

Um Estudo de Campo sobre o Estado da Prática da Elicitação de Requisitos em Sistemas Embarcados

Jaime Cazuhiro Ossada¹, Luiz Eduardo Galvão Martins²

¹Anhanguera Educacional S/A - Brasil

jaime@portalembarcados.com.br

²Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) - Brasil

lgmartin@unimep.br

Abstract

Embedded Systems have a very important role in the modern life. We use them in our home, work, transportation, medical procedures, leisure time and so on. Despite of its great importance to our lives this kind of system steel lake a better process to improve the quality of its software. In this paper we present the results from a field research that focused the state of the practice of the embedded systems development, with special concern to the requirements elicitation aspects. The field research covered 53 embedded system practitioners that were predominantly placed in the state of São Paulo, Brazil. The results offer a picture of the embedded systems development practice in Brazil, and probably mirror the reality of this area in the Latin America.

1. Introdução

Sistemas Embarcados vêm assumindo um papel importante no cotidiano das pessoas, embora muitas vezes sua presença não seja percebida. Em um mundo em que cada vez mais a tecnologia se faz presente para facilitar o cotidiano dos indivíduos, Sistemas Embarcados (SE) estão presentes em diversas atividades humanas para auxiliar na realização de tarefas do cotidiano, trazendo conforto, segurança, rapidez, entre outros benefícios. Na medida em que o custo de fabricação e desenvolvimento desse tipo de sistema cai (e isto vem ocorrendo de forma progressiva nas últimas duas décadas), a sua presença no cotidiano tende a aumentar cada vez mais [7][8].

O desenvolvimento de um sistema embarcado envolve a observância de vários requisitos não-funcionais, como baixo consumo de potência sem comprometimento do desempenho do sistema, limitação quanto ao tamanho de memória, tamanho reduzido do circuito integrado, reuso de código legado, projeto de hardware com baixo custo, necessidades de

segurança, requisitos de tempo-real, alta confiabilidade e disponibilidade, entre outros fatores [3][11].

Nos últimos anos tem havido um interesse recíproco entre as comunidades de Engenharia de Software e Sistemas Embarcados [11]. Na medida em que o software para SE está se tornando cada vez mais complexo, os engenheiros de sistemas embarcados estão procurando na Engenharia de Software técnicas, métodos e ferramentas que possam auxiliá-los na melhoria da qualidade do software. Por sua vez, a comunidade de Engenharia de Software está percebendo a necessidade de adaptar o ferramental já existente, e também propor novas abordagens, que possam atender de forma efetiva as particularidades da área de SE.

Uma percepção que emerge pesquisando a literatura da área de SE, e também a partir da interação com profissionais que desenvolvem sistemas nesta área, é que há uma escassez, senão uma ausência completa, de métodos, técnicas e ferramentas de Engenharia de Requisitos desenvolvidas especialmente para a área de SE. Com o intuito de contribuir com o preenchimento desta lacuna, apresentamos neste artigo uma pesquisa de campo que teve por objetivo verificar o estado da prática em elicitação de requisitos para SE de pequeno e médio porte. A pesquisa realizada abrangeu principalmente profissionais que desenvolvem SE no Estado de São Paulo (Brasil), mas também com a participação de alguns grupos de profissionais de outros Estados. Acreditamos que a amostra de participantes é representativa dentro da área de SE no âmbito da América Latina.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada uma breve introdução sobre Sistemas Embarcados; na seção 3 são apresentados alguns trabalhos relacionados ao uso da Engenharia de Requisitos para SE; na seção 4 é apresentada a metodologia que foi adotada para a realização da pesquisa de campo; a seção 5 apresenta a análise dos resultados obtidos com a pesquisa de

campo; a seção 6 aponta uma proposta de trabalhos futuros; a seção 7 apresenta as conclusões finais do trabalho; e a seção 8 traz os agradecimentos aos que apoiaram e participaram da realização desta pesquisa de campo.

2. Visão geral sobre SE

O crescente desenvolvimento da Física de semicondutores e da Engenharia Eletrônica tem permitido uma drástica redução no custo da produção de *hardware*, e um aumento significativo na capacidade dos processadores, permitindo que sistemas complexos possam ser desenvolvidos dentro de custos aceitáveis para o mercado. O mercado de SE (que é segmentado em muitos nichos) é o grande responsável pela absorção dos *chips* produzidos pelos fabricantes de processadores. Apenas 2% dos processadores fabricados no mundo são microprocessadores de alto desempenho destinados aos computadores de propósitos gerais (*desktops* e *notebooks*), os 98% restantes são microprocessadores e microcontroladores (MC) de pequeno e médio porte, destinados ao mercado de SE [13].

Estima-se que em uma residência norte-americana sejam encontrados mais de 40 processadores em diversos SE presentes para auxiliar nas tarefas do cotidiano, sem levar em consideração os computadores pessoais (PC), que contribuem com outros 5 a 10 MCs para cada PC, além de veículos que atualmente contam com algumas dezenas de (sub)sistemas embarcados. A previsão é que esse número aumente em grande escala nas próximas décadas [16], pois são fabricados milhões de computadores destinados ao mercado *desktop*, servidores e *mainframes*, e bilhões de processadores para SE contendo funções definidas e conhecidas (reprodutores de DVDs, sistemas para aeronaves, sistemas para equipamentos médicos, brinquedos, elevadores, eletrônicos de consumo, celulares etc.) [14].

2.1. Definição de Sistemas Embarcados

Existem algumas definições para sistemas embarcados, também chamados de sistemas embutidos ou sistemas dedicados. São sistemas com a finalidade de controlar um ambiente ou dispositivo físico, diferindo-se em diversos aspectos de um computador para propósitos gerais. Sistemas embarcados realizam um conjunto de tarefas pré-determinadas que não podem ser alteradas facilmente após o lançamento do produto no mercado. O propósito geral de um sistema embarcado é o de regular um dispositivo físico enviando sinais de controles para atuadores em reação

aos sinais de entradas providos pelos seus usuários ou sensores [6].

O “coração” de um SE é o componente eletrônico chamado microcontrolador, que além da unidade central de processamento embute vários periféricos, como: barramentos de comunicação, memória volátil (RAM), memória não-volátil (EEPROM), conversor analógico-digital (AD), conversor digital-analógico (DA), relógio e calendário digitais, entre outros componentes. Cabe ressaltar que os processadores encontrados em computadores de finalidade geral (normalmente chamados de microprocessadores) não têm estes periféricos embutidos no mesmo *chip*.

O MC interage fortemente com os sensores do sistema, estes são responsáveis por monitorar o ambiente ou equipamento que está sendo controlado e enviar os sinais elétricos para o MC. Com base nos sinais enviados pelos sensores, e nos parâmetros definidos pelo usuário (humano), o MC realiza o processamento necessário resultando no envio de sinais para atuadores e demais dispositivos relacionados (como memórias, *displays*, consoles etc.)

