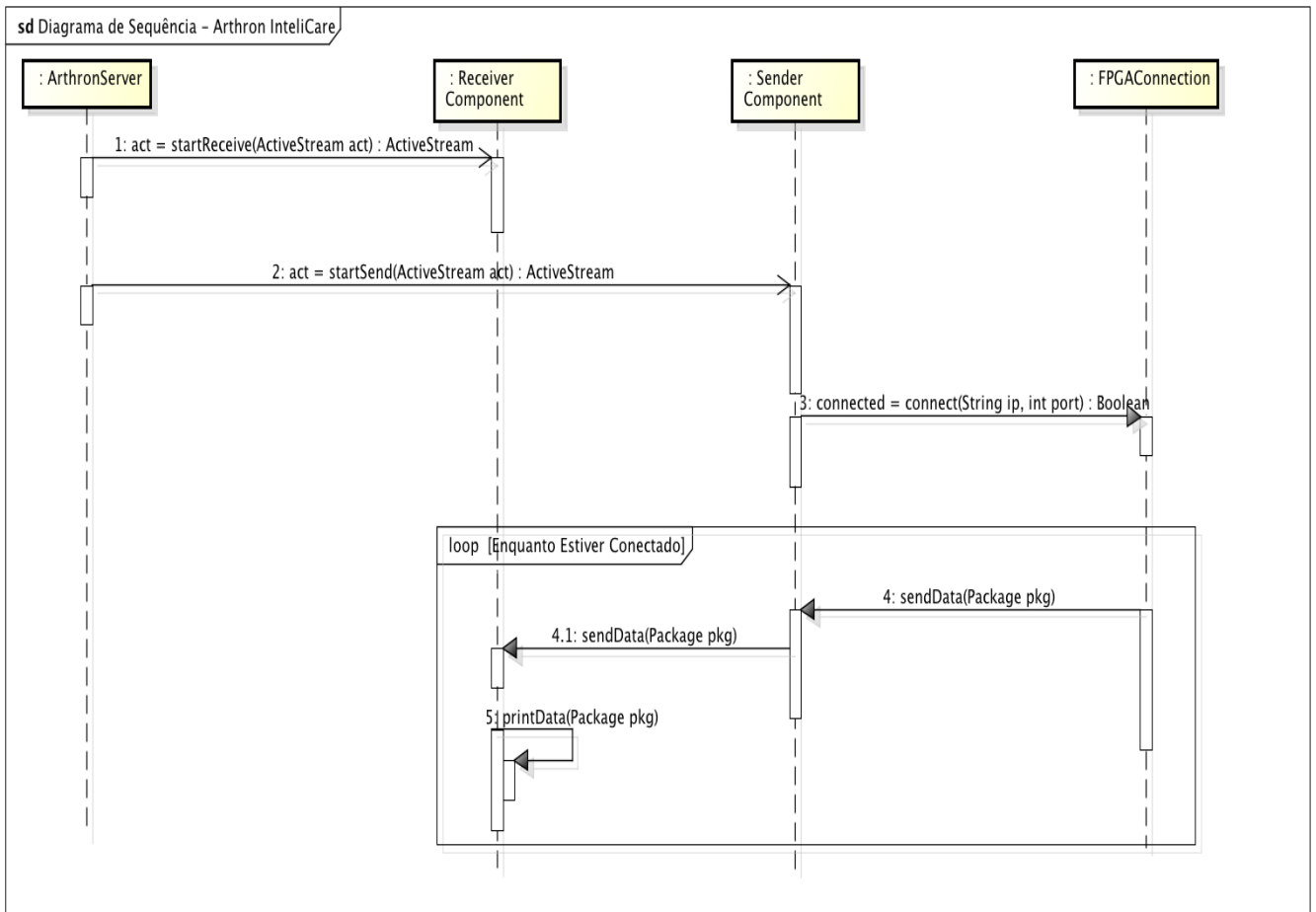
O Diagrama UML de Classe da Figura 28 ilustra os componentes envolvidos na integração. É possível observar que o componente que faz a integração de fato é o FPGAConnection. Através de Socket TCP/IP ele se comunica com a estação base e é capaz de receber os dados captados. Após receber os dados são enviados para o SenderComponent que, ao comando de chaveamento do ArthronServer, envia os dados até o ReceiverComponent onde então eles são visualizados.

Figura 28 - Diagrama de Classe Integração Arthron InteliCare



O Diagrama UML de sequência a seguir (Figura 29), ilustra a troca de mensagens entre os objetos envolvidos na integração Arthron InteliCare.

Figura 29 - Diagrama UML de Sequência da Integração Arthron InteliCare



powered by astah

Ao comando do tipo chaveamento realizado pelo usuário do ArthronServer, é disparada através de *Web Service* a chamada do método `startReceive(ActiveStream)` que é implementada no componente cuja capacidade é receber dados sensoriais. Esta chamada tem como parâmetro um objeto do tipo `ActiveStream` que também é o tipo do retorno do método. Este objeto é preenchido com as informações para conexão e recepção dos dados desejados, por exemplo, ip e porta. Ao final da execução deste método o componente encontra-se pronto para recepção e exibição dos dados.

Outro método chamado após a realização de um chaveamento é o `startSend(ActiveStream act)`. Este método é chamado no componente cuja capacidade é enviar dados sensoriais e sua função é iniciar o envio dos dados. O componente `FPGAConnection` irá se conectar a uma Estação Base do InteliCare e receber os dados referentes aos sinais

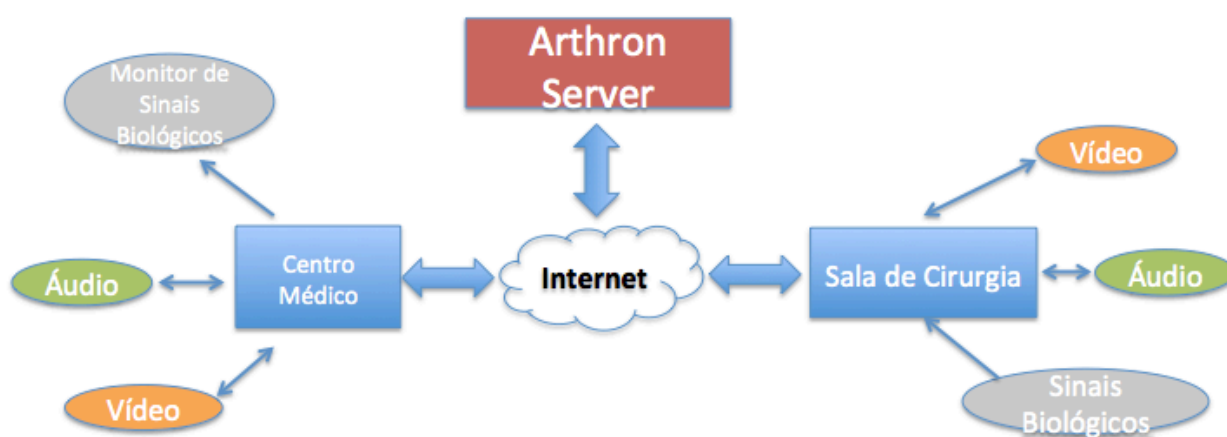
captados. Os dados são enviados de um componente para outro até que o chaveamento seja desfeito pelo ArthronServer, isto é, até que haja uma conexão.

3.4.2 Cenários de Uso

A integração do InteliCare com a ferramenta Arthron dá origem a novos cenários de uso e abre horizontes para uma grande rede de monitoramento e estudos em telemedicina.

A Figura 30 a seguir ilustra um possível cenário resultante da integração.

Figura 30 - Cenário 1



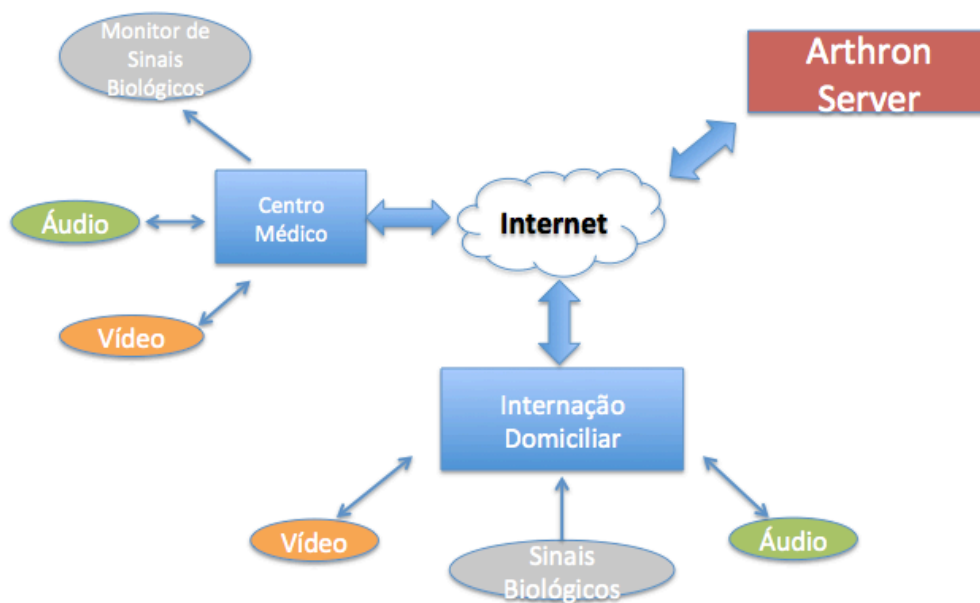
Pode-se observar uma sala cirurgia equipada com equipamentos de transmissão e recepção de áudio vídeo e sinais biológicos, bem como, um centro médico equipado com monitores para visualização de sinais biológicos além de transmissores e receptores de vídeo e áudio.

Ambos estes lugares podem ser tratados como componentes na arquitetura Arthron e podem ser gerenciados através do ArthronServer de forma que o centro médico possa monitorar online o que está acontecendo na Sala de Cirurgia. Isto é bastante útil para casos em que uma segunda opinião médica é necessária ou para vídeo aulas.

Neste caso o InteliCare permite uma experiência mais real para quem está no centro médico, dado que agora é possível acompanhar os sinais vitais do paciente em questão.

A Figura 31 a seguir ilustra outro possível cenário oriundo da integração Arthron InteliCare.

