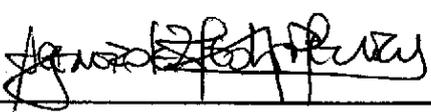
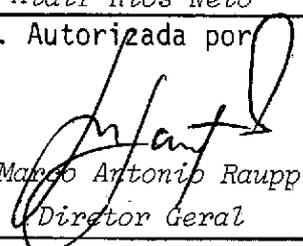
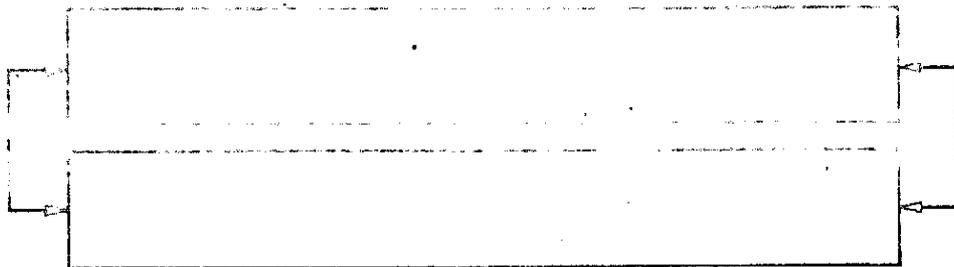


1. Publicação nº <i>INPE-4283-PRE/1155</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DMC</i>	Programa <i>A8B 508500</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>SISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA SIMULAÇÃO FÍSICA DE SCAO PROJETO ELETROMECAÂNICO</i>			
7. C.D.U.: <i>629.7.062.2</i>			
8. Título <i>INPE-4283-PRE/1155 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE BANCADAS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE DE SATÉLITES ARTIFICIAIS</i>		10. Páginas: <i>5</i>	
		11. Última página: <i>4</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Agenor T. Fleury Petrônio N. de Souza L. Victor C. Cardieri</i>		 <i>Atair Rios Neto</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Marco Antonio Raupp Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho apresenta as principais considerações relativas à construção de duas bancadas para simulação de Sistemas de Controle de Atitude e Órbita (SCAO) de satélites, com utilização de equipamentos na malha. O objetivo dessas bancadas é permitir acompanhamento rápido em laboratório, das diversas fases envolvidas no projeto. Apresentam-se os projetos integrados das bancadas desenvolvidas no INPE e seus diversos componentes onde se utiliza basicamente tecnologia nacional na fabricação. Discutem-se os principais parâmetros de desempenho desses equipamentos e resultados experimentais obtidos.</i>			
15. Observações <i>Este trabalho será submetido no IX Congresso Brasileiro de Eng^o Mecânica - COBEM/87, de 07 a 11 de Dezembro em Florianópolis Santa Catarina.</i>			



SUMÁRIO

Este trabalho apresenta as principais considerações relativas à construção de duas bancadas para simulação de Sistemas de Controle de Atitude e Órbita (SCAO) de satélites, com utilização de equipamentos na malha. O objetivo dessas bancadas é permitir acompanhamento rápido em laboratório, das diversas fases envolvidas no projeto. Apresentam-se os projetos integrados das bancadas desenvolvidas no INPE e seus diversos componentes onde se utiliza basicamente tecnologia nacional na fabricação. Discutem-se os principais parâmetros de desempenho desses equipamentos e resultados experimentais obtidos.