Em certas situações a ordem de ocorrência dos eventos programados em um SE pode sofrer variações. Por exemplo, em casos como o sistema de uma máquina de lavar roupas, com eventos pré-definidos de encher água, lavar, enxaguar, centrifugar, secar, esta ordem de ocorrência pode ser alterada por eventos externos. Podendo ocorrer problemas como a falta de água, ou variação na vazão de água. Um projeto de SE tipicamente deve prever estas variações e determinar como tratá-las.

Segundo Broy [6], estatísticas indicam que em SE mais de 50% dos problemas ocorrem após a entrega do artefato ao usuário, e os problemas relatados não são relativos a erros de programação, mas sim equívocos cometidos na captura dos requisitos, chamados de erros de concepção de requisitos. Projetos de SE, principalmente quando a sua utilização é destinada a aplicações de alto risco ou de tempo-real, necessitam de um alto grau de confiabilidade. A base para isto é capturar corretamente os requisitos do sistema. SE complexos de alta qualidade não são construídos por acaso, exigem muito esforço da equipe de desenvolvimento para adquirir a qualidade necessária, envolvendo engenheiros de várias disciplinas que contribuem no desenvolvimento de artefatos de alta qualidade [10].

2.2. Desafios da Engenharia de Software para Sistemas Embarcados

O desenvolvimento de software na indústria automotiva é considerado um dos campos mais

desafiadores da Engenharia de Software para SE, onde mescla-se requisitos de tempo-real com requisitos de segurança, distribuídos em uma rede de MCs. Com o aumento contínuo das inovações, por exemplo a tecnologia *drive-by-wire*, na qual o controle da direção do veículo é de responsabilidade de um sistema embarcado, ou ainda o caso do sistema *brake-by-wire*, em que o freio do veículo passa a ser controlado eletronicamente, em ambos os casos substituindo os tradicionais sistemas hidráulicos e mecânicos. Para que tais objetivos sejam atingidos com sucesso é necessário que as funções do software de controle trabalhem dentro de um altíssimo grau de confiabilidade [4].

Fora da indústria automobilística projetos de SE têm aumentado significativamente de tamanho, acompanhando a evolução da complexidade dos componentes eletrônicos, conseqüentemente gerando novos desafios à engenharia de SE. Um dos grandes desafios é a produção de SE de alta qualidade atendendo o mercado antes que o produto se torne obsoleto.

Segundo Graaf *et al.* [9], para permitir que processos de linha de tempo, produtividade e qualidade do software embarcado estejam otimizados, as empresas podem se beneficiar com a adoção de técnicas da Engenharia de Software. SE estão sendo projetados para trabalharem em redes de computadores, o que significa um aumento da complexidade, como *downloads* de módulos, permitindo reconfiguração dinâmica do sistema. A questão *time-to-market*¹ faz com que o projeto de SE tenha o tempo de prototipagem encurtado, forçando que o início do desenvolvimento de um projeto seja o mais rápido possível, obrigando um projeto de SE definir uma plataforma de hardware existente que atenda aos requisitos da aplicação a ser desenvolvida, tornando o projeto mais dependente do hardware (esta é uma característica marcante em SE) [5]. Atrasos de dias ou semanas podem inviabilizar o lançamento de um produto, e todo tempo despendido durante o projeto e produção pode ser totalmente desperdiçado.

3. Engenharia de Requisitos para SE

3.1. Caracterização

Projetos de SE geralmente são conduzidos por Engenheiros da área de hardware, com *expertise* em eletrônica, elétrica e mecânica. No modelo vigente de desenvolvimento de SE, normalmente arquitetos de software não estão envolvidos nas decisões em nível de

projeto do hardware, e o resultado é que em muitas vezes o software não cumpre as expectativas, problema que poderia ser atenuado se no domínio do projeto de hardware houvesse o envolvimento das equipes de software [10][16].

É comum engenheiros de SE iniciarem o desenvolvimento de um modelo de sistema antes de realizar a captura formal dos requisitos [3]. Ainda não há entre os profissionais de SE uma cultura bem estabelecida quanto ao tratamento dos requisitos do sistema. Muitos desenvolvedores elicitam e documentam requisitos simplesmente por meio de trocas de mensagens via correio eletrônico, ou fax, sem a utilização de uma ferramenta de suporte para documentar e gerenciar as mudanças de requisitos [17].

Um dos problemas críticos no tratamento dos requisitos de SE é a transição dos requisitos de alto nível para os requisitos técnicos (requisitos especificados no nível de detalhes técnicos do sistema). Broy sugere o desenvolvimento de duas subfases no processo de elicitação de requisitos para SE [6], explicadas a seguir.

I) Pré-fase: elaboração dos requisitos do produto em alto nível de abstração, descrevendo-se as funções a serem realizadas pelo SE, bem como possíveis restrições, a partir do ponto de vista do cliente (solicitante do sistema, que não deve ser confundido com o usuário final do sistema). Focaliza-se na definição de uma estratégia de posicionamento do produto no mercado, o documento elaborado deve conter alternativas e uma lista de restrições. Durante a pré-fase ainda não existe a preocupação quanto a alocação das funcionalidades do sistema em termos de hardware e software.

II) Fase principal: com base nos resultados da pré-fase o foco passa a ser a especificação de um acordo entre os *stakeholders* envolvidos, no que diz respeito aos requisitos técnicos, buscando-se produzir um documento de especificações técnicas, indicando quais as funções do SE serão implementadas por hardware e por software.

A Tabela 1 apresenta algumas diferenças que influenciam a Engenharia de Requisitos (ER) de SE e sistemas de informação convencionais. Em muitos projetos de SE, requisitos não-funcionais (RNF), como restrições de tempo-real, confiabilidade, disponibilidade e desempenho, se não tratados adequadamente, podem trazer sérios prejuízos financeiros (*recalls* de milhares de unidades) ou até mesmo a perda de vidas humanas.

¹ Tempo de lançamento de um produto no mercado, desde a sua concepção até a distribuição.