Figura 31 - Cenário 2

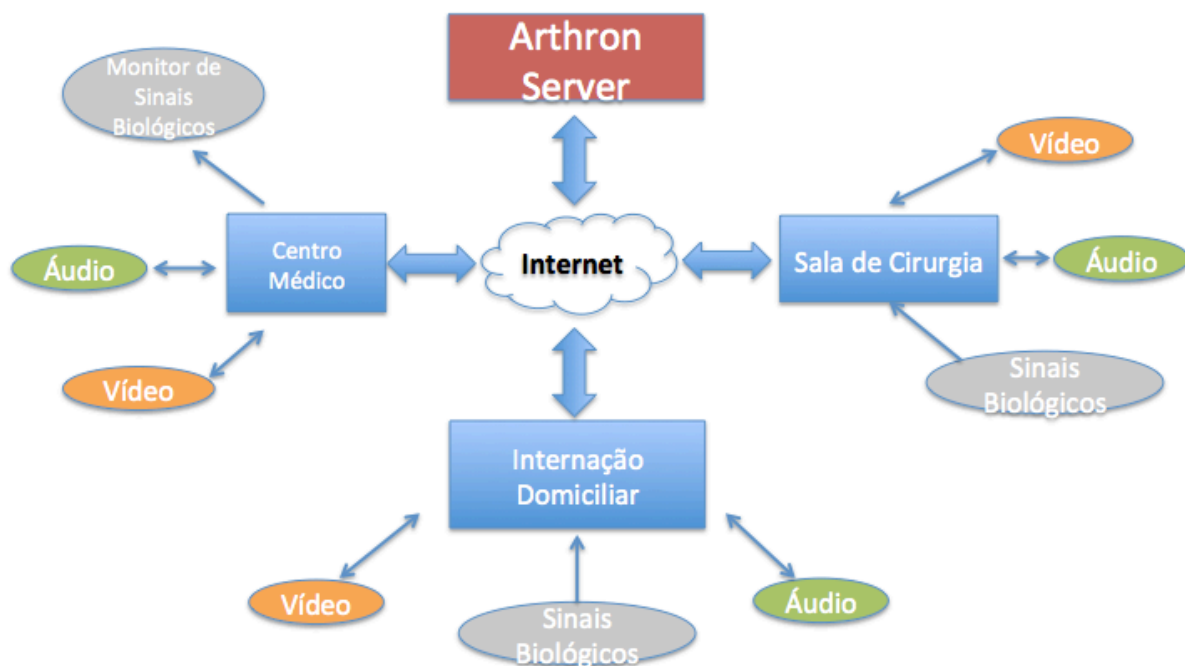


Neste cenário observa-se um paciente em situação de internação domiciliar e o seu domicílio está equipado com geradores de áudio e vídeo bem como sensores para captação de parâmetros clínicos desejados. Para monitoramento há um centro médico e estes dois ambientes podem funcionar como componentes da arquitetura Arthron.

É possível portanto que o paciente internado em casa tenha em tempo de execução um acompanhamento médico especializado.

É válido ressaltar que mais de um paciente pode ser monitorado ao mesmo tempo, criando uma grande rede de monitoramento, tanto para pacientes em situação de internação domiciliar quanto para salas de cirurgia. Este cenário está ilustrado na Figura 32 a seguir.

Figura 32 - Cenário 3



Conclui-se que a integração da ferramenta Arthron com o InteliCare foi de grande valia para ambas as partes pois tornou mais real a experiência de acompanhamento em tempo de execução de situações diversas como cirurgias e internações domiciliares. Além disso permite a diminuição das distâncias entre grandes centros médicos e lugares onde não há medicina especialista em todas as áreas.

Capítulo

4

Trabalhos Correlatos

Neste capítulo são apresentados trabalhos acadêmicos semelhantes ao proposto e que abordam assuntos correlatos ao InteliCare. São apresentados 3 trabalhos retirados do portal da IEEE e serviram como ponto de comparação para análise da presente proposta.

4.1 A Wireless Sensor Network Based on Zigbee for Telemedicine Monitoring System

Hu et al. (2009) propõe um sistema de monitoramento de pessoas através de uma rede corporal de sensores em fio (WBASN) baseada na tecnologia zigbee.

Todos os nós na rede estão organizados na topologia estrela e são gerenciados por um nó central chamado coordenador. Além disso, o nó coordenador é usado como access point e através dele os sinais podem chegar até a rede hospitalar por meio de uma rede de comunicação móvel.

Neste artigo é utilizado o chip CC2430 da Texas Instruments para realizar a aquisição dos sinais biológicos em pacientes monitorados. A configuração da rede é feita no modo “Wake up on demand”, isto é os nós ficam no modo sleep, em que boa parte dos circuitos são desligados e há pouquíssimo consumo. Entretanto, este modo não compromete o monitoramento, pois uma parte dos circuitos continuam ativos e ficam responsáveis por “acordar” a outra parte dos circuitos caso uma condição programada seja atingida. As condições podem ser:

- Solicitação do paciente
- Solicitação do médico
- Incoerência detectada através do processamento local, isto é, temperatura acima ou abaixo do normal ou pressão arterial alterada.

Os sinais adquiridos são:

- 3 derivações de Eletrocardiograma (ECG)
- Temperatura corporal
- Pressão sanguínea

O sistema funciona da seguinte forma: os sensores são responsáveis pela captação dos sinais desejados e este sinal é condicionado com circuitos adequados para que seja feita a conversão Analógico Digital. A conversão é feita no chip cc2430 numa resolução de 12bits e amostragem de 250 amostras por segundo. Algumas verificações simples como verificação de temperatura e pressão são feitas e então o sinal é enviado ao módulo gerente (coordenador da rede) para que seja enviado a rede hospitalar por uma rede móvel 3G.

Por fim os autores mencionam a possibilidade de utilizar técnicas de compressão para o sinal adquirido porém sugerem a técnica de Wavelet que embora alcance altas taxas de compressão é uma técnica com perdas. As perdas da compressão podem comprometer o diagnóstico uma vez que podem ocultar informações importantes aos olhos de um clínico humano.

4.2 Development of Telemedicine and Telecare over Wireless Sensor Network

Hsu et al. (2009) propõe o desenvolvimento de um sistema de telemedicina para monitoramento de pessoas através de uma rede de sensores sem fio utilizando o protocolo zigbee.

O artigo propõe um sistema para detecção de arritmias cardíacas e utilizando processadores de sinal digital juntamente com transmissores de rádio frequência fazem o monitoramento.

O monitoramento se dá de seguinte forma: é adquirido o ECG com apenas 1 derivação e um processamento local é feito para detectar algum tipo de arritmia. Caso haja um sinal sonoro é disparado para o paciente e o sinal de ECG adquirido é então comprimido com uma técnica com perdas (Wavelet) e enviado para um computador do tipo desktop.

Os autores propõem que o protocolo Zigbee seja utilizado em toda a extensão da rede, isto é, do paciente monitorado até o agente hospitalar. Todavia não menciona o domínio de aplicação deste sistema de maneira que não é possível identificar se será aplicado a um monitoramento de campo aberto em que os pacientes estão em casa ou na rua ou se o sistema será aplicado dentro de hospitais.

O hardware utilizado é um DSP TMS320VC5509A da Texas Instruments e o chip para transmissão RF é o UZ2400.

Ademais o autor aponta a pequena largura de banda do protocolo Zigbee e propõe o uso de técnicas de compressão como solução.

4.3 Development of Wi-Fi Based Telecardiology Monitoring System

Ken et al. (2010) propõe o desenvolvimento de um sistema de telecardiologia utilizando o protocolo Wi-Fi.

O sistema funciona da seguinte forma: sinais são adquiridos com sensores próprios e o sinal, após ser condicionado, é transmitido por uma rede Wi-Fi para uma central através da internet.

No módulo de aquisição é utilizado um processador ARM7TDMI-S juntamente com o sistema operacional uClinux. O sinal de ECG é adquirido e enviado pelo processador ao módulo de transmissão Wi-Fi através da porta UART. O sinal é transmitido até uma central passando por roteadores.

O uClinux é usado pois permite um grau de abstração maior para os algoritmos de processamento local porém não é apontado o problema do alto consumo do processador executando este sistema operacional.

Ademais não são utilizadas técnicas de compressão nem criptografia.

4.4 Análise Comparativo

Observa-se que os 3 trabalhos acima expostos são recentes e todos têm bastante interseções com a infraestrutura aqui apresentada.

Duas principais diferenças podem ser observadas entre o InteliCare e os trabalhos correlatos mostrados.

A primeira diferença está no método de compressão proposto. Enquanto a técnica aqui é proposta é sem perdas, será utilizada nos nós finais da rede e diminuirá a largura de banda utilizada os trabalhos correlatos apresentados se utilizam de técnicas com perdas ou não utilizam.

É de grande importância a ressalva acerca das perdas, dado que um sinal de biológico não pode ser aferido com perdas pois pode ocultar informações importantes para o diagnóstico.

A exceção do terceiro trabalho, todos se utilizam do protocolo Zigbee, o que reforça que este é o protocolo que mais se adequa a aplicações deste tipo.

Portanto, observa-se que o InteliCare é uma proposta que se encaixa de forma positiva no estado da arte e traz uma nova proposta de compressão, desta vez sem perdas, para resolver o principal problema do Zigbee, que é a largura de banda juntamente com a criptografia das informações adquiridas.

Ademais, nenhuma dos trabalhos possui integração com uma ferramenta de distribuição de fluxos, de forma a unificar em uma só transmissão, áudio, vídeo e os sinais biológicos.

A tabela a seguir faz um comparativo entre os 3 trabalhos aqui apresentados e o InteliCare. Comparou-se o protocolo utilizado, se há ou não técnicas de compressão e se há integração com algum tipo de mecanismo para transmitir áudio e vídeo junto com os sinais captados.

	Protocolo Zigbee	Compressão Sem Perdas	Integração com Áudio e Vídeo
InteliCare	x	x	x
Trabalho 1	x		
Trabalho 2	x		
Trabalho 3			

Capítulo

5

Resultados

Este capítulo descreve alguns testes e resultados que foram obtidos através de simulações em laboratório. Estas simulações buscaram reproduzir cenários reais com a finalidade de validar a infraestrutura proposta, tanto da RSSF utilizada para aquisição quanto do sistema embarcado em FPGA utilizado para tratamento bem como o de monitoramento utilizado para visualização. São apresentados também os resultados de integração o a ferramenta Arthron.

5.1 Aquisição e Compressão

Para validação da RSSF proposta, bem como do método de compressão sugerido como solução para diminuir o uso de largura de banda durante a transmissão, foi montada em laboratório uma estrutura com 1 nó final e 1 nó coordenador.

Este é o tipo mais comum de topologia que será utilizado em ambiente real visto que cada nó possui 8 canais de entrada para sinais diversos e um paciente em situação de internação domiciliar tem apenas seus sinais vitais mais importantes monitorados.