INTRODUÇÃO

A fase de testes a que devem ser submetidos tanto o satélite quanto cada um de seus subsistemas constitui-se numa das etapas mais importantes para o desenvolvimento do projeto de uma missão. Desta fase dependem a garantia de desempenho e a confiabilidade do satélite como um todo. O Subsistema de Controle de Atitude e Órbita (SCAO) é uma das partes básicas de um satélite, responsável pelas manobras de órbita e de atitude e pela estabilização de atitude em voo, de forma a garantir o correto apontamento da carga útil para o cumprimento de uma dada missão. Como ocorre com todos os subsistemas, cada um de seus componentes e o sistema integrado devem ser qualificados, antes da integração ao satélite, por meio de uma extensa série de ensaios em laboratório que reproduzem, da maneira mais fiel possível, as condições em que o SCAO terá de trabalhar no espaço. Em se tratando de área ainda muito nova em nosso País, o Departamento de Mecânica Espacial e Controle (DMC) do INPE vem, desde 1982, desenvolvendo esforços no sentido de prover um laboratório com recursos humanos e capacidade técnica para enfrentar os diversos aspectos de testes e de qualificação de Subsistemas de Controle de Atitude e Órbita necessários para a utilização nos satélites previstos para a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Neste processo, foram atingidos resultados de interesse tecnológico, dentre os quais se destacam duas bancadas de teste, centradas numa Mesa de Mancais Aerostáticos (MMA) e numa Mesa de Rotação Controlada (MRC), construídas basicamente com componentes disponíveis no mercado brasileiro.

Este trabalho tem por objetivos descrever as atribuições de um Laboratório de Simulação de SCAO, como o que está sendo implantado no INPE, e apresentar os principais aspectos relativos à concepção, construção e desempenho das bancadas de teste, que compreendem as mesas e seus diversos equipamentos.

IMPLANTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE SIMULAÇÃO DE SCAO

As dificuldades envolvidas num Laboratório de Simulação de SCAO podem ser melhor compreendidas quando se constata que, mesmo no caso de satélites de complexidade não muito elevada como os satélites de sensoriamento remoto da MECB, os requisitos de apontamento situam-se na faixa de décimos de grau, com velocidades residuais da ordem de milésimos de grau por segundo em cada um dos três eixos. Para atingir as exigências apresentadas pelas missões da MECB e futuras, o Laboratório de Simulação do INPE foi especificado com os objetivos de

[1]:

- prover a infra-estrutura necessária para testes de desenvolvimento, integração e qualificação funcional e de desempenho de SCAOs.

- capacitar gradualmente a Instituição ao nível de projeto de componentes e equipamentos de teste de SCAO através do desenvolvimento de dispositivos para, numa primeira fase, atender ao Laboratório e, num futuro próximo, fornecer componentes qualificados espacialmente.

Os testes de qualificação de SCAO serão conduzidos em instalações especiais por um sistema específico do próprio INPE e centrado num Simulador Dinâmico de Três Graus de Liberdade, interligado a um sistema digital composto por um computador, um processador vetorial e interfaces dedicadas para a aquisição de dados. Estão sendo desenvolvidos no INPE os simuladores de referências celestes necessários para estimular os sensores de atitude, assim como o software de simulação que será utilizado no sistema digital de modo a permitir o fechamento da malha de teste [2].

Por outro lado, atingir a capacitação exigida para trabalhar com esse sistema não é tarefa fácil. Para obter esta capacitação na área de Sistemas de Controle de Atitude e Órbita, optou-se pelo projeto e pela construção de duas bancadas de teste que pudessem ser utilizadas nos estágios preliminares de concepção de equipamentos e de sistemas como um todo. Estas duas bancadas de teste são descritas a seguir.

MESA DE MANCAIS AEROSTÁTICOS

O único meio possível de testar com experimentação física, simultaneamente, todas as partes de um SCAO - sensores, atuadores e eletrônica de controle - é através de uma Mesa de Mancais Aerostáticos (MMA). Neste caso, a plataforma (mesa), suspensa numa camada micrométrica de ar, reproduz os movimentos do satélite na situação real de baixos atritos encontrados quando ele está em órbita. A Figura 1 mostra o esquema para os testes, com uma Mesa de Mancais Aerostáticos de um Grau de Liberdade, de caracterização de atuadores, para o qual um equipamento do tipo MMA é essencial.

A configuração da bancada apresentada na Figura 1 foi desenvolvida no INPE. Estão já disponíveis ou em fase final de fabricação os componentes descritos a seguir.