Tabela 1 – Algumas características que diferem a Engenharia de Requisitos de sistemas embarcados e sistemas de informação convencionais

Características	Sistemas Embarcados	Sistemas de Informação convencionais
Participação de <i>stakeholders</i> com perfil técnico (engenheiros)	Muito freqüente	Pouco freqüente
Requisitos de tempo-real	Comum, tendo grande impacto no produto	Incomum
Utilização de hardware padronizado	Incomum. Normalmente o hardware é projetado especificamente para o produto em desenvolvimento	É comum a utilização de plataformas padronizadas
Restrições quanto ao tamanho do software executável	Presente na maioria dos projetos de SE	Normalmente não há
<i>Time to market</i>	Janela de tempo curta	Janela de tempo longa
Dimensões físicas do sistema (volume, peso, ergonomia)	RNF muito importante a ser considerado	Não se aplica
Consumo de energia	RNF muito importante a ser considerado	Não se aplica
Confiabilidade	RNF fundamental para a maioria dos casos, e mandatório em alguns casos	Necessário, mas com impacto menor no projeto global do sistema
Definição de requisitos de hardware	Forte impacto no projeto global	Baixo impacto no projeto global
Atores que interagem com o sistema	Dispositivos físicos como sensores e atuadores, e eventualmente atores humanos	Normalmente atores humanos

3.2. Trabalhos relacionados

Em Graaf *et al.* [9] é apresentado o resultado de uma pesquisa de campo em que nove profissionais da área de SE, atuando em organizações européias, foram entrevistados. Nessa pesquisa o objetivo foi identificar o estado da prática da engenharia de software embarcado, mas o foco não era exclusivamente o tratamento dos requisitos do sistema. Nos últimos anos vários trabalhos têm sido desenvolvidos na tentativa de aproximar engenharia de software e sistemas embarcados. O trabalho de Aoyama [1] enfatiza a importância da ER para eletrônicos de consumo, como telefones celulares. Neste segmento, em que o produto é desenvolvido para consumo em massa, os usuários são conhecidos de forma indireta.

Seu trabalho propõe uma metodologia de ER para identificar requisitos de usuários “desconhecidos”.

Austin e Runk [2] apresentam uma metodologia para auxiliar na definição de requisitos completos, consistentes, sem ambigüidades e verificáveis para SE em projetos automotivos. Wagner e Carro [15] elencam algumas técnicas consolidadas de modelagem de requisitos que podem ser usadas de forma adaptada às necessidades de projetos de SE. Nesse trabalho é observada a importância do tratamento dos requisitos não-funcionais em sistemas embarcados.

Outros trabalhos têm sido realizados com a finalidade de propor metodologias para desenvolvimento de software embarcado [11][12], e são quase unânimes em tentar adaptar metodologias já existentes para o desenvolvimento de software de computação de propósitos gerais. Apenas ajustando-as para as necessidades de SE, ou ainda sugerindo a utilização conjunta de notações UML [5][12] como ferramenta de simulação de modelos, verificação de ciclos e iterações de funcionalidades, buscando diminuir a lacuna entre a concepção de hardware e software para SE [16]. Em nenhum dos trabalhos citados foram encontradas propostas consistentes de processos que atendam às particularidades do tratamento de requisitos para SE.

4. Metodologia Empregada na Pesquisa de Campo

Foi elaborado um questionário para ser aplicado aos profissionais que atuam no mercado de sistemas embarcados brasileiro, com o propósito de verificar o estado da prática relacionado à elicitación de requisitos. O questionário abrangeu 25 questões divididas em três grupos:

I) Perfil do profissional: foram elaboradas questões objetivas para se obter o tipo de formação, experiência e tempo de atuação em projetos de SE.

II) Tecnologia utilizada: neste grupo de questões o objetivo foi identificar os diversos ambientes de desenvolvimento adotados pelos profissionais, abrangendo famílias de processadores, compiladores e simuladores de hardware e software.

III) Processo de elicitación de requisitos: o foco neste grupo de questões foi identificar os principais procedimentos adotados, bem como as ferramentas utilizadas e os principais problemas encontrados durante a coleta e definição de requisitos. Também houve a preocupação de identificar quais eram os critérios adotados para separação de funcionalidades e restrições a serem implementadas por hardware (HW) e software (SW).

4.1. Desenvolvimento e Condução da Pesquisa

Para a realização da pesquisa o questionário desenvolvido foi publicado e disponibilizado em um *web site* (www.portalembarcados.com.br), a Tabela 2 apresenta as questões respondidas pelos profissionais de SE. Para a formatação das questões foi utilizado o *script phpESP*, escrito em linguagem PHP, os resultados do questionário foram armazenados em uma base de dados *MySql* para posterior análise e tabulação. O *script* é de livre utilização através da licença GPL e permite a elaboração e a criação do *layout* do questionário, além de prover mecanismos que evitam que um mesmo usuário responda mais de uma vez ao questionário através da gravação de *cookies*² no computador do participante, evitando assim fraudes e adulterações nas respostas. Para participar da pesquisa foram convidados profissionais que atuavam em várias áreas de SE, a maioria alocada em empresas do Estado de São Paulo (Brasil), envolvendo os seguintes segmentos de mercado: sistemas automotivos, automação industrial, eletrônicos de consumo, domótica, equipamentos médicos, telecomunicação e entretenimento. Os convites para participação na pesquisa foram enviados por e-mail, convidando os profissionais que visitassem o *web site* e respondessem as questões. O *web site* ficou aberto durante um período de aproximadamente 2 meses (junho e julho/2009).

Tabela 2 - Questões aplicadas na pesquisa de campo

Nº	Questão
Perfil do Entrevistado	
1	Informe a sua formação específica na área
2	Tempo de experiência na área de TI
3	Tempo de experiência em Sistemas Embarcados
4	Categoria de Sistemas Embarcados em que tem experiência?
5	Durante a fase inicial de um projeto de sistema embarcados, qual é a sua principal função/atividade ?
Tecnologias utilizadas	
6	Microcontroladores com os quais têm trabalhado?
7	Utiliza ferramentas de modelagem e simulação?
8	Quais?
9	Quais os ambientes e linguagens de programação que utiliza com mais frequência?
Processos de análise e coleta de requisitos	
10	Em sua empresa são adotados procedimentos metodológicos para coleta e análise de requisitos?
11	Forma de procedimento adotada ?
12	Os procedimentos são estáveis e seguidos da mesma forma sempre que é feita uma coleta e análise de requisitos?
13	Assinalar as técnicas de coleta de requisitos adotadas na empresa em que trabalha.
14	Quem realiza a coleta de requisitos participa do desenvolvimento do sistema embarcado?
15	Descreva quais são os critérios adotados para a separação das funcionalidades que serão implementados por hardware e software.
16	Como é feita a transição dos requisitos de alto nível (informados pelo cliente)

² É uma informação que um servidor *web* pode armazenar temporariamente no computador do usuário.

	para os requisitos técnicos que irão viabilizar a implementação do sistema embarcado?
17	Adota um padrão para a documentação dos requisitos?
18	Quais padrões são utilizados?
19	Principais dificuldades encontradas durante a coleta e análise de requisitos
20	Técnicas de modelagem de requisitos adotadas
21	Normalmente em um projeto quantas pessoas estão envolvidas?
22	Qual o tempo médio de duração de um novo projeto desde a fase inicial até a sua finalização
23	Em qual fase do projeto se despende mais tempo? Se possível descreva as fases que são utilizadas
24	Há um procedimento formal de validação de requisitos junto ao solicitante/cliente do sistema?
25	Os requisitos não funcionais são tratados na análise dos requisitos?