Estando com a rede montada e cada um dos firmwares devidamente configurados o próximo passo foi comprimir e transmitir os sinais. Para tanto foi utilizado o banco polissonográfico de sinais do MIT. Este banco de dados é utilizado no mundo inteiro para validação de pesquisas. É composto por diversos sinais tais como ECG, Pressão Sanguínea, Saturação do Oxigênio no Sangue, Respiração e Eletroencefalograma. Estes sinais foram adquiridos de pacientes homens com idade entre 32 e 56 anos e peso entre 89Kg e 152Kg. Cada amostra de cada sinal possui 2 bytes e foi adquirida a 360Hz.

Para realização dos testes foram carregadas 2 mil amostras de cada sinal (ECG, Pressão, SPO2, Respiração e EEG) na memória do nó final, comprimidos e enviados até o nó coordenador.

Após um monitoramento dos valores de compressão no nó final da rede observou-se que a razão de compressão para cada sinal foi de:

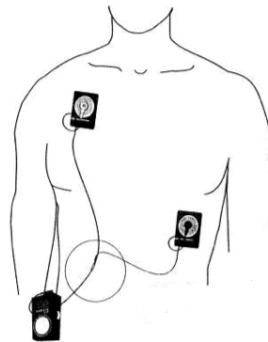
- 3:1 para o Eletrocardiograma
- 5:1 para Pressão Arterial
- 4:1 para Saturação do Oxigênio (Oximetria)
- 5:1 para Sinal de Respiração
- 2:1 para o Eletroencefalograma

A partir destes valores e sabendo que o *payload* máximo da RSSF montada é 150 bytes, é possível observar diversos cenários de monitoramento e ter uma visão clara do benefício da compressão.

A seguir são descritos 3 cenários de quadros clínicos que são comuns nos dias de hoje. É feito um comparativo entre a transmissão realizada sem a compressão e com a compressão de forma que é possível observar a vantagem do método proposto.

Cenário 1: Um paciente está apresentando algumas variações no Eletrocardiograma e o seu médico deseja acompanhar ao longo de um dia normal, como se comporta o seu ECG. Desta forma foi solicitado um exame chamado *Holter* (*Figura 33*) que hoje é realizado *off-line*, isto é, o paciente fica com o equipamento durante 24h e depois os dados são descarregados em um computador para análise. Com o InteliCare é possível a realização deste exame de forma que os dados sejam transmitidos online para uma central. Sendo assim, suponha-se um paciente nesta situação, monitorado com a infraestrutura oferecida pelo InteliCare.

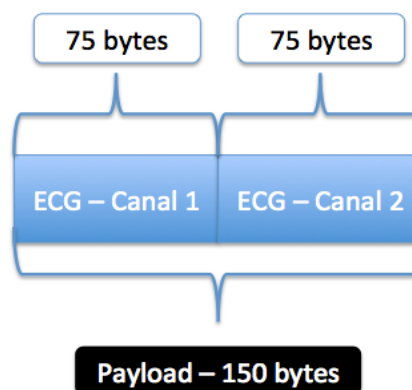
Figura 33 - Exame Holter de Monitoramento de ECG



Sabe-se que este exame normalmente afere o ECG com 2 derivações para evitar um uso excessivo de memória. No caso de uma transmissão utilizando o protocolo Zigbee, a largura de banda seria um impedimento para realização de exames em que mais derivações são necessárias. A Figura 30 ilustra um paciente com um equipamento para realização deste exame.

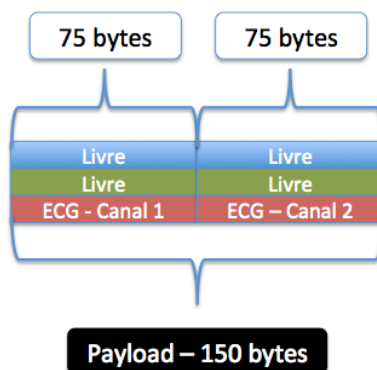
Numa abordagem sem compressão é possível montar o pacote de transmissão da rede ilustrado pela Figura 34. Há um espaço de 75 bytes por pacote para cada canal, sendo suficiente para transmitir 37 amostras de cada canal.

Figura 34 - Divisão do *payload* para o Cenário 1 Sem Compressão



Já na abordagem com compressão é possível reorganizar o pacote de forma que seja possível economizar espaço. A Figura 35 ilustra o novo pacote.

Figura 35 - Divisão do *payload* para o Cenário 1 Com Compressão



Como sabe-se que a taxa de compressão para ECG foi de 3:1 é possível enviar 3 vezes mais informações. Desta forma se antes era possível enviar 2 canais ou derivações, agora é possível enviar 6. A compressão permite, portanto, que com os mesmos recursos de rede seja feito um monitoramento mais preciso.

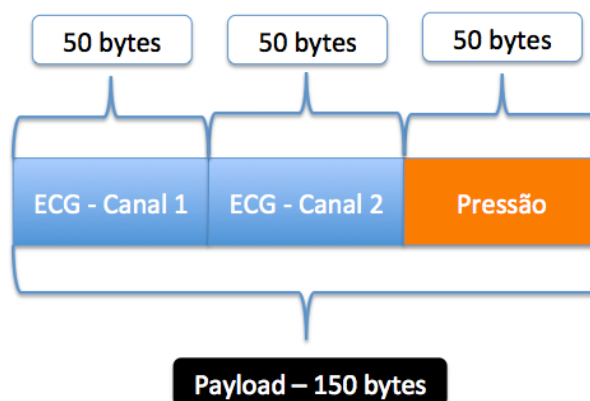
Caso fosse tentado enviar 6 canais na abordagem sem compressão haveria uma queda na qualidade de transmissão do sinal, visto que só seria possível enviar apenas 12 amostras por pacote de cada canal.

Utilizando a compressão é possível enviar 6 derivações de ECG, conforme Figura 32, mantendo a mesma quantidade de amostras por derivação que tinha-se na abordagem sem compressão com 2 derivações. A abordagem com compressão permite enviar 37 amostras de cada uma das 6 derivações por pacote transmitido.

Cenário 2: Um paciente está com um quadro de hipertensão e arritmia cardíaca, isto é, sua Pressão Arterial está aumentada e o seu ECG está apresentando variações não comuns. Seu médico deseja realizar um monitoramento contínuo ao longo de um dia normal deste paciente, tanto da Pressão Arterial, como do ECG.

Para este cenário e sem utilizar compressão dos dados pode-se dividir o *payload* da rede conforme ilustra a Figura 36.

Figura 36 - Divisão do *payload* para o Cenário 2 Sem Compressão



Caso a transmissão seja realizada sem compressão dos dados, é possível observar pela Figura 36 que a cada pacote transmitido consegue-se enviar 25 amostras do canal 1 do ECG, 25 amostras do canal 2 do ECG e 25 amostras do sinal de Pressão Arterial.

Entretanto, utilizando abordagem aqui proposta, isto é, comprimindo os dados antes de transmitir, é possível redesenhar a divisão no *payload*. Sabe-se que a razão de compressão para ECG foi de 3:1 e para Pressão Arterial de 5:1. Conclui-se portanto que, no espaço alocado para cada canal de ECG é possível enviar 3 vezes mais informações e no espaço alocado para Pressão Arterial é possível enviar 5 vezes mais informações. A Figura 37 ilustra o novo pacote.

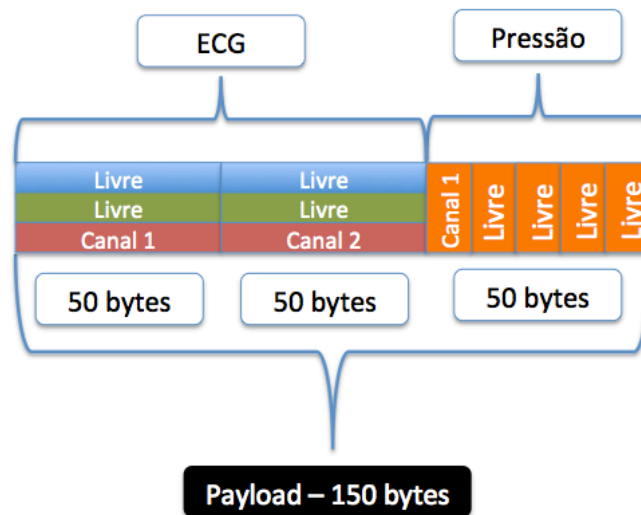
Após realizada a compressão, o novo *payload* pode ser melhor utilizado. Observa-se pela Figura 37 que há agora espaços livres e que podem ser utilizados de várias formas.

Por exemplo, pode-se transmitir mais 4 derivações de ECG, permitindo que o quadro clínico do paciente monitorado seja melhor descrito já que quando aferido com mais derivações é possível ter uma visão mais detalhada, principalmente neste caso em que há uma arritmia.

Uma outra abordagem é aumentar a frequência de amostragem de cada um dos canais de forma que mais amostras sejam transmitidas por vez. O mesmo acontece para o sinal de Pressão Arterial porém como apenas um canal é utilizado para transmitir este espaço pode ser economizado no *payload* ou utilizado para outro sinal.

Conclui-se, portanto, que a realização da compressão neste cenário permite um ganho na qualidade do monitoramento e por sua vez uma possibilidade de um diagnóstico mais preciso. Tudo isto sem alterar nada na capacidade da rede.

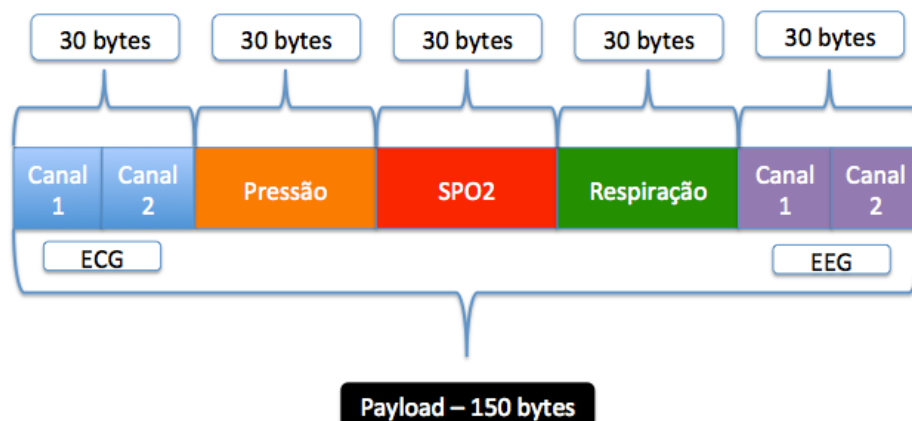
Figura 37 - Divisão do *payload* para o Cenário 2 Com Compressão



Cenário 3: Um paciente precisa realizar um exame chamado polissonografia, também conhecido como exame do sono. Neste exame são monitorados ECG, Pressão Arterial, Saturação do Oxigênio no Sangue (Oximetria), Sinal de Respiração e EEG. Com a infraestrutura InteliCare é possível fazer este monitoramento online de um paciente que esteja em casa.