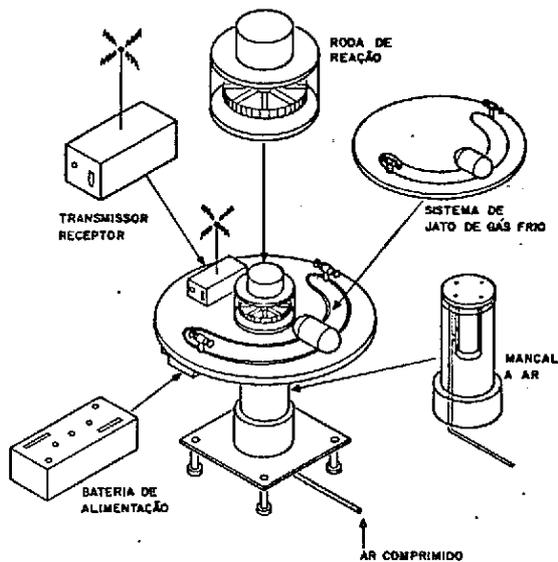


Fig. 1 - Esquema de testes com mesa de mancais Aerostáticos.

MESA DE MANCAIS AEROSTÁTICOS DE UM GRAU DE LIBERDADE

A mesa de um grau de liberdade é constituída por dois mancais, axial e radial, pela plataforma de suporte dos componentes e por um sistema de alimentação pneumático [3]. A precisão de giro (Wobble) obtida é da ordem de 5 segundos de arco ($5''$), fato que confirma a adequação de uma mesa deste tipo para ensaios de SCAO onde a precisão de apontamento é mandatória [4], [2]. A plataforma suporte é construída com dois discos planos retificados, de modo a permitir a acomodação de todos os componentes da bancada. A mesa é instrumentada através de um codificador óptico incremental (Diador S/A) adaptado para esta aplicação específica e sustentado por um mecanismo de alta precisão para permitir o correto alinhamento do sensor [3]. Este sistema de medidas permite a leitura com precisão de 13 segundos de arco ($13''$). Os torques parasitas na mesa são menores que 10^{-4} Nm, valor que representa a ordem de grandeza dos torques sobre o satélite em órbita [3].

RODA DE REAÇÃO

Uma roda de reação é um dispositivo que permite o apontamento fino do satélite através da troca de momento angular entre esse atuador e a estrutura que o sustenta. A roda de reação desenvolvida no INPE desempenha esta função de controle na bancada de MMA. Sua capacidade é de 2Nms, gera torques de 0,14 Nm e opera na faixa de -2000 a +2000 rpm, controlada em velocidade por uma malha de implementação amostrada, dotada de um controlador Proporcional Integral [5]. O ponto crítico no projeto de um atuador como este é o mancal que sustenta o volante. O mancal de rolamentos de esferas empregado mostrou excelentes resultados. Os parâmetros de desempenho obtidos estão muito próximos aos de rodas similares já utilizados em voo, o que faz com que o objetivo atualmente esteja voltado para o aperfeiçoamento da Eletrônica de Controle da Roda. Esta última deverá em breve ser substituída por um novo modelo que controla a roda em torque através da implementação em microprocessador. No modelo disponível, apenas o motor de corrente contínua, do tipo "frameless", é importado.

SISTEMA DE JATOS DE GÁS FRIO

O Sistema de Jatos de Gás ou Sistema de Controle a Reação é utilizado em satélites para manobras de correção de órbita ou para manobras rápidas de correção de atitude. Normalmente utiliza gás comprimido a grandes pressões (sistemas frios) ou líquidos mono ou bipropel-

lentes (sistemas quentes). Apenas os jatos de gás frio podem ser utilizados em laboratório. No sistema desenvolvido no INPE, utiliza-se nitrogênio como gás propulsor para os quatro micromotores dispostos em montagem oposta. O empuxo nominal de cada motor é 1N e os braços em relação ao eixo de giro da plataforma são variáveis, de modo a poder regular o nível de torque de acordo com as necessidades. Tanques e válvulas reguladoras de pressão foram adquiridos no mercado nacional, enquanto as válvulas eletromagnéticas de controle foram projetadas no INPE.