5. Resultados Obtidos

Foram obtidas 53 respostas completas do questionário, superando as expectativas iniciais de nossa proposta, em que eram esperados de 15 a 20 participantes. Os resultados obtidos com a aplicação do questionário serão apresentados e discutidos a seguir.

5.1 Perfil dos Participantes

Foi constatado que a principal formação dos profissionais da área de SE é em engenharia. A maioria possui formação com ênfase em hardware, como engenharia elétrica, engenharia eletrônica, tecnologia de automação industrial, tecnologia em sistemas eletrônicos, tecnologia em telecomunicações etc., totalizando 67% dos profissionais participantes. Apenas 33% possuem formação (superior) exclusivamente em computação. A Figura 1 mostra a formação técnica dos profissionais que participaram da pesquisa.

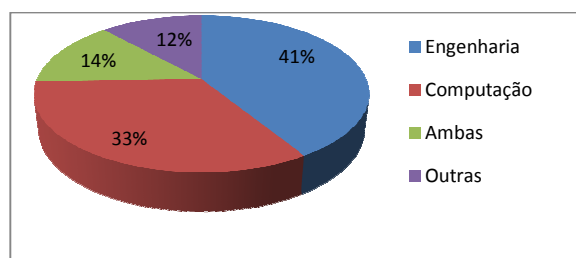


Figura 1 – Formação técnica dos participantes.³

Quando se observa o tempo de experiência em TI, nota-se que quase metade dos participantes tinha boa experiência, totalizando 47% dos respondentes. Os resultados podem ser verificados na Figura 2, que apresenta o tempo de experiência em TI dos participantes da pesquisa.

³ A interpretação da figura deve ser realizada em sentido horário e a legenda de forma seqüencial.

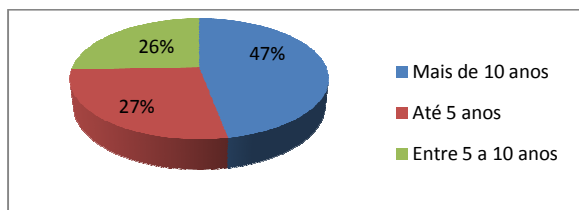


Figura 2 - Tempo de experiência em TI dos participantes.

A situação se inverte no cenário específico sobre o tempo de experiência em SE, indicando que muitos profissionais de Tecnologia da Informação (TI) estão migrando para a área de SE. A Figura 3 ilustra o tempo de experiência dos profissionais em SE.

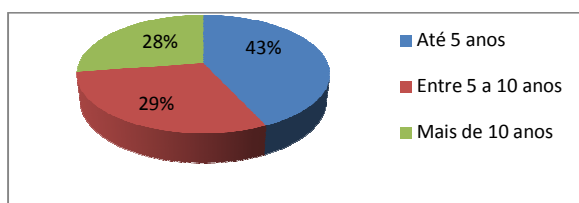


Figura 3 - Tempo de experiência em SE.

Quando questionados sobre a experiência em SE as respostas foram muito diversificadas, pois alguns profissionais atuam em mais de uma área em SE. A distribuição ficou da seguinte forma: em produtos eletrônicos de consumo (15%), sistemas automotivos (13%), celulares (12%), automação residencial (11%), controle de processos contínuos (11%), telecomunicações (10%), automação comercial (10%), equipamentos médicos (6%), brinquedos eletrônicos (4%) e outras como robóticas, *broadcast*, instrumentação eletrônica, sistemas de detecção, coletores de dados. A Tabela 3 apresenta as áreas de experiência vivenciada pelos participantes da pesquisa.

Não foram obtidas a participação de profissionais nas áreas de defesa militar ou aviação. Além da experiência, esta pesquisa verificou o perfil do participante no que se refere a sua principal função ou atividade diante de um novo projeto. A maioria atua na definição e análise de requisitos ou ainda em todas as fases do projeto, somente 3 participantes atuam na gerência de projeto, e apenas 2 eram pesquisadores.

Tabela 3 - Áreas de experiência vivenciadas pelos participantes da pesquisa.

Área de experiência	Respostas
Eletrônicos de consumo	15%
Sistemas automotivos	13%
Celulares	12%
Automação residencial	11%
Controle de processos contínuos	11%
Telecomunicações	10%

Automação comercial	10%
Equipamentos médicos	6%
Brinquedos	4%
Outras	8%

5.2 Tecnologias utilizadas

Esta seção da pesquisa teve como objetivo determinar quais os microcontroladores, linguagem de programação e ferramentas de simulação são mais utilizadas por projetistas de SE. Os resultados foram abrangentes e diversificados. A família de MCU *PIC* é a mais utilizada com 23% das respostas, seguidas pelas famílias *ARM* com 21%. A família Motorola *MCS 51* ficou com 14% de utilização, 10% para a família *Freescale*, contra 9% da família *ATMEL*. Outros MCs foram citados durante a pesquisa, como *MIPS* (3%), *Rabbit* (3%), *Zilog* (2%) e citações aos MCs *Nios*, *Infineo*, *Silabs*, *Cypress*, *Hitachi* e *MSP340*. Novamente neste item alguns desenvolvedores trabalhavam com mais de uma família de MC. A Tabela 4 apresenta as famílias de MCs citados pelos participantes.

Tabela 4 - MC mais citados pelos participantes

Família de microcontroladores	Respostas
<i>PIC</i>	23%
<i>ARM</i>	21%
<i>MCS51</i>	14%
<i>Freescale</i>	10%
<i>Atmel</i>	9%
<i>ST</i>	8%
<i>Mips</i>	3%
Motorolla, <i>Rabbit</i> e <i>Zilog</i>	2%
<i>NEC</i> , <i>FPGA</i> , <i>Infineon</i> , <i>MSP430</i> , <i>Cypress</i> , <i>Hitachi</i> e <i>Texas</i>	1%

Quando questionados sobre a utilização de ferramentas de modelagem e simulação, mais de 68% responderam que utilizam alguma ferramenta. A mais utilizada é o *VHDL* (21%), seguido pelo simulador *Proteus* (20%), *Mathlab* (20%), *Simulink* (12%), *Labview* (11%), *Eagle* (5%), além de citações das ferramentas *Altera*, *Quartus*, *SOPC Builder*, *Keil*, *Orcad*, *ModelSim*, *MPLAB*, *Project Navigator*, *ISE* e *Spice*. A Tabela 5 sintetiza o resultado das ferramentas de modelagem e simuladores mais utilizados pelos profissionais de SE.

Tabela 5 - Simuladores utilizados com mais frequência em um projeto de SE.