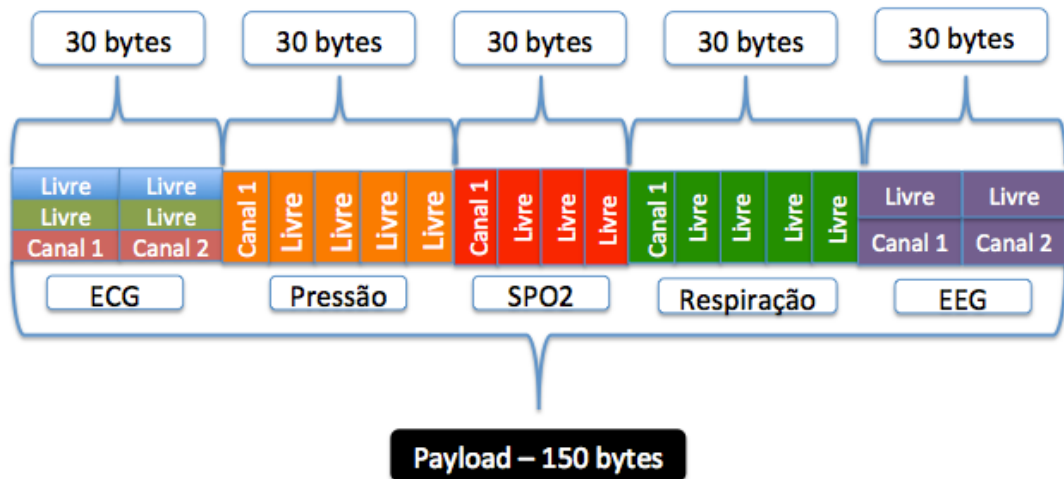
Como todos os sinais têm a mesma importância o *payload* foi dividido com igual espaço para cada um deles. A Figura 38 ilustra a divisão para cada um dos sinais necessários.

Figura 38 - Divisão do *payload* no Cenário 3 Sem Compressão



Utilizando a abordagem com compressão é possível um ganho significativo no espaço utilizado para transmitir a mesma informação. A Figura 39 ilustra a reorganização dos sinais no pacote para o Cenário 3.

Figura 39 - Divisão do *payload* para Cenário 3 Com Compressão



Observando a nova divisão do *payload* para o Cenário 3 é possível concluir que é possível enviar a mesma informação que na abordagem Sem Compressão utilizando, ao invés de 150 bytes, apenas 44 bytes.

Este valor é facilmente obtido pelo somatório da divisão da quantidade de bytes alocados para cada sinal no *payload* pela respectiva razão de compressão. Para ECG cuja razão de compressão foi de 3:1, tem-se que cada um dos canais que antes ocupava 15 bytes, passam a ocupar 5 bytes. Já o sinal de Pressão que teve razão de compressão de 5:1 passa a ocupar apenas 6 bytes ao invés dos 30 antes da compressão. O sinal de SPO2 passa a utilizar aproximadamente 7 bytes enquanto o sinal de respiração ocupa apenas 6. Tem-se, portanto, um total de 44 bytes e uma economia de 3,4 vezes no tamanho do pacote utilizado para transmitir.

Conforme já dito, o espaço economizado pode ser preenchido tanto com mais canais de um mesmo sinal quanto com mais amostras. É possível também agregar mais sinais para serem monitorados caso seja necessário.

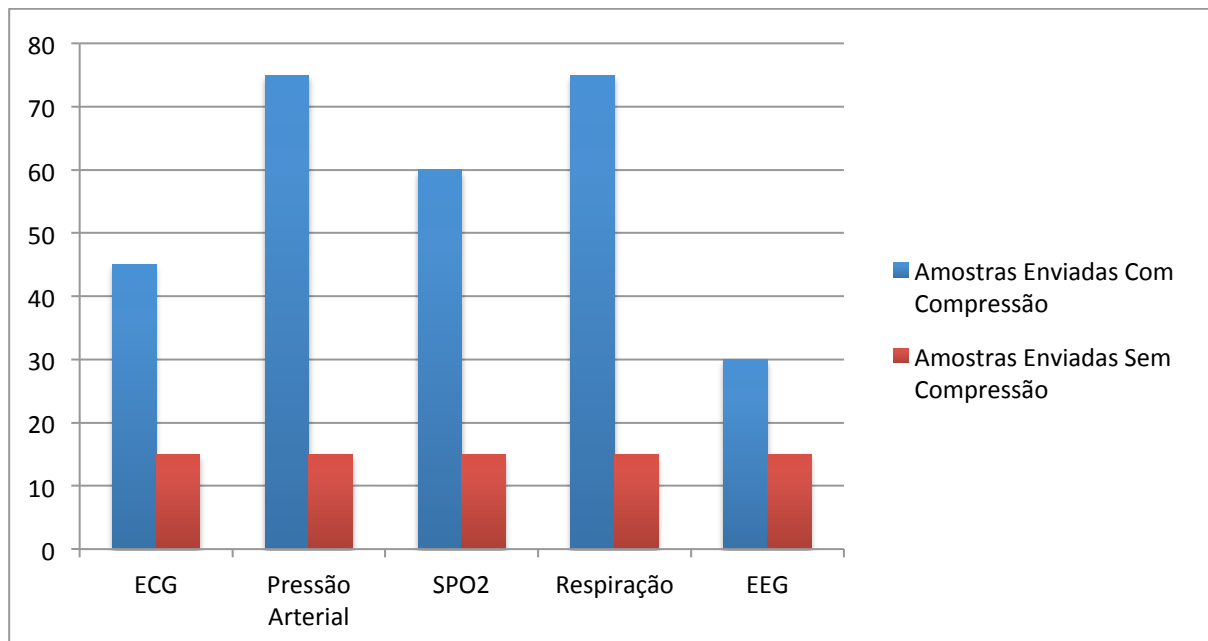
Desta forma, considerando a divisão do 30 bytes para cada sinal chega-se ao cenário descrito nas tabelas a seguir.

	Com Compressor				
Amostras por payload	ECG	Pressão	SPO2	Respiração	EEG
	45	75	60	75	30

	Sem Compressor				
Amostras por payload	ECG	Pressão	SPO2	Respiração	EEG
	15	15	15	15	15

Plotando as tabelas é possível perceber a grande diferença de ganho entre a primeira e a segunda abordagem.

Figura 40 - Gráfico Comparativo da Transmissão Com e Sem o Compressor



A partir da análise do gráfico da Figura 40 pode-se chegar a algumas conclusões acerca da vantagem que a compressão no nó final apresentou.

A compressão tornou possível trafegar cerca de 3,4 vezes menos informações na rede, trazendo grande benefícios. Há uma minimização da possibilidade de falhas na transmissão consequentemente diminuindo a perda de pacotes e o esforço necessário para retransmitir informações.

Além disso, outro ganho trazido pela compressão foi a possibilidade de, sem aumentar a capacidade de transmissão da rede, conseguir enviar mais informações sobre um mesmo paciente monitorado. Por exemplo, é possível enviar mais de uma derivação de ECG e isto aumenta a possibilidade de um melhor diagnóstico. Com um sinal mais detalhado o médico pode observar melhor a evolução do quadro clínico do paciente em questão.

5.2 Tratamento e Visualização

O sistema de tratamento foi sintetizado num FPGA da família stratix e a tabela a seguir ilustra os principais resultados da síntese.

Características da Arquitetura do Sistema	
Versão do Quartus II:	8.0 build 215 07/30/2009 SJ Web Edition
Nome de Revisão:	InteliCare
Nome da entidade de alto nível:	InteliCare
Família:	Stratix
Dispositivos:	EP1S10F780C6
Modelos de Temporização:	Final
Requisitos de tempo encontrados:	Sim
Total de elementos lógicos:	4.091 / 10.570 (46%)
Total de pinos:	104/ 427 (24%)
Total de pinos virtuais:	0
Total de bits de memória:	687.680 / 920.448 (75%)

Blocos DSP de 9 bits:	8 / 48 (17%)
Total de PLLs (phase-locked loop):	2 / 6 (33%)
Total de DLLs (delay-locked loop):	0 / 2 (0%)
Frequência do clock	50 MHz
Total de bytes do software	320 Kb

Embora a complexidade do hardware não seja baixa, dado que são necessários além do processador, componentes que gerenciem conexão de rede e comunicação serial, observa-se que o hardware sintetizado não foi de grande complexidade, ocupando poucos elementos lógicos do FPGA (46%) bem como uma pequena quantidade de pinos (24%).

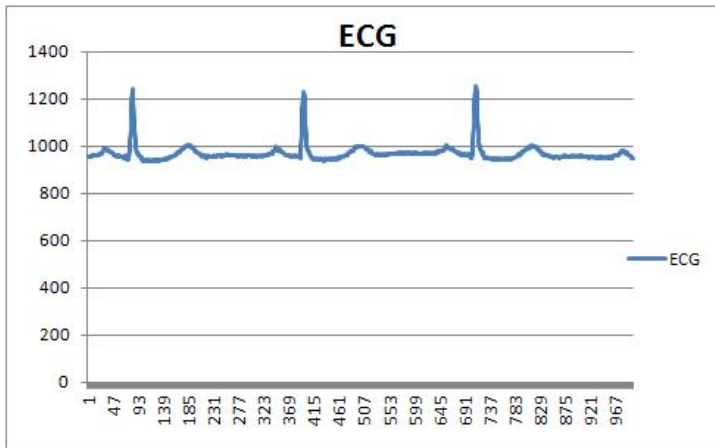
Isto deixa possibilidade de implementação de lógica de detecção de situações de emergência, tais como inferência de infartes com antecedência que podem ser feitas através de algoritmos mais complexos, detecção do complexo QRS dos ECGs, entre outros processamentos.

Após a captação, compressão pela RSSF e tratamento na estação base, o próximo passo é visualizar o sinal restaurado. O sistema desenvolvido permite tanto a visualização individual como em conjunto dos sinais enviados.