SISTEMA DE TELEMETRIA/TELECOMANDOS (TM/TC)

Numa plataforma que tem como característica o baixo atrito de resistência ao movimento contínuo de rotação, não se pode pensar em introduzir fios ou anéis de contato deslizante sob pena de comprometer o desempenho do conjunto. O sistema TM/TC é usado para transmissão de sinais e comandos entre os sensores e atuadores sobre a plataforma e o laboratório. Este sistema, que opera em radiofrequência para telemetria e em infravermelho para telecomandos, possui 30 canais para telecomandos e 15 canais de telemetria. Os canais de telemetria podem ser programados para a transmissão apenas de sinais digitais, apenas de sinais analógicos ou qualquer configuração intermediária entre estas duas situações [6].

SISTEMA DE POTÊNCIA

Para suprir energia a todos os equipamentos sobre a plataforma e permitir o seu correto funcionamento, foi desenvolvido um sistema de potência com conversores regulados de tensão. Este sistema utiliza baterias Ni-Cd e fornece tensões DC reguladas em $\pm 5V$, $+9V$, $\pm 15V$ e $+20V$.

Os testes com Mesa de Mancais Aerostáticos de um grau de liberdade podem envolver sensores e seus equipamentos associados, como os que serão descritos com a Mesa de Rotação Controlada.

Os resultados obtidos com a mesa de um grau de liberdade permitiram que se saltassem estágios quando, por necessidades de mudança de concepção do primeiro satélite da MECB, tornou-se necessária a utilização de uma Mesa de Mancal Esférico de Três Graus de Liberdade. Esta mesa, cujo mancal está sendo desenvolvido pelo INPE em conjunto com a EESC/USP, permitirá uma rotação livre do eixo vertical e inclinações até 15° em relação a este último [7]. Embora extremamente atrativos por permitir o teste global do SCAO, os ensaios com Mesas de Mancais Aerostáticos de Três Graus de Liberdade são bastante restritivos em vista da complexidade destes equipamentos, das exigências de balanceamento e da presença de torques parasitas [2]. Por estas razões, é comum trabalhar, sempre que possível, com mesas servocontroladas, reservando para as Mesas de Mancais Aerostáticos a importante função de caracterização de atuadores.

SIMULADORES DINÂMICOS

Em testes de SCAO com mesas servocontroladas, ou simuladores dinâmicos, apenas os atuadores não são envolvidos. A Figura 2 mostra o esquema de testes com a Mesa de Rotação Controlada de Dois Graus de Liberdade em desenvolvimento no INPE. Este esquema é bastante semelhante ao que será empregado nos testes de qualificação com o Simulador Contraves de Três Graus de Liberdade.

Embora destinada fundamentalmente aos testes de SCAO desde a concepção até uma fase de pré-qualificação, onde baixas e médias velocidades devem ser reproduzidas com precisão, a Mesa de Rotação Controlada pode ser utilizada como equipamento suporte de testes de sistemas de controle em outras áreas como, por exemplo, caracterização e manutenção de sensores inerciais. Da mesma forma, parte dos resultados materializados tem desdobramentos em outras áreas como, por exemplo, robótica. No estágio atual, o eixo central (vertical) da mesa já se encontra operacional, enquanto o projeto detalhado do segundo eixo (horizontal) está em fase final. Dos simuladores de referências celestes, o Simulador Solar,

desenvolvido pelo DMC em conjunto com o Departamento de Sistemas Eletro-ópticos (DEO) do INPE, já tem um protótipo terminado enquanto o protótipo do Simulador de Terra passa pelos primeiros testes de caracterização. Os sensores não-inerciais, solares e de horizonte terrestre estão em desenvolvimento no DEO. As principais características dos componentes desta bancada são descritos a seguir.