Simuladores	Respostas
<i>VHDL</i>	21%
<i>Proteus</i> e <i>Mathlab</i>	20%
<i>Simulink</i>	12%

Labview	11%
Eagle	5%
Altera, Quartus	2%
SOPC Builder, Keil, Orcad, ModelSim, MPLab, Proj.Navigator e Spice	1%

Ainda nesta seção foram verificados os principais ambientes e linguagens de programação utilizadas. Observou-se que a maioria utiliza a linguagem C (70%) e suas variantes em diversos ambientes de desenvolvimento: *MPLAB* (28%), *CCS* (26%), *MikroC* (14%), *Keil* (6%), com citações para *CodeWarrior*, *GCC*, *System C*, *Tasking*, *Hitech-C* e *IAR*. A Tabela 6 mostra os ambientes de programação mais utilizados pelos participantes.

Tabela 6 - Ambiente de programação mais utilizada.

Ambiente de programação	Respostas
MPLab	28%
CCS	26%
MikroC	14%
Keil	6%
GCC	5%
VHDL	3%
AVR Studio, Code Warrior, Tux Builder, Tasking, Eclipse, ARM Real View, Hitech C, Iar, Labview	2%

A segunda linguagem de programação mais utilizada é o *Assembly* (19%), seguido por *C++* (8%) e *Java* (3%). Não houve referências às linguagens *Basic* e *Pascal*, apesar de existirem compiladores para MC nestas linguagens. A Figura 4 mostra as principais linguagens de programação utilizadas pelos entrevistados.

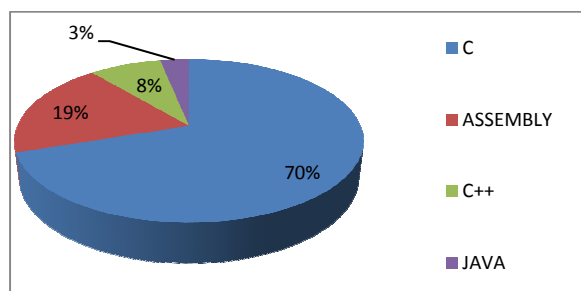


Figura 4 – Linguagens de programação mais utilizadas.

5.3 Processo de Elicitação de Requisitos

Nesta seção foram verificados os procedimentos de elicitação de requisitos adotados pelos profissionais, com o objetivo de identificar as práticas comuns e determinar as maiores dificuldades encontradas pelos

desenvolvedores. O foco central foi identificar se eram adotados processos consistentes de elicitação e documentação de requisitos, quais seriam as maiores dificuldades durante a elicitação de requisitos e o grau de importância atribuído ao tratamento dos requisitos em projetos de sistemas embarcados.

Quando perguntados se utilizavam alguma metodologia para elicitação de requisitos, mais da metade (54,9%) responderam que não utilizavam nenhuma metodologia. Os que responderam sim (45,1%), afirmaram que os procedimentos adotados são baseados em metodologias oriundas da literatura em Engenharia de Software (47%), seguidos por aqueles criados pela própria empresa (24%), criados e adotados por iniciativa própria do desenvolvedor (19%) e outras formas (10%). Nesta questão não houve preocupação em determinar qual metodologia específica era utilizada, mas sim determinar se existia o conhecimento de metodologias oriundas da Engenharia de Software.

A Figura 5 apresenta as respostas sobre as metodologias utilizadas pelos participantes que responderam sim (45,1%), quando questionados se empregavam algum procedimento para coleta e análise de requisitos.

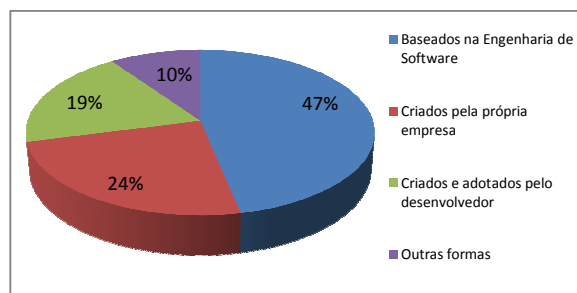


Figura 5 – Metodologias empregadas para coleta e análise de requisitos.

Questionados ainda se os procedimentos adotados eram estáveis, 41,2% responderam negativamente. Outro item analisado foi sobre as técnicas de coleta de requisitos adotadas, as respostas foram diversas, distribuídas da seguinte forma: a análise de documentação existente (26%), entrevistas (19%), troca de mensagens por fax e email (18%), análise de mercado (17%), questionário (15%) e JAD (2%), estas foram as mais citadas. Chamou atenção o fato de vários profissionais considerarem a troca de mensagens via fax e e-mail como técnicas de coleta de requisitos, dado o grau de informalidade que normalmente acompanha a utilização desses recursos. A Tabela 7 apresenta as técnicas de coletas de requisitos mais utilizadas pelos participantes.

Tabela 7 - Técnicas de coleta de requisitos mais utilizadas pelos participantes.

Técnica de Coleta	Respostas
Análise de documentação existente	26%
Entrevistas	19%
Troca de mensagens por fax e email	18%
Análise de mercado	17%
Questionários	15%
Outras	3%
Jad	2%

Para complementar, questionamos se quem realizava a coleta de requisitos participava do desenvolvimento do SE, e a maioria respondeu que sim (69%). A maioria dos projetos tinha envolvimento de menos que 5 pessoas (51%). A Figura 6 mostra o tamanho dos times de desenvolvimento de SE.

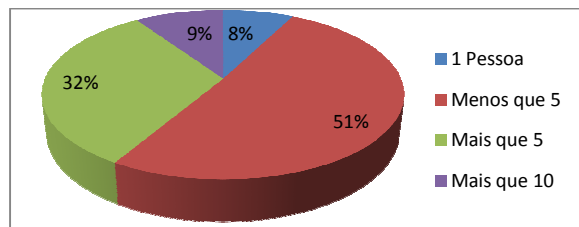


Figura 6 – Tamanho dos times em projetos de SE.

Perguntados sobre a existência de um padrão para documentação de requisitos, pouco mais de 55% afirmaram utilizar um padrão, e quando questionados sobre quais seriam esses padrões as respostas variaram bastante. Algumas das respostas foram: internos da empresa (45%), *templates* (14%), *UML* (9%), *Doxygen* (9%), documento em processador de textos (9%), fichas técnicas (5%), *RUP* (4%) e nenhum (5%). A Figura 7 apresenta os resultados da utilização de padrões para documentação dos requisitos.