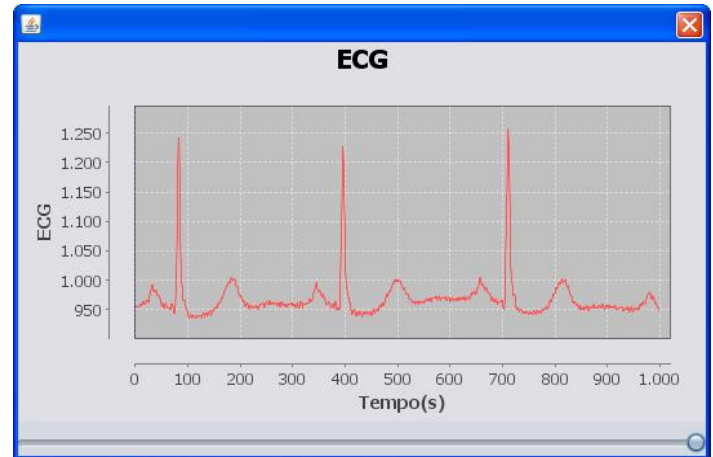
As Figuras a seguir ilustram o sistema de monitoramento desenvolvido para validar a infraestrutura InteliCare bem como um comparativo entre o sinal antes e depois da compressão.

Figura 41 - Comparativo ECG antes e depois da compressão

(a) – Antes da Compressão



(b) – Depois da Compressão

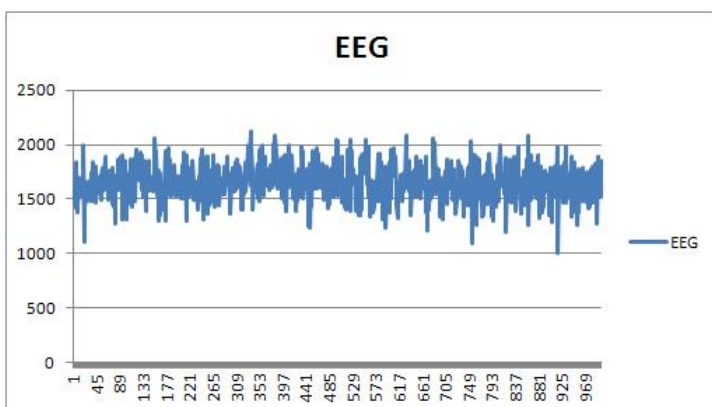


A Figura 41 mostra um comparativo entre o sinal de ECG antes de ser comprimido e depois da compressão e transmissão realizada pela infraestrutura InteliCare. Como é possível observar o sinal permaneceu igual e a sua utilidade para o diagnóstico permanece a mesma dado que a compressão utilizada é sem perdas.

O mesmo acontece com os demais sinais como é possível observar nas Figuras 42, 43, 44 e 45 a seguir. EEG, Oximetria (SPO2), Pressão Arterial e Respiração.

Figura 42 - Comparativo EEG antes e depois da compressão

(a) – Antes da Compressão



(b) – Depois da Compressão

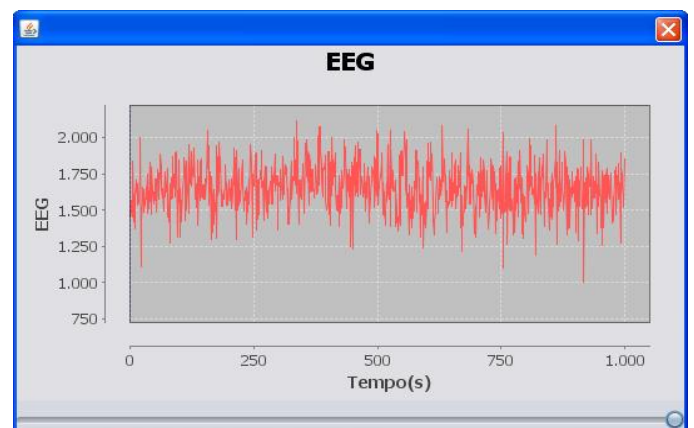
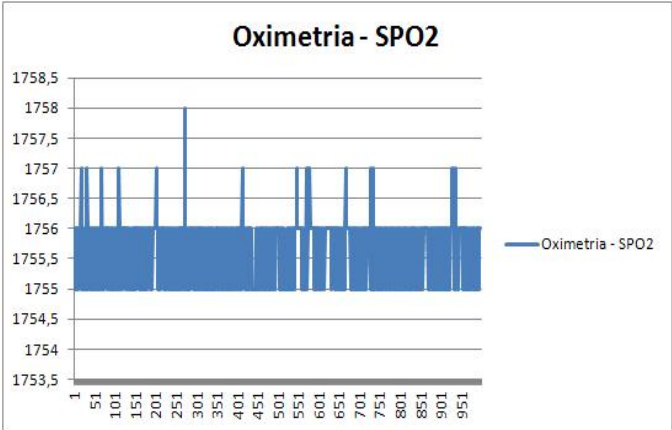


Figura 43 - Comparativo Oximetria antes e depois da compressão

(a) – Antes da Compressão



(b) – Depois da Compressão

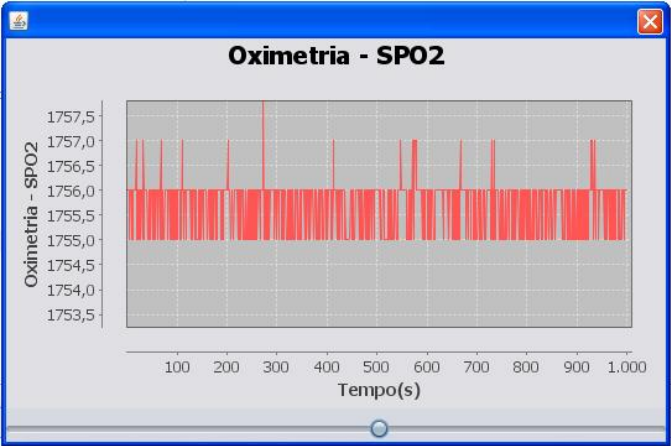
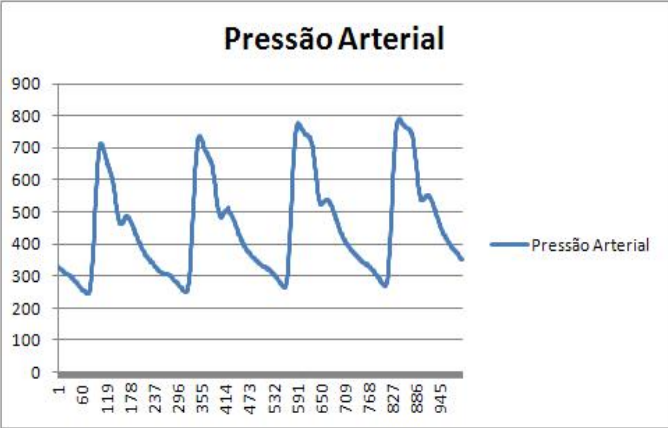