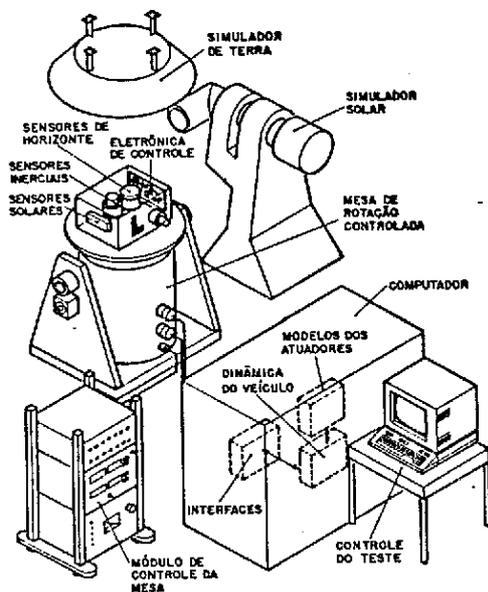


Fig. 2 - Esquema de testes com simuladores dinâmicos.

MESA DE ROTAÇÃO CONTROLADA

Para o desenvolvimento da Mesa de Rotação Controlada, contou-se com o apoio da FINEP/PADCT (projeto 52.85.0169.00). Os objetivos básicos pretendidos com o projeto deste equipamento foram: ter desempenho compatível com os similares estrangeiros, utilizar preferencialmente componentes nacionais de prateleira, utilizar recursos simples de fabricação para permitir sua fácil reprodução, dispor de facilidade de interfaceamento com dispositivos ou computadores externos e ter custo menor que os equipamentos importados. As especificações técnicas desejadas para o eixo central da Mesa de Rotação Controlada eram: rotação que varia continuamente entre 0,017 (1 rph) e 100 rpm, com controle de velocidade dentro de 1%; acelerações angulares maiores que $5000/s^2$; capacidade de 50 kg de carga com excentricidade de 60 mm em relação ao eixo de giro; plataforma com diâmetro útil de 500 mm; vinte ou mais canais de acesso para potência e sinais; sensor de rotação e posição angular no eixo de saída; e sinal de referência de velocidade gerado externamente. Para o segundo eixo, os requisitos exigidos foram: rotação contínua entre 0,03 e 5 rpm; limitação de posicionamento angular entre -20 e $+20^\circ$ em relação à vertical; e capacidade de carga e precisão de velocidade nos mesmos níveis definidos para o eixo central [8]. As soluções empregadas no projeto, tendo em vista atender todos estes requisitos, envolvem apenas componentes nacionais, com exceção dos anéis de deslizamento ("slip-rings") que tiveram de ser importados, embora já se disponha de um protótipo desenvolvido no DMC/INPE para aplicações futuras. O ponto de partida do projeto foi o sistema de acionamento para o qual foi escolhido um motor de corrente contínua servocontrolado de 600W (Siemens), com tacogerador incorporado ao eixo. Para este motor, empregado geralmente em máquinas-ferramenta, foi adotada uma faixa de trabalho entre 50 e 2000 rpm, onde a estabilidade é da ordem de 0,1%. A alimentação e o controle do motor são feitos por um conversor estático (também Siemens). O problema enfrentado a partir da definição do sistema de acionamento é converter a faixa de rotações do motor na faixa de rotações desejada na

plataforma. A acomodação desta faixa, entre 0,017 e 100 rpm, o que indica uma relação 1:6000, tornou necessária a adoção de reduções diferentes, comandadas por embreagens eletromagnéticas. Foram selecionadas três relações de redução: 3156,39:1, 162,37:1 e 19,44:1. Estas reduções são obtidas através de cinco pares engrenados e dois redutores planetários, estes últimos fabricados pela Yok. Devido à existência de testes com reversão do torque atuante na plataforma, foi incorporado um dispositivo antifolga ("antibacklash") ao eixo de saída [8]. As embreagens eletromagnéticas são acionadas a partir de um painel externo, permitindo engrenamentos bastante rápidos na ordem crescente das marchas (-120 ms). Para engrenamento em ordem decrescente, foi colocado um circuito de segurança para evitar possíveis danos às engrenagens. As embreagens (Warner Electric) permitem transmitir torques até 31 Nm. Anéis de deslizamento ("slip-rings") são utilizados para fazer a transmissão de potência visando o acionamento dos instrumentos, sobre a plataforma e o recebimento, no laboratório, dos sinais gerados pelos mesmos instrumentos. No modelo escolhido (Wendom Co., EUA), os 24 canais disponíveis ligam diretamente a plataforma a um "rack" eletrônico. Todos os componentes descritos são montados em uma carcaça cujo projeto é de grande importância para o equipamento, já que dela dependem todos os estreitos ajustes internos do redutor. A carcaça é constituída por três módulos usinados a partir de tubos de aço calandrado com costura, com tampas de aço soldadas. A plataforma, de 500 mm de diâmetro, foi fabricada com liga de alumínio B57S-H34 e tem massa em torno de 5 kg.