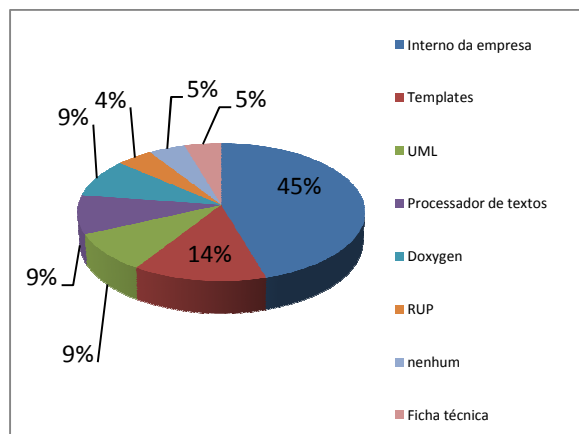


Figura 7 – Padrão de documentação de requisitos.

Questionados sobre as principais dificuldades encontradas durante a coleta e análise de requisitos, as respostas ficaram assim distribuídas: falta de clareza por parte do cliente (22%), requisitos incompletos (21%), confusos (18%) e ambíguos (17%), pouco tempo para coleta e análise (10%). Outras citações menos frequentes foram: não importância aos requisitos por parte do *stakeholder*, ou da própria equipe de desenvolvimento por ser multidisciplinar, além de requisitos muitas vezes impossíveis de serem implementados.

Na Tabela 8 são apresentadas as principais dificuldades encontradas por desenvolvedores de SE durante a elicitación e análise de requisitos.

Tabela 8 - Principais dificuldades encontradas na elicitación de requisitos.

Principais dificuldades	Respostas
Falta de clareza por parte do cliente	22%
Requisitos incompletos	20%
Requisitos confusos	18%
Requisitos ambíguos	17%
Pouco tempo para coleta e análise dos requisitos	10%
Dificuldade em organizar os requisitos coletados e ausência e ineficácia de um guia de elicitación	5%
Alterações de requisitos, pouca importância aos requisitos por parte do cliente, equipe não dá importância aos requisitos e requisitos não realizáveis.	1%

Perguntados sobre as técnicas de modelagem de requisitos adotadas, as respostas foram: diagrama de blocos (sem uma notação padronizada) (34%), seguido pela *UML* (29%), *DFD* (15%), nenhuma técnica (14%), e outras citações como rede de *Petri*, *RUP* e inteligência artificial (que não eram opções elencadas previamente no questionário). A Tabela 9 apresenta os principais diagramas apontados para modelagem de requisitos.

Tabela 9 - Técnicas utilizadas na modelagem de requisitos.

Técnicas de modelagem	Respostas
Diagrama de blocos	34%
UML	29%
Diagrama de fluxo de dados	15%
Nenhuma	14%
Modelo entidade/relacionamento	2%
Story board, Simulink, RUP e Inteligência artificial	1%

A *UML* foi citada com frequência pelos desenvolvedores de SE (29%). Para aqueles que utilizam *UML*, também foi questionado quais os diagramas mais utilizados. Os diagramas indicados com maior frequência foram: diagrama de sequência (41%), diagrama de casos de uso (30%) e diagrama de classes (29%). A Figura 8 mostra os principais diagramas da *UML* utilizados pelos desenvolvedores de SE.

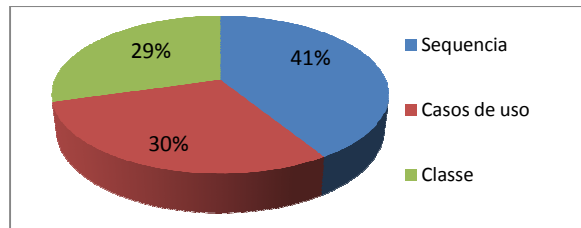


Figura 8 – Principais diagramas da *UML* utilizadas pelos participantes da pesquisa.

Os participantes foram indagados quanto aos procedimentos formais de validação de requisitos adotados junto aos *stakeholders*, 63% responderam que adotam algum procedimento de validação de requisitos. Ainda complementaram que os requisitos não-funcionais eram tratados na análise de requisitos (73%), deixando evidente a importância dos RNFs para projetos de SE. A Figura 9 mostra o tempo médio gasto para desenvolvimento de um SE.

O tempo médio para a conclusão de um projeto de SE varia de 3 a 24 meses, a maior parte conclui o projeto entre 6 (33%) e 12 (33%) meses, e somente 14% conseguem concluir em 3 meses, o que nos levou ao seguinte questionamento: qual a fase em que se despende maior tempo durante o ciclo de desenvolvimento de um SE ?

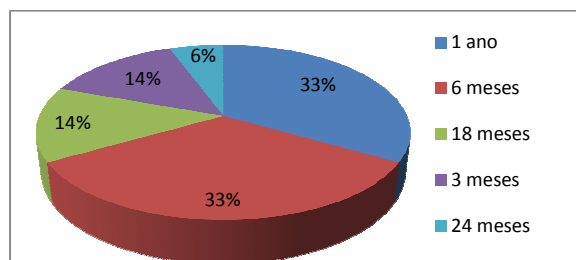


Figura 9 – Tempo médio gasto durante um projeto de SE.

A fase apontada pelos profissionais como aquela em que se despende mais tempo é a análise de requisitos (23%), seguida por desenvolvimento do *firmware* (18%), teste (14%), desenvolvimento do hardware (14%), depuração (8%), implementação (8%) e

validação (7%), ilustradas na Figura 10. O fato de se levar cerca de ¼ do tempo total do projeto para análise de requisitos, é um indicio de que requisitos para SE são complexos e difíceis de serem elicitados/ analisados, necessitando de técnicas e métodos adequados às particularidades da área.

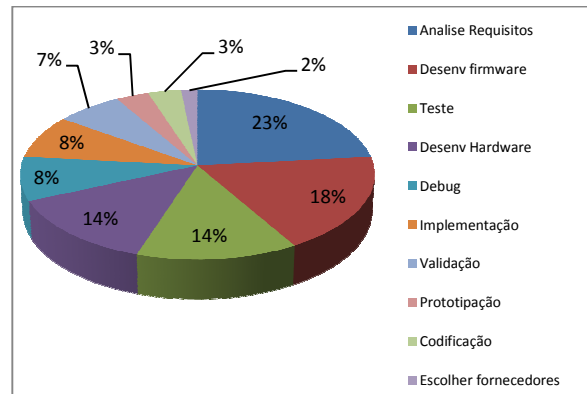


Figura 10 – Fases onde se despendem mais tempo durante o desenvolvimento de um SE.