Figura 44 - Comparativo Pressão Arterial antes e depois da compressão

(a) – Antes da Compressão



(b) – Depois da Compressão

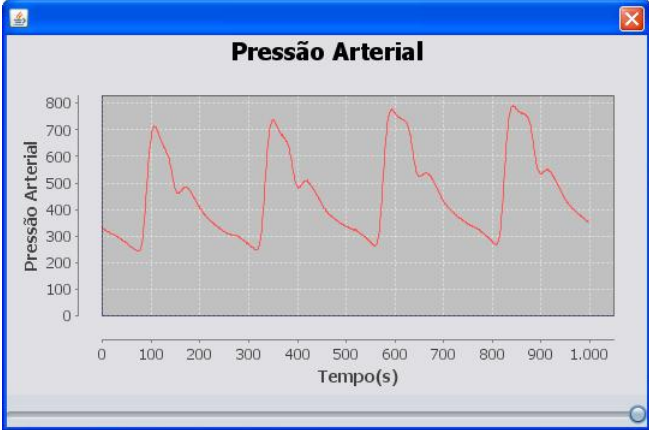


Figura 45 - Comparativo Sinal de Respiração antes e depois da compressão

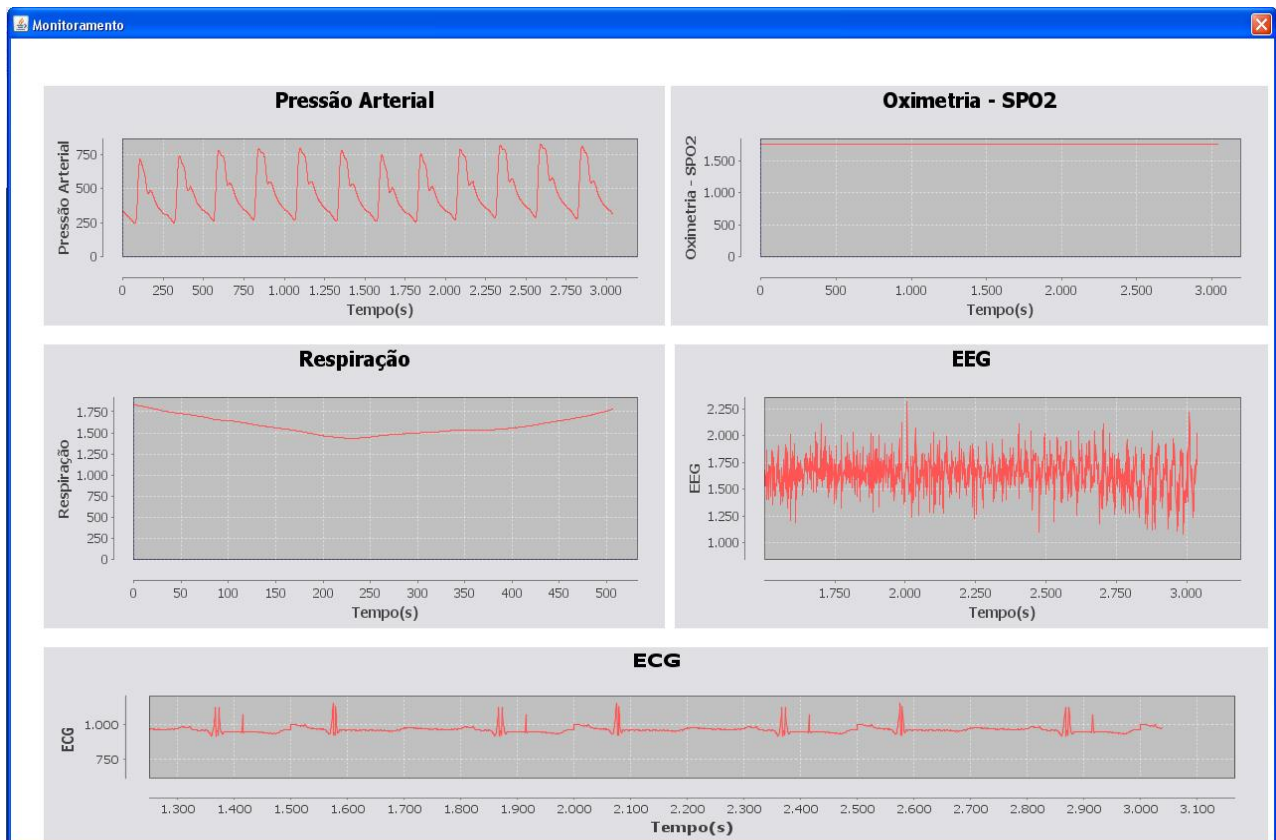
(a) – Antes da Compressão



(b) – Depois da Compressão



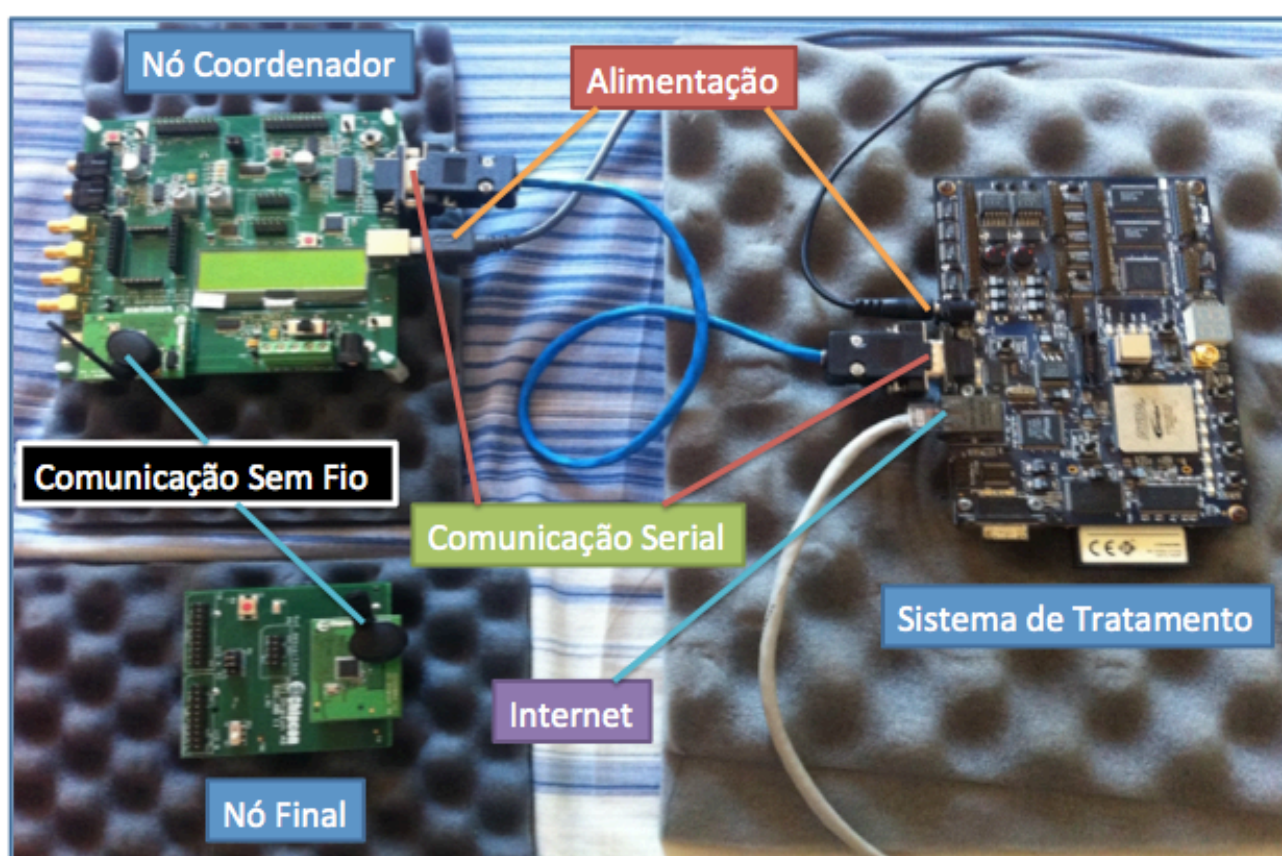
Figura 46 - Visualização de todos os sinais



A Figura 46 ilustra a interface do sistema de monitoramento que permite um acompanhamento geral do quadro clínico do paciente monitorado. É possível observar em tempo de execução todos os sinais de forma simultânea.

A Figura 47 ilustra os componentes de Captação e de Tratamento do InteliCare montados em laboratório. É possível observar o nó final da RSSF, o nó coordenador e suas conexões para alimentação transmissão dos dados recebidos e o sistema de tratamento embarcado em FPGA que recebe os dados através da porta serial e os envia pela internet até a Central de Monitoramento.

Figura 47 - Equipamentos Utilizados em Laboratório para Execução dos Testes

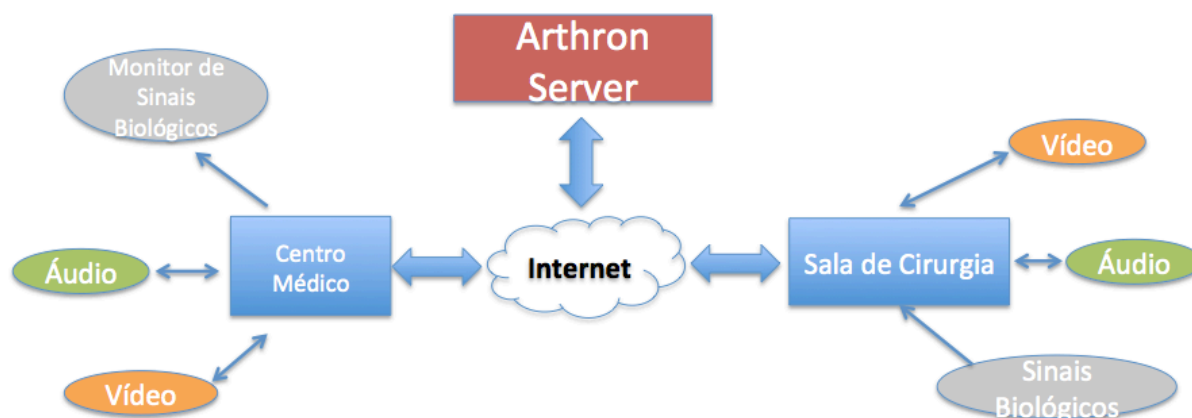


5.3 Resultados de Integração Arthron e InteliCare

Nesta seção são apresentados os resultados da integração entre a infraestrutura InteliCare e a ferramenta de distribuição de fluxos Arthron. Esta integração foi de grande valia para ambas as partes pois tornou mais real a experiência de acompanhamento de situações diversas como cirurgias e internações domiciliares.

Para testar a integração das duas infraestruturas foi montado um cenário de simulação de transmissão de uma cirurgia. O cenário montado é ilustrado na Figura 48.

Figura 48 - Cenário de Integração Arthron e InteliCare



É possível ver que na simulação para validar a integração há uma transmissão de uma sala de cirurgia até um ponto de interesse que nesse caso chama-se de Centro Médico. Sendo assim os usuários que estão no Centro Médico podem, de maneira colaborativa, interagir com a sala de cirurgia através de transmissão de áudio e vídeo bem como podem visualizar os sinais biológicos do paciente que está sendo operado. De maneira transparente ao usuário a integração Arthron e InteliCare permite uma experiência mais real de transmissão deste procedimento médico.

Conforme apresentado na seção 3.4, para realizar uma transmissão com a Arthron, é necessário que pelo menos dois pontos se conectem ao módulo servidor informando suas capacidades, isto é, informando se é um módulo de transmissão e/ou recepção bem como que tipo de conteúdo pode produzir. Desta forma, na simulação foi necessário um componente com a capacidade de transmitir e receber áudio vídeo e transmitir sinais e outro que pudesse também transmitir e receber áudio vídeo e receber sinais. Há portanto um canal bidirecional de áudio e vídeo e um canal unidirecional para os sinais biológicos.

Após a conexão com o módulo servidor, é preciso que uma operação de chaveamento seja realizada, de forma a direcionar o conteúdo do módulo que tem a capacidade de enviar para o módulo que tem a capacidade de receber. Imediatamente após a realização do

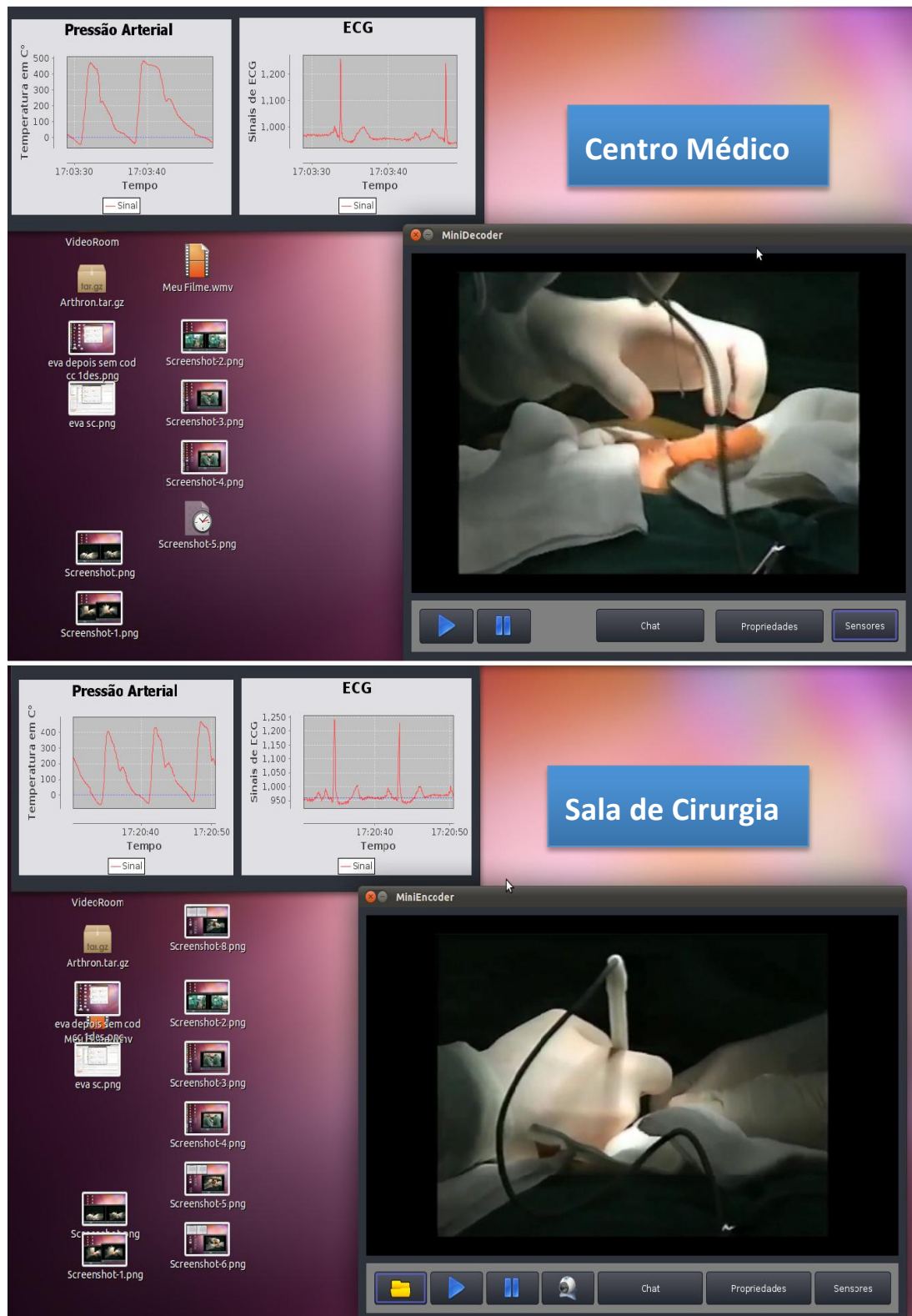
chaveamento, entram em ação os componentes responsáveis pela conexão com o InteliCare e que irá direcionar o fluxo dos sinais biológicos, que neste caso, simulam o paciente que está sendo operado, para que sejam visualizados. Tanto no próprio módulo de transmissão (Sala de Cirurgia) como no módulo de recepção (Centro Médico). Desta forma é possível acompanhar online a transmissão de uma cirurgia com o áudio do cirurgião, útil em situação de aulas, o vídeo com as ações realizadas e os sinais biológicos do paciente. É possível portanto ter acesso, de forma remota, ao monitor de sinais que fica na sala de cirurgia e que retrata o estado clínico geral do paciente.