Para atender os requisitos de precisão, a mesa dispõe de um codificador ótico incremental de 5000 traços por volta (Diadur S.A). Com a utilização de um circuito eletrônico, pode-se obter 100.000 traços por volta com uma correspondente incerteza de leitura da ordem de 13 segundos de arco. As medidas de velocidade dentro da faixa especificada são facilmente atendidas a partir dos dados de posição, no caso de velocidades de médias para altas. Em baixas velocidades, torna-se necessário medir o período de rotação, a fim de manter a precisão. Foi então desenvolvido um módulo eletrônico para medidas de velocidade ou período com grande precisão, que também permite o registro externo de saídas analógicas destas grandezas. A parte eletrônica do eixo central conta também com circuitos para acionamento e proteção do motor, para proteção das embreagens e para paradas de emergência, desenvolvidos no DMC/INPE.

As partes descritas foram acondicionadas em dois conjuntos, Módulo de Controle da Mesa e Redutor, apresentados nas Figuras 3 e 4.

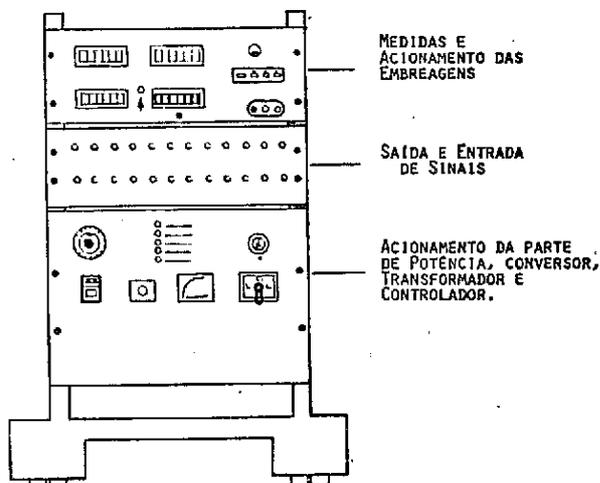


Fig. 3 - Módulo de controle do eixo central.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROPOSTA PARA
PUBLICAÇÃO

- DISSERTAÇÃO
 TESE
 RELATÓRIO
 OUTROS

TÍTULO

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE BANCADAS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE DE SATÉLITES ARTIFICIAIS.

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

Agenor T. Fleury 435
Petrônio N. de Souza 483
L. Victor C. Cardieri

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

DIVULGAÇÃO

EXTERNA INTERNA RESTRITA

EVENTO/MEIO

CONGRESSO REVISTA OUTROS

COBEM

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

___/___/___

___/___/___

NOME DO REVISOR

Atair Rios Neto

NOME DO RESPONSÁVEL

Wilson C. Canesin da Silva

REV. TÉCNICA

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

08/06/87

08/06/87

[Assinatura]

APROVADO

DATA

ASSINATURA

SIM
 NÃO

___/___/___

APROVAÇÃO

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

150

1

08/06/87

Keusa Maria Dias

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

PÁG

DEVOLVIDO

ASSINATURA

27

09/06/87

Keusa Maria Dias

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILÓGRAFA

___/___/___

DATILÓGRAFIA

Nº DA PUBLICAÇÃO

4883PRE/1159

CÓPIAS

Nº DISCO

LOCAL

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

SIM

NÃO

___/___/___

DIRETOR

OBSERVAÇÕES E NOTAS