Um aspecto importante que também foi alvo da pesquisa, foi a identificação de como os projetistas separavam as funcionalidades do SE, implementadas por hardware e por software (aspecto conhecido na área de SE como separação de funcionalidades). Itens como desempenho (20%), custos (17%), “depende do caso” (17%) e experiência do projetista em hardware ou software (15%), foram as mais citadas. As respostas eram livres e podiam ser justificadas por meio de comentários. Alguns dos comentários inseridos pelos participantes estão elencados abaixo:

- “Existem casos em que é melhor implementar por HW, casos como a lógica de inter-travamento, utilizados em controladores lógicos programáveis (CLP).”
- “Em algumas empresas os times de desenvolvimento de HW e SW, trabalham como se fossem empresas distintas com pouca troca de informação, decisões são tomadas sem comunicação entre os times, podendo causar grande impacto nas atividades do outro time. Em alguns casos o sincronismo vai sendo realizado através de conversas informais.”
- “As funções são sempre que possível realizada por intermédio de software. Quando o software ultrapassa a capacidade de processamento do MCU, as funções serão implementadas por intermédio de HW.”
- “Quanto maior a exigência do dispositivo em relação à criticidade, confiabilidade e velocidade, tende a ser implementado por HW, apesar de ter um custo maior.”

- “Disponibilidade de aquisição do componente por parte de fornecedores nacionais.”
- “Eletrônicos de consumo geralmente tendem a ter o menor custo possível. Neste caso leva-se em conta qual o menor custo, desenvolver internamente ou adquirir através de COTS.”
- “Leva-se em conta a experiência da equipe de desenvolvimento para novas tecnologias, e a capacidade e interesse para a aquisição de novos conhecimentos.”
- “Quando existem mudanças constantes nos requisitos, a tendência é a maior implementação por SW, devido a maior flexibilidade. Um HW muitas vezes não pode ter seus componentes alterados.”

A Tabela 10 apresenta os principais critérios adotados para a separação de funcionalidades implementadas por hardware e software.

Tabela 10 - Critérios empregados na separação das funcionalidades de HW e SW.

Critérios de separação	Respostas
Performance	20%
Custos e depende do caso	17%
Experiência do projetista	15%
Consumo de energia e capacidade de processamento	5%
Capacidade de memória, confiabilidade, criticidade, normas, usabilidade.	3%
Prazo de entrega, mudanças de requisitos, tempo real	2%

Finalizando a pesquisa foi questionada a forma de como eram conduzidas as transições de requisitos informais para requisitos técnicos dos projetos de SE. As respostas apresentadas foram diversas, e algumas são apresentadas a seguir :

- “Reuniões para definir as funções a serem implementadas com as equipes envolvidas.”
- “Através de estudos de HW, avaliando tempo de processamento e a linguagem de programação adequada.”
- “Transcrição dos requisitos conforme característica técnica.”
- “Baseada em experiência dos projetistas.”
- “Detalhamento do projeto em forma de especificações.”
- “Discussões com o cliente, elucidando possíveis soluções de cada requisito.”
- “Através de metodologias de processos de arquitetura em alto nível. O processo tem como ponto chave a figura do Arquiteto de SW.”

5.4. Discussão

Atualmente os profissionais que atuam no desenvolvimento de sistemas embarcados são, na maioria, pessoas com formação em Engenharia, tipicamente egressos de cursos de Engenharia Elétrica, Eletrônica, Mecânica e, mais recentemente, de Controle e Automação (Mecatrônica) [11], isto ficou evidenciado pela pesquisa de campo realizada. Esses profissionais têm boa formação em instrumentação (mecânica ou eletrônica), teoria de controle, modelagem matemática e projetos com ênfase em hardware. A formação que eles recebem sobre desenvolvimento de software está fortemente voltada às técnicas de programação. Ainda são raros os profissionais deste nicho que receberam algum tipo de educação em Engenharia de Software, menos ainda sobre os fundamentos da Engenharia de Requisitos. Os que receberam normalmente tiveram um contato apenas introdutório. Em geral, são profissionais com este perfil que desenvolvem o software de sistema embarcado.

No outro lado temos os egressos de cursos da área de Computação, tipicamente Ciência da Computação, Engenharia de Computação e Sistemas de Informação. Esses profissionais têm boa formação em algoritmos, estruturas de dados, teoria da computação, matemática discreta e várias subáreas de formação tecnológica da Computação, dentre as quais podemos destacar a Engenharia de Software. Na maioria dos casos os egressos destes cursos têm um bom conhecimento de várias técnicas e métodos da Engenharia de Software (pelo menos as técnicas consolidadas, incluindo o tratamento de requisitos). No entanto, são poucos os profissionais egressos destes cursos que atuam no desenvolvimento de sistemas embarcados.

Ao deparar-se com este panorama, um desafio que se apresenta é como oferecer uma boa educação em Engenharia de Requisitos para os profissionais que atuam no desenvolvimento de sistemas embarcados

Embora existam várias iniciativas que sugerem a utilização de técnicas, métodos e ferramentas consolidadas da Engenharia de Software, para o desenvolvimento de SE, ainda há uma flagrante escassez de processos e técnicas consistentes para apoiar a Engenharia de Requisitos em SE.

6. Trabalhos Futuros

Com base na literatura e nos resultados obtidos com a realização da pesquisa de campo, observa-se que a ER para sistemas embarcados é um campo abrangente e com muitas particularidades quando comparado ao desenvolvimento de software que funcionam em

computadores de finalidade geral (*desktops e notebooks*). Por exemplo, a presença de requisitos de tempo-real, restrições de consumo de energia, *stakeholders* com visões muito técnicas (tipicamente engenheiros), *codesign* de hardware e software, diversificação de nichos de mercado (indústria automobilística, telecomunicações, eletrônicos de consumo, equipamentos médicos, entre outros), são diferenças significativas. Essas diferenças, e a forte expansão do mercado que utiliza sistemas embarcados, nos levam a crer que há uma demanda importante por desenvolvimento de técnicas e métodos de Engenharia de Requisitos voltados para SE.

Com esta motivação, estamos elaborando um guia de elicitação de requisitos, voltado especificamente para atender às particularidades dos projetos de SE. Broy [6] sugere duas fases distintas para a elicitação de requisitos em SE, a pré-fase e a fase principal. Durante a pré-fase devem ser elicitados os requisitos de alto nível, que aborda os requisitos funcionais e não-funcionais do sistema, porém sem definir os aspectos “físico-técnicos” do mesmo. O foco nesta fase está na elaboração geral do produto, envolvendo custos, tempo de desenvolvimento, *time to market*, segurança e aspectos relacionados à usabilidade do produto.

Avançando para a fase principal, deve ocorrer uma transição em que todos os requisitos capturados anteriormente serão apoiados por requisitos técnicos, estabelecendo a base para o desenvolvimento do produto e processo de fabricação do mesmo.

Para a elaboração do guia, denominado GERSE (Guia para Elicitação de Requisitos em Sistemas Embarcados) estão sendo utilizados resultados de pesquisas sobre o estado da prática em SE, como esta apresentada neste trabalho, e referências já consolidadas na área de Engenharia de Requisitos como o padrão *IEEE 830-1998* e o *template Volere* (vide Figura 11). O GERSE tem como objetivo guiar passo a passo as atividades inerentes à elicitação de requisitos para projetos de SE, focado inicialmente em SE de pequeno e médio porte (sistemas baseados em MCs de 8 e 16 bits).