A Figura 49 ilustra a interface da ferramenta Arthron durante uma das simulações realizadas. Na parte inferior da Figura é possível ver o módulo de transmissão (Sala de Cirurgia). Nele há o conteúdo audiovisual produzido bem como a plotagem dos gráficos com os sinais monitorados. Neste caso foram utilizados apenas ECG e Pressão Arterial como forma de validar a integração realizada. Na parte superior há a interface do módulo de recepção (Centro Médico). Nele são visualizados os sinais recebidos bem como o áudio e o vídeo da transmissão.

Observa-se que a transmissão que antes era apenas áudio e vídeo fica mais real quando agregada dos sinais oferecidos pela infraestrutura InteliCare de forma que a ferramenta fica caracterizada com um grande diferencial para videoconferências médicas, ensino a distância e segunda opinião médica.

A integração destas duas infraestruturas foi apresentada no último Workshop da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa, tendo uma boa recepção entre os pesquisadores que visitaram o stand.

Figura 49 - Arthron e InteliCare



Capítulo

6

Conclusão e Trabalhos Futuros

Esta dissertação apresentou uma infraestrutura para monitoramento de pessoas em situação de Internação Domiciliar. Para desenvolvimento da infraestrutura foram utilizadas as tecnologias de Redes de Sensores sem Fio no padrão IEEE 802.15.4 e Sistemas Embarcados em FPGA.

Foram utilizados para testes, sinais como Eletrocardiograma, Eletroencefalograma, Pressão Arterial, Saturação do Oxigênio no Sangue (Oximetria) e Sinal de Respiração. Estes sinais foram transmitidos através da RSSF montada em laboratório e os testes avaliaram a viabilidade de compressão dos dados no nó final da rede para otimizar o uso da largura de banda disponível, a viabilidade do uso dessa infraestrutura para o tipo de aplicação proposta e por fim foi testada a integração da infraestrutura desenvolvida com uma ferramenta de distribuição de fluxos chamada Arthron.

Os testes concluíram que a compressão dos dados no nó final da rede permitiu enviar 3,4 vezes mais informações sem utilizar nenhum recurso a mais da rede. Ademais o compressor utilizado não faz uso de memória e se adequou muito bem aos requisitos da plataforma do microcontrolador 8051.

Os testes também mostraram que é viável o uso dessa infraestrutura para monitoramento de pessoas e que é possível expandir o cenário de uso para além de monitoramento domiciliar. A integração com a ferramenta Arthron permitiu um grande aumento nas possibilidades de uso. Observou-se que é possível manter um monitoramento completo com áudio, vídeo e sinais desejados de forma que com a integração a experiência proporcionada fica bem mais real. Situações como transmissões de cirurgias, estudos de caso, monitoramento domiciliar entre outros podem ser acompanhadas por profissionais que disponham apenas de um computador com acesso a internet.

Outra contribuição do InteliCare é permitir o armazenamento de todas informações na forma RES (Registro Eletrônico de Saúde) possibilitando assim que o histórico do paciente seja armazenado para consultas práticas a qualquer momento e de qualquer lugar.

O InteliCare permitirá também que os PADs (Planos de Assistência Domiciliar) tenham um maior controle dos seus pacientes e trará a possibilidade de modelar estratégias de atendimento através da infraestrutura disponível. Por exemplo, os PADs podem criar estratégias de aviso para que os pacientes tomem seus medicamentos nos horários corretos.

Espera-se também que infraestrutura InteliCare permita uma redução dos custos de traslado de pacientes a fim de realizarem consultas médicas bem como permita que situações de emergência sejam detectadas de forma rápida.

Como trabalhos futuros sugere-se o aumento da quantidade de nós finais da rede, a realização de testes utilizando os sensores de fato e não apenas um banco de dados já digitalizado, realização de testes em ambiente real de aplicação para análise de interferências na transmissão.

Sugere-se também avaliação de consumo de energia da rede e a otimização do algoritmo de compressão Golomb-Rice, implementado no nó final.

Sugere-se também testes com o sistema embarcado em FPGA em outros chips menores, verificando a possibilidade de ter sua implementação em FPGA mais simples ou mesmo em outros dispositivos com capacidade para suportá-lo.

Para o sistema de central de monitoramento, sugere-se o desenvolvimento de interfaces de consultas mais complexas. Pode-se aperfeiçoar o sistema para ser capaz de analisar os dados coletados e sugerir com base nessa análise, estratégias e ações preventivas evoluindo para se torna um sistema inteligente de apoio à decisão.

Referências

Altera Corporation, 2007, Nios Development Board Reference Manual, Stratix Edition. Disponível em: www.altera.com, acesso em 15 de abril de 2009.

Altera Corporation, 2008, Nios II Software Developer's Handbook. Disponível em: www.altera.com, acesso em 15 de abril de 2009.

Altera Corporation, 2012, disponível em www.altera.com

Altera Stratix FPGA: Low Power, High Performance. Disponível em <http://www.altera.com/devices/fpga/stratix-fpgas/stratix/stratix/stx-index.jsp>.

ANANDA, A., CHAN, C. M., Mobile, wireless, and sensor networks: technology, applications, and future directions. New Jersey: Wiley Interscience, 2006.

Anjos, E. G., Belo, F. A., Gomes, R. D., Silva, M. D. C.. Sistema de testes para um torquímetro dinâmico telemétrico aplicado a eixos rotativos. Congresso InfoBasil, Fortaleza – CE, 2008.

Anjos, E. G., Belo, F. A., Lima, J. A. G., Costa, Y. G. G.. Embedded system architecture for oil pump using reconfigurable computing. Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems – Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Rio de Janeiro – RJ, 2008.

Araújo, R. C., Santos J. L. A., Anjos, E. G., Lima Filho, A. C. ““RailBee” Sistema de instrumentação virtual de veículos em malhas metroferroviárias”, Seminário Negócios nos Trilhos 2008 - Revista Ferroviária.

Ascariz, J. M. R., Boquete L., System for Measuring Power Supply Parameters with ZigBee Connectivity. *em Proc. 2007 IEEE Instrument and Technology Conf.*, pp. 1-2.

ATHANAS, P.; SILVERMAN, H. **Processor Reconfiguration through Instruction-Set Metamorphosis: Architecture and Compiler**. IEEE Computer. v. 26, n. 3, Mar, 1993, p. 11-18.

Bondalapati, K.; Prassanna, V. K. Reconfigurable Computing Systems. *In: Proceedings of the IEEE*, 2002, p. 1201-1217.

Cao L., Jiang W., Zangh Z., “Networked wireless Meter Reading System Based on ZigBee Technology”. *em Proc. 2008 IEEE Control and Decision Conf.* pp 3456

Cardell-Oliver, R., Smettem, K., Kranz, M. & Mayer, K. (2004). Field testing a wireless sensor network for reactive environmental monitoring. In *Proceedings of the Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference* , December 14–17, pp. 7–12.

Carvalho JA, Garcia RA. O envelhecimento da população brasileira: um enfoque demográfico. *Cadernos de Saúde Pública*. 2003 ;19(3):725-733.

Compton, K.; Hauck, S. An introduction to reconfigurable computing. *IEEE Computer*; 2000

Costa, Y. G. G. ; Marques, D. S. ; Morais, B. M. ; LIMA, J. A. G. ; Gambarra, L. L. ; Gadelha, I. ; BATISTA, Leonardo Vidal ; CAVALCANTI, A. C. . IP-Core para Compressão Sem Perdas de Sinais Biológicos. In: XVI Workshop Iberchip, 2010, Foz do Iguaçu. *Proceedings of XVI Workshop Iberchip*, 2010, 2010.

E. Rosen, Mobile Telemedicine Arrives, *Telemedicine Today*, 5(5), 14-42, 1997

Egan D., "The Emergence of ZigBee in Building Automation and Industrial Controls". IEEE Computing & Control Engineering, Vol. 16, No. 2, pp. 14-19, April/May 2005.

França, G. A. T., Estudo e especificação de um Sistema de Telemetria usando a tecnologia spread spectrum, Campinas-SP, 1997.

FOWLER, Martin. **UML essencial**: um breve guia para a linguagem padrão de modelagem de objetos / Martin Fowler; Trad. João Tortello. – 3. ed – Porto Alegre: Bookman, 2005.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD): acesso e utilização de serviços de saúde. Rio de Janeiro; 1998.

GOLOMB, S. W. Run-Length Encodings. IEEE Transactions on Information Theory, v. 12, p. 399-401, Setembro 1966.