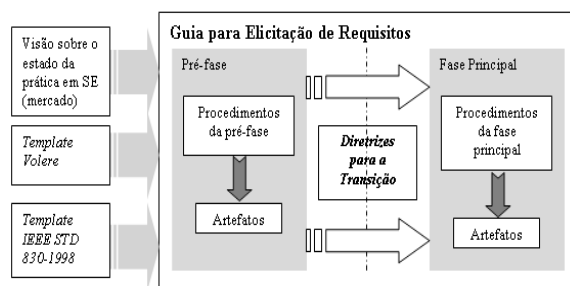


Figura 11 – Proposta de um guia para Elicitação de Requisitos em SE

7. Conclusão

O foco principal deste artigo foi apresentar os resultados de uma pesquisa de campo que promoveu um levantamento do estado da prática em elicitação de requisitos para SE, no contexto da realidade brasileira. A pesquisa de campo cobriu principalmente os profissionais da área que estão atuando em empresas e indústrias do estado de São Paulo (Brasil). Profissionais de outros estados também participaram da pesquisa (embora em menor número). Como a pesquisa abrangeu 53 profissionais, a maioria sendo do Estado brasileiro com maior nível de industrialização, acreditamos que os resultados da pesquisa possam estar espelhando a realidade brasileira como um todo, e provavelmente a realidade latino-americana na área de sistemas embarcados.

Dentre os principais aspectos identificados com a pesquisa de campo, merecem destaque: (i) a preponderância de profissionais com formação em engenharias, e portanto com baixo nível de instrução em Engenharia de Software e Engenharia de Requisitos (temas trabalhados com profundidade em cursos da área de Computação, mas não nas engenharias); (ii) a informalidade como a coleta e definição dos requisitos é tratada pelos profissionais da área, embora eles percebam a importância de uma boa definição dos requisitos para os projetos de SE; (iii) a importância dos requisitos não-funcionais para a garantia da qualidade dos SE, e o impacto em termos de custos que esses requisitos trazem para o projeto; (iv) a escassez de métodos e técnicas de Engenharia de Requisitos que atendam de forma consistente as demandas da área de SE; (v) o distanciamento entre os profissionais de Engenharia de Software e Engenharia de Sistemas Embarcados.

Com o crescente aumento da demanda por desenvolvimento de SE, e vinculado a esta demanda, também a necessidade da melhoria da qualidade dos SE, a elaboração de um Guia para Elicitação de Requisitos em SE irá contribuir para diminuir a lacuna que existe entre as áreas de ER e SE. Muitos métodos, técnicas e ferramentas têm sido desenvolvidas na área de ER, mas este desenvolvimento pouco tem sido explorado na área de SE. Acreditamos que trata-se de trabalho necessário e desafiador a ligação entre estas duas áreas, e que novos horizontes de pesquisa surgirão a partir da integração delas.

8. Agradecimentos

Inicialmente agradecemos a todos os profissionais da área de Sistemas Embarcados que participaram da pesquisa, respondendo ao questionário.

Agradecimentos à Anhanguera Educacional S/A, unidade FAC 2, através do Programa Institucional de Capacitação Docente (PICD) e a FUNADESP - Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular, pelo apoio parcial à realização deste trabalho, ao Centro Paula Souza e a Fatec-ID (Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba), pelo apoio à realização deste trabalho.

9. Referências

- [1] Aoyama M. “Persona and Scenario Based Requirements Engineering for Software Embedded in Digital Consumer Products.” In *13th IEEE International Conference on Requirements Engineering*: 2005.
- [2] Austin T. e Runk L. “Lessons Learned in How to Generate a Complete, Correct and Usable Set of Requirements the First time and Every Time.” Disponível em <http://delphi.com/pdf/techpapers/2009-01-0529.pdf> acesso em Julho: 2009.
- [3] Babiero A. e Hexsel R. “Ambiente de Suporte ao Projeto de Sistemas Embarcados”, apresentado em *WSCAD 2006 Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, Ouro Preto MG: 2006.
- [4] Botaschankan, J.; Kof, L.; Kuhnel, C.; Spichkova, M. “Towards Verified Automotive Software.”, In *Proceedings of the Second international Workshop on Software Engineering For Automotive Systems*: 2005.
- [5] Boulanger J.; Van Quang D. “Experiences From a Model-Based Methodology for Embedded Electronic Software in Automobile.” At *Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, ICTTA 3rd International Conference on*: 2008.
- [6] Broy M. “Requirements Engineering for Embedded Systems”, *Proceedings of FemSys*: 1997.
- [7] Cancian R.; Stemmer M.; Frolich A. “New Developments in EPOS Tools for Configuring and Generating Embedded Systems.”, In *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 776-779, Patras, Greece: 2007.
- [8] Carro, L. e Wagner, F. Capítulo 2 das Jornadas de Atualização em Informática.” In: *XXII JAI 2003. (Org.). Sistemas Computacionais Embarcados*. Campinas: Sociedade Brasileira de Computação, 2003, v. 1, p. 45-94.
- [9] Graaf B.; Lormans M; Toettenel H.; “Embedded software engineering: the state of the practice”, In *IEEE Software archive Volume 20*, Issue 6 pages: 61 – 69: 2003.
- [10] Kusters, R.; Van Solingen R.; Trienekens J. “Strategies for the Identification and Specification of Embedded Software Quality.”, In *Proceedings of the Software Technology and Engineering Practice*:1999.
- [11] Liggesmeyer, P.; Trapp,M. “Trends in Embedded Software Engineering.” In *IEEE In Software, IEEE, Vol. 26, No. 3.* (2009), pp. 19-25.
- [12] Pretschner A.; Broy M.; Kruger, Ingolf H.; Stauner T. “Software Engineering for Automotive Systems: A Roadmap Future of Software Engineering.” In *International Conference on Software Engineering - Future of Software Engineering (FOSE'07)*: 2007.
- [13] Turley J, *The Essential Guide to Semiconductors* Prentice Hall:2002.
- [14] Vahid F.; Girvavis T. *Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Design*. John Willey & Sons: 2002.
- [15] Wagner, F. e Carro, L, “Metodologias e Técnicas de Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados.” *Capítulo 4 das Jornadas de Atualização em Informática*. PUC:2009.
- [16] Walls C. *Embedded Software – The Works*, Elsevier: 2006.
- [17] Weber, M.; Weisbrod, J, “Requirements Engineering in Automotive Development-Dxperiences and Challenges.” In *IEEE Joint International Conference Requirements Engineering*, pp. 331 – 340:2002.