Guo, Y., Corke, P., Poulton, G., Wark, T., Bishop-Hurley, G. & Swain, D. (2006). Animal behaviour understanding using wireless sensor networks, ICN. *Proceedings, 2006, 31st IEEE Conference on Local Computer Networks*, 2006, pp. 607–614.

Golmie, N., Cypher, D., Erebal, O. Performance Evaluation of Low Rate WPANS for Medical Applications. *National Institute of Standards and Technology (2004)*

GUPTA, R. K. **Introduction to Embedded Systems**. Disponível em: <<http://www.ics.uci.edu/~rgupta/ics212/w2002/intro.pdf>>. Acesso em: 03 de maio. 2008. UCLA, 2002.

HEATH, S.. **Embedded Systems Design**. 2. ed. Oxford: Newnes, 2003. 541 p.

Holanda, J. A. M. Projeto de um estimador de potência para o processador Nios II. ICMC-USP, 2007.

Hsu S., Wu H., Chen S., Liu T., Huang W., Chang Y., Chen Y.; Development of Telemedicine and Telecare over Wireless Sensor Networks, IEEE 2009

Hu X., Wang J., Yu Q., Liu W., Qin J; A wireless Sensor Network based on Zigbee for Telemedicine Monitoring System, IEEE 2009

IAR Systems, disponível em www.iar.com

Ken C., Xiaoying L.; Development of WI-FI Based Telecardiology Monitoring System, IEEE 2010.

J. L. A. dos Santos. Sistema telemétrico para monitoramento de trens através de redes de sensores sem fio e processamento em sistema embarcado. Master's thesis, PPGI, Universidade Federal da Paraíba - Brasil, 2010.

J. L. A. Santos, R. C. C. Araújo, A. C. Lima Filho, F. A. Belo, and J. A. G. Lima. Telemetric system for monitoring and automation of railroad networks. *Transportation Planning and Technology*, 34:593–603, 2011.

H. Karl and A. Willig. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. Wiley, 1th edition, 2005.

Kumar, A.; Rahman, F.; System for wireless health monitoring; System for wireless health monitoring; Sensors for Industry Conference, 2004. Proceedings the ISA/IEEE 2004 Page(s):207 – 210

LABROSSE, J. J.. **MicroC/OS-II: the real-time kernel**. St. Louis: Focal Press, 2002. 605 p.

Loureiro, A. A., Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S., and Mini, R. A. (2002). Rede de sensores sem fio. In Porto, I. J, editor, *Simpósio Brasileiro de Computação, Jornada de Atualização de Informática*, pages 193.234.

Loureiro, A. A. F., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., de Freitas Mini, R. A., Nakamura, E. F., and Figueiredo, C. M. S. (2003). Redes de sensores sem fio. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 179. 226.

MAXFILED Max C. **The Design Warrior's Guide to FPGAs**. USA, 2004.

MEIRA, M. M.; LIMA, J. A. G. D.; BATISTA, L. V. An FPGA Implementation of a Lossless Electrocardiogram Compressor Based on Prediction and Golomb-Rice Coding. Proceeding of XI Workshop Iberchip, Salvador, 2005.

Melo, E. Arthron : uma ferramenta para gerenciamento e transmissão de mídias em performances artístico-tecnológicas / Erick Augusto Gomes de Melo. - - João Pessoa : [s.n.], 2010.

NEAD. NEAD – Núcleo Nacional das Empresas de Assistência Domiciliar publica a primeira pesquisa do segmento no País [Internet]. 4 p. Disponível em: <http://intranet.neadsaude.org.br/editor/imagens/grupo/4545ec731c27c4fe.pdf>. Acesso em: 23/08/2010.

Nejikovsky, B.; Keller, E.; Wireless communications based system to monitor performance of rail vehicles, *Proceedings of the 2000 ASME/IEEE Joint Railroad Conference*, 2000.

Nishibori, N.; Sasaki, T.; Kawai, O.; Ogushi, H.; Kasai, T.; Toyoda, A.; Development of tracking train detection device (COMBAT) by using wireless communication, *Proceedings of the 2001 IEEE/ASME Joint Railroad Conference*, 2001

NOERGAARD, T. **Embedded Systems Architecture**: a comprehensive guide for engineers and programmers. Oxford: Elsevier, 2005. 656 p.

OGIELA, M. R.; TADEUSIEWICZ, R. **Modern Computational Intelligence Methods for the Interpretation of Medical Images**. Kraków: Springer, 2008.

OLUKOTUN, K. A. et al. A Software-Hardware Cosynthesis Approach to Digital System Simulation. **IEEE Micro**. v. 14, p. 48-58. Nov. 1994.

Paré G, Jaana M, Sicotte C. Systematic review of home telemonitoring for chronic diseases: the evidence base. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*. 2007 ;14(3):269-77.

PELLERIN, D.; THIBAUT, S.; **Practical FPGA Programming in C**. Prentice Hall, 2005.

PERON, R. V. **Otimização de código fonte C para o processador embarcado Nios II**. 2007. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - Universidade de São Paulo, 2007.

RICE, R. F. Some practical universal noiseless coding technique. Jet Propulsion Laboratory. [S.l.]. 1979.

R. I Stepanian, Integrated Mobile Telemedical Systems: Currents status and future prospects, *Virtual Medical Worlds Monthly*, 1999, <http://www.hoise.com/vmw/99/articles/vmw/RI-VM-07-99-1.html>

Ruiz, L. B. (2003). *MANNA: Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais.

RUTE - Rede Universitária de Telemedicina. Disponível em <http://rute.rnp.br/>.

Ryoo, J. , Choi Y. B. , Oh T H.; Mobile Telemedicine – Chapter 10 - Security and Privacy in Mobile Telemedicine, pp 175-193. 2008

Santoni , T. A. , Santucci , J. F. , De Gentili , E. & Costa , B. (2006). Using wireless sensor network for wildfire detection. A discrete event approach of environmental monitoring tool . *Proceeding of ISEIMA 06* , pp. 115 – 120 .

SALOMON, D. **Data Compression:** The Complete Reference. Nova Iorque: Springer, 2004.

Santos S. T., “Redes de Sensores Sem Fio em Monitoramento e Controle”, Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ, Engenharia Elétrica, 2007

SEROUSSI, G.; WEINBERGER, M. J. On Adaptive Strategies for an Extended Family of Golomb-Type Codes. **Proceedings of the Conference on Data Compression (DCC '97)**, Washington, 1997. 131.

Scott, J. C. (1998). Applications of telecommunications and information technology for humanitarian health initiatives. *Proceedings of the Medical Technology Symposium* , 17–20 August, pp. 197–204

Sharma, V.K.; Vaidya, Yogita. M.; Radio Frequency Identification Based Rail Wagon Monitoring System, In *4th Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronic*, Kumamoto Japan, 8-10 May 2007

Simon Wong, K. F., Tsang, I. W., Cheung, V., Gary Chan, S.H., Kwok, J. T. (2005). Position estimation for wireless sensor networks. In *Proceedings of IEEE Globecom 2005*, St. Louis, November 28, December 2, 2005.

Southworth, F.; Chin, S.-M.; Cheng, P.D.; A telemetric monitoring and analysis system for use during large scale population evacuations; Road Traffic Monitoring, 1989., Second International Conference on 7-9 Feb 1989 Page(s):99 – 103

Stankovic, J. A., Cao, Q., Doan, T., Fang, L., He, Z., Kiran, R., Lin, S., Son, S., Stoleru, R. & Wood, A. (2005). Wireless sensor networks for in-home healthcare: Potential and challenges. *Proceedings of High Confidence Medical Device Software and Systems (HCMDSS) Workshop*, Philadelphia, PA, June 2–3, 2005.

Svensson, A. (2005). Executive Summary – The Safe Traffic Project, February.

Szewczyk, R., Osterweil, E., Polastre, J., Hamilton, M., Mainwaring, A. & Estrin, D. (2004). Habitat monitoring with sensor networks. *Communications of the ACM*, 47 (6), pp. 34 – 40.

TI - Texas Instruments - Solution for ZigBee/IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Network. Disponível em <http://www.ti.com/product/cc2431>.

Torres-Pereira, L.; Ruivo, P.; Torres-Pereira, C.; Couto, C.; A noninvasive telemetric heart rate monitoring system based on phonocardiography; Industrial Electronics, 1997. ISIE '97., Proceedings of the IEEE International Symposium on 7-11 July 1997 Page(s):856 - 859 vol.3

Veras R. Population aging today: demands, challenges and innovations. *Revista de saúde pública*. 2009 ;43(3):548-54.

VERDONE, R.; Dardari, D.; Mazzini, G.; Conti, A.; **Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies, Analises and Design**. Burlington: Elsevier, 2007.

VIEIRA, E. ; PASSOS, M. ; SANTOS, B. A. ; OLIVEIRA, S. S. ; MELO, E. A. ; MOTTA, G. H. M. B. ; TAVARES, T. A. ; SOUZA FILHO, Guido Lemos de . **Uma Ferramenta para Gerenciamento e Transmissão de Fluxos de Vídeo em Alta Definição para Telemedicina**. In: Salão de Ferramentas do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores 2012, 2012, Ouro Preto. Anais do Salão de Ferramentas do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores 2012, 2012. v. 1.

VIEIRA, E. ; FERREIRA, A. ; SILVA, J. C. F. ; PASSOS, M. ; MELO, E. A. ; MOTTA, G. H. M. B. ; TAVARES, T. A. ; SOUZA FILHO, Guido Lemos de . **Estratégia de Segurança para Transmissão de Fluxos de Mídia em Alta Definição**. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web. WebMedia 2011, 2011, Florianópolis. Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web, 2011.

WILSON, P. **Design Recipes for FPGAs**. Oxford: Elsevier, 2007

Wolf W., Madsen J., “Embedded systems education for the future,” Proceedings of the IEEE, 88(1), January 2000, pp. 23-30.

World Health Organization. Preventing chronic diseases: A vital investment. 2005. Disponível em: http://www.who.int/chp/chronic_disease_report/full_report.pdf.

WHO, World Health Report 2000, disponível em <http://www.who.int/whr/2000/en>

Zeng-Qiang Ma; Zhan-Feng Gao; Yan Yan; Wireless Monitoring System of Train Speed Based on RCM3000, *In IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2006

ZAMMATTIO, S. Delivering a Consistent Software Development Environment on a Changing Processor Platform, 2006. Disponível em: <http://www.fpgajournal.com/whitepapers_2006/q1_altera.htm>. Acesso em: 27 de Maio. 2009.

ZigBee Alliance, **ZigBee Document**, Version 1.0. 14, 2004

ZigBee Specification, **ZigBee Document 053474r17**, 